



НАЦІОНАЛЬНИЙ СТАНДАРТ УКРАЇНИ

ДСТУ EN 1999-1-1:202__
(EN 1999-1-1:2023, IDT)

**ЄВРОКОД 9.
ПРОЄКТУВАННЯ АЛЮМІНІЄВИХ КОНСТРУКЦІЙ.**

Частина 1-1. Загальні правила

(Проект, остаточна редакція)

Київ
ДП «УкрНДНЦ»
202__

ЗМІСТ

С.

НАЦІОНАЛЬНИЙ ВСТУП.....	XIII
ПЕРЕДМОВА до EN 1999-1-1:2023.....	XIV
0. ВСТУП.....	XVII
1 СФЕРА ЗАСТОСУВАННЯ.....	1
1.1 Сфера застосування EN 1999-1-1	1
1.2 Припущення	1
2 НОРМАТИВНІ ПОСИЛАННЯ.....	2
3 ТЕРМІНИ, ВИЗНАЧЕННЯ ПОНЯТЬ ТА ПОЗНАКИ	5
3.1 Терміни і визначення понять.....	5
3.2 Познаки.....	10
3.3 Умовні познаки для осей елемента	30
4 ОСНОВИ ПРОЄКТУВАННЯ.....	31
4.1 Загальні положення	31
4.1.1 <i>Основні вимоги</i>	32
4.1.2 <i>Надійність конструкцій</i>	32
4.1.3 <i>Проектний строк експлуатації, довговічність та живучість</i>	32
4.2 Принципи розрахунку за граничним станом.....	33
4.3 Основні змінні.....	33
4.3.1 <i>Дії та впливи навколишнього середовища</i>	33
4.3.2 <i>Властивості матеріалів та виробів</i>	34
4.4 Перевірка методом часткових коефіцієнтів	34
4.4.1 <i>Розрахункові значення властивостей матеріалів</i>	34
4.4.2 <i>Розрахункові значення геометричних характеристик</i>	34
4.4.3 <i>Розрахункові опори</i>	34
4.5 Розрахунок на основі випробування.....	36
4.6 Вимоги до виконання	36
5 МАТЕРІАЛИ	36
5.1 Загальні положення	36
5.2 Конструкційний алюміній	37
5.2.1 <i>Номенклатура матеріалів</i>	37
5.2.2 <i>Властивості матеріалів для деформівних та ливарних сплавів</i>	39
5.2.3 <i>Властивості матеріалів для ливарних алюмінієвих сплавів</i>	48
5.2.4 <i>Розміри, маса та допуски</i>	49

5.2.5 Розрахункові значення констант матеріалів	50
5.3 Кріпильні вироби.....	50
5.3.1 Загальні положення	50
5.3.2 Болти, гайки, шайби та самонарізувальні та самосвердлувальні гвинти	50
5.3.3 Властивості матеріалів для ливарних алюмінієвих сплавів	52
5.3.4 Зварювальні витратні матеріали	53
5.3.5 Клеї.....	55
6 ДОВГОВІЧНІСТЬ	55
7 КОНСТРУКЦІЙНИЙ РОЗРАХУНОК	56
7.1 Конструкційне моделювання для розрахунку	56
7.1.1 Конструкційне моделювання та основні припущення.....	56
7.1.2 Моделювання вузлів.....	56
7.1.3 Взаємодія між ґрунтом та конструкцією	57
7.2 Загальний розрахунок	57
7.2.1 Впливи деформованої геометрії конструкції.....	57
7.2.2 Конструкційна стійкість каркасів.....	58
7.3 Недосконалості	60
7.3.1 Загальні положення	60
7.3.2 Недосконалості для загального розрахунку рам.....	61
7.3.3 Недосконалості для розрахунку систем в'язей	69
7.3.4 Недосконалості елемента	72
7.4 Методи розрахунку	73
7.4.1 Загальні положення	73
7.4.2 Загальний пружний розрахунок	73
7.4.3 Загальний пластичний розрахунок	74
8 ГРАНИЧНІ СТАНИ ЕЛЕМЕНТІВ ЗА НЕСНОЮ ЗДАТНІСТЮ	74
8.1 Основні положення.....	74
8.1.1 Загальні положення	74
8.1.2 Характеристичні значення міцності.....	75
8.1.3 Часткові коефіцієнти.....	75
8.1.4 Класифікація поперечних перерізів.....	75
8.1.5 Опір місцевій втраті стійкості елементів четвертого класу.....	85
8.1.6 Знеміцнення зони термічного впливу біля зварних швів.....	87
8.2 Опір поперечних перерізів	92
8.2.1 Загальні положення	92

8.2.2	<i>Характеристики поперечних перерізів</i>	94
8.2.3	<i>Розтяг</i>	96
8.2.4	<i>Стиск</i>	97
8.2.5	<i>Згинальний момент</i>	98
8.2.6	<i>Зсув</i>	103
8.2.7	<i>Кручення</i>	104
8.2.8	<i>Одночасний згин і зсув</i>	107
8.2.9	<i>Одночасний згин та осьове зусилля</i>	108
8.2.10	<i>Одночасний згин, зсув та осьове зусилля</i>	109
8.2.11	<i>Зминання стінки балки</i>	110
8.3	<i>Опір елементів втраті стійкості</i>	110
8.3.1	<i>Елементи у стані стиску</i>	110
8.3.2	<i>Елементи у стані згину</i>	119
8.3.3	<i>Елементи у стані згину та осьового стиску</i>	123
8.4	<i>Спрощений розрахунок опору</i>	131
8.5	<i>Складені елементи з постійним перерізом</i>	133
8.5.1	<i>Загальні положення</i>	133
8.5.2	<i>Стиснуті решітчасті елементи</i>	136
8.5.3	<i>Стиснуті елементи зі з'єднувальними накладками</i>	138
8.5.4	<i>Складені елементи з близькорозташованими поясами</i>	140
8.6	<i>Непідкріплені пластини під навантаженням у площині</i>	141
8.6.1	<i>Загальні положення</i>	141
8.6.2	<i>Опір під дією рівномірного стиску</i>	142
8.6.3	<i>Опір під дією моменту у площині</i>	144
8.6.4	<i>Опір під дією поперечного або поздовжнього лінійно-змінного напруження</i>	145
8.6.5	<i>Опір зсуву</i>	145
8.6.6	<i>Елементи у стані стиску</i>	147
8.6.7	<i>Опір комбінованим діям</i>	149
8.7	<i>Підкріплені пластини під навантаженням у площині</i>	150
8.7.1	<i>Загальні положення</i>	150
8.7.2	<i>Підкріплені пластини під дією рівномірного стиску</i>	152
8.7.3	<i>Підкріплені пластини під дією моменту у площині</i>	154
8.7.4	<i>Пластини з багатьма елементами жорсткості під поздовжнім лінійно-змінним навантаженням</i>	155
8.7.5	<i>Пластина з багатьма елементами жорсткості під дією зсуву</i>	156

8.7.6 Критичне навантаження для ортотропних пластин	157
8.7.7 Навантаження з площини	160
8.7.8 Опір під дією комбінованого навантаження	162
8.8 Матеріали	164
8.8.1 Загальні положення	164
8.8.2 Опір зварних двотаврових балок під дією вигину в площині	165
8.8.3 Зварні двотаврові балки з поздовжніми елементами жорсткості	168
8.8.4 Опір зсуву	170
8.8.5 Опір поперечним навантаженням	177
8.8.6 Спільна дія навантажень	181
8.8.7 Втрата стійкості під навантаженням на полиці	183
8.8.8 Елемент жорсткості стінки балки	184
8.9 Елементи з гофрованими стінками	186
8.9.1 Загальні положення	186
8.9.2 Опір згинальному моменту	187
8.9.3 Опір силі зсуву	188
9 ГРАНИЧНІ СТАНИ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ ПРИДАТНОСТІ	189
9.1 Загальні положення	189
9.2 Деформації та динамічні дії для будівель	190
10 ПРОЄКТУВАННЯ ВУЗЛІВ	191
10.1 Основи проєктування	191
10.1.1 Вступ	191
10.1.2 Прикладені навантаження і моменти	191
10.1.3 Опір вузлів	192
10.1.4 Розрахункові припущення	192
10.1.5 Виготовлення та виконання робіт	193
10.2 Точки перетину осей елементів у болтових, заклепкових та зварних вузлах	193
10.3 Вузли, що працюють на зсув і знаходяться під дією удару, вібрації та/або навантаження змінного знака	194
10.4 Класифікація вузлів	194
10.5 З'єднання на болтах, заклепках та штифтах	194
10.5.1 Розташування отворів для болтів і заклепок	194
10.5.2 Поправки на отвори для кріпильних деталей	198
10.5.3 Категорії болтових з'єднань	201
10.5.4 Розрахунковий опір болтів	204

10.5.5 Розрахунковий опір заклепок.....	207
10.5.6 Болти та заклепки з потайними головками.....	208
10.5.7 Самонарізувальні і самосвердлувальні гвинти і витяжні заклепки.....	209
10.5.8 Болти у стійких до проковзування з'єднаннях	209
10.5.9 Протяжні вузли.....	213
10.5.10 Вузли з плоских елементів з одинарним напустком і лише одним рядом кріпильних елементів	213
10.5.11 Кріпильні деталі з ущільнювальними прокладками.....	214
10.5.12 Штифтові з'єднання.....	215
10.5.13 Кріпильні вироби з алюмінію	217
10.6 Основи проектування.....	218
10.6.1 Загальні положення.....	218
10.6.2 Проектування зварних з'єднань.....	220
10.7 Розрахунок швів, отриманих за допомогою ротаційного зварювання тертям.....	240
10.8 Гібридні з'єднання.....	242
10.9 Спеціальні вузли	242
10.9.1 Загальні положення.....	242
10.9.2 Пазово-болтовий вузол	243
10.9.3 Гвинтові пази та різьбові отвори для гвинтів.....	248
10.10 Еквівалентний розтягнутий тавровий елемент	248
10.10.1 Загальні положення.....	248
10.10.2 Зусилля відриву у стандартному окремому з'єднанні з тавровим елементом	249
10.10.3 Загальні правила визначення опору	251
10.10.4 Геометричні обмеження.....	260
10.11 Стінка колони під дією поперечного розтягу і поперечного стиску.....	261
10.11.1 Загальні положення.....	261
10.11.2 Стінка колони під дією поперечного розтягу.....	262
10.11.3 Стінка колони під дією поперечного стиску.....	266
10.12 Клейові вузли	268
10.13 Інші способи з'єднань	269
ДОДАТОК А (обов'язковий) ВИМОГИ ДО ЯКОСТІ ВИКОНАННЯ.....	270
A.1 Застосування цього додатка.....	270
A.2 Сфера та область застосування	270
A.3 Загальні положення.....	270

A.4 Процес вибору класу виконання	271
A.5 Оцінка ступеня використання.....	274
ДОДАТОК В (довідковий) РОЗРАХУНКОВИЙ МЕТОД СКІНЧЕННИХ ЕЛЕМЕНТІВ (МСЕ)	
.....	276
B.1 Застосування цього додатка	276
B.2 Сфера та область застосування.....	276
B.3 Застосування МСЕ для розрахунку	277
B.4 Моделювання	277
B.5 Вибір програмного забезпечення та документації.....	278
B.6 Моделювання	278
B.7 Властивості матеріалу	280
B.8 Навантаження	281
B.9 Критерії граничного стану.....	281
B.10 Часткові коефіцієнти	282
ДОДАТОК С (довідковий) ВИБІР МАТЕРІАЛІВ.....	285
C.1 Застосування цього додатка	285
C.2 Сфера та область застосування.....	285
C.3 Загальні положення	285
C.4 Деформівні сплави.....	286
C.5 Ливарні вироби.....	292
ДОДАТОК D (довідковий) КОРОЗІЯ ТА ЗАХИСТ ПОВЕРХОНЬ.....	295
D.1 Застосування цього додатка	295
D.2 Застосування цього додатка	295
D.3 Застосування цього додатка	295
D.4 Ступені довговічності алюмінієвих сплавів	300
D.5 Захист від корозії.....	301
ДОДАТОК Е (обов'язковий) ВИЛИВКИ.....	312
E.1 Застосування цього додатка	312
E.2 Сфера та область застосування.....	312
E.3 Загальні проєктні положення для ливарних виробів	312
ДОДАТОК F (довідковий) АНАЛІТИЧНІ МОДЕЛІ ЗАЛЕЖНОСТІ МІЖ НАПРУЖЕННЯМ І ДЕФОРМАЦІЄЮ	316
F.1 Застосування цього додатка.....	316
F.2 Сфера та область застосування	316
F.3 Аналітичні моделі	316

F.4 Наближене обчислення $\epsilon_{uni, max}$	325
ДОДАТОК G (довідковий) ГЕОМЕТРИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ПОПЕРЕЧНИХ ПЕРЕРІЗІВ	327
G.1 Застосування цього додатка	327
G.2 Сфера та область застосування	327
G.3 Константа кручення It	327
G.4 Момент опору під час кручення Wt	328
G.5 Розташування центра зсуву S	328
G.6 Константа депланації Iw	328
G.7 Характеристики відкритих тонкостінних перерізів	332
G.8 Константа кручення перерізу із замкнутою частиною	335
G.9 Площа зсуву	336
G.10 Пластичний момент опору перерізу і рівняння взаємодії	337
ДОДАТОК H (довідковий) РОБОТА ПОПЕРЕЧНИХ ПЕРЕРІЗІВ ЗА МЕЖЕЮ ПРУЖНОСТІ	340
H.1 Застосування цього додатка	340
H.2 Сфера та область застосування	340
H.3 Визначення граничних станів поперечних перерізів	341
H.4 Класифікація поперечних перерізів за граничними станами	342
H.5 Граничні значення граничного осьового навантаження	344
H.6 Граничні значення граничного моменту	345
H.7 Граничний опір	346
ДОДАТОК I (довідковий) ПОПЕРЕЧНО-КРУТИЛЬНА ВТРАТА СТІЙКОСТІ БАЛОК ТА КРУТИЛЬНА АБО ЗГИНАЛЬНО- КРУТИЛЬНА ВТРАТА СТІЙКОСТІ СТИСНУТИХ ЕЛЕМЕНТІВ	348
I.1 Застосування цього додатка	348
I.2 Сфера та область застосування	348
I.3 Пружний критичний момент та гнучкість	348
I.4 Гнучкість у разі поперечно-крутильної форми втрати стійкості	360
I.5 Пружна критична осьова сила у разі втрати стійкості за крутильною або згинально-крутильною формою	363
I.6 Гнучкість у разі втрати стійкості за крутильною або згинально-крутильною формою	365
ДОДАТОК J (довідковий) ЕФЕКТ ЗАПІЗНЕННЯ ЗСУВУ ПІД ЧАС РОЗРАХУНКУ ЕЛЕМЕНТА	371

J.1 Застосування цього додатка	371
J.2 Сфера та область застосування.....	371
J.3 Ефективна ширина для ефекту пружного запізнення зсуву	372
J.4 Ефект запізнення зсуву у граничному стані за несною здатністю.....	375
ДОДАТОК К (довідковий) МЕТОД ПЛАСТИЧНИХ ШАРНІРІВ ДЛЯ ЖОРСТКИХ БАЛОК	377
K.1 Застосування цього додатка	377
K.2 Сфера та область застосування.....	377
K.3 Визначення граничного згинального моменту M_u	378
ДОДАТОК L (довідковий) ПЛАСТИЧНІСТЬ ПОПЕРЕЧНОГО ПЕРЕРІЗУ ТА ПОВОРОТНА ЗДАТНІСТЬ	381
L.1 Застосування цього додатка.....	381
L.2 Сфера та область застосування	381
L.3 Аналіз залежності «момент/кривизна» для поперечного перетину	383
L.4 Розрахунок поворотної здатності	389
L.5 Емпіричні співвідношення для визначення граничного опору.....	390
L.6 Емпіричні співвідношення для поворотної здатності	392
ДОДАТОК М (довідковий) КЛАСИФІКАЦІЯ ВУЗЛІВ.....	393
M.1 Застосування цього додатка.....	393
M.2 Сфера та область застосування	393
M.3 Загальні положення.....	393
M.4 Повністю відновлювані вузли	394
M.5 Частково відновлювані вузли.....	395
M.6 Класифікація за жорсткістю	395
M.7 Класифікація за міцністю	395
M.8 Класифікація за пластичністю	396
M.9 Загальні розрахункові вимоги до вузлів.....	397
M.10 Вимоги до рамних вузлів.....	397
ДОДАТОК N (довідковий) ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ КОМПОНЕНТІВ ДЛЯ ВУЗЛІВ.....	402
N.1 Застосування цього додатка	402
N.2 Сфера та область застосування.....	402
ДОДАТОК O (довідковий) ГВИНТОВІ ПАЗИ ТА РІЗЬБОВІ ОТВОРИ ДЛЯ ГВИНТІВ.....	404
O.1 Застосування цього додатка	404
O.2 Сфера та область застосування.....	404
O.3 Опір розтягу.....	405

О.4 Опір зсуву	408
ДОДАТОК Р (довідковий) СТАЛЕВИЙ ЛИСТ З АЛЮМІНІЄВИМ ПОКРИТТЯМ (ТИП А)	
.....	412
Р.1 Застосування цього додатка.....	412
Р.2 Сфера та область застосування	412
Р.3 Загальні положення.....	412
Р.4 Клеї.....	413
Р.5 Застосування цього додатка.....	414
Р.6 Випробування	417
ДОДАТОК Q (довідковий) ВИЗНАЧЕННЯ РОЗМІРІВ ЗОН ТЕРМІЧНОГО ВПЛИВУ ЗА ДОПОМОГОЮ ВИПРОБУВАННЯ НА ТВЕРДІСТЬ	418
Q.1 Застосування цього додатка	418
Q.2 Сфера та область застосування.....	418
Q.3 Визначення розмірів зон термічного впливу за допомогою випробування на твердість.....	418
ДОДАТОК R (довідковий) СТАЛЕВИЙ ЛИСТ З АЛЮМІНІЄВИМ ПОКРИТТЯМ (ТИП А)	
.....	422
R.1 Застосування цього додатка.....	422
R.2 Сфера та область застосування	422
R.3 Конструкція	423
R.4 Конструкція	424
ДОДАТОК S (обов'язковий) АЛЮМІНІЄВІ МОСТИ	427
S.1 Застосування цього додатка.....	427
S.2 Сфера та область застосування	427
S.3 Терміни, визначення понять та позначки.....	427
S.4 Основи проектування	428
S.5 Матеріали.....	429
S.6 Довговічність.....	429
S.7 Довговічність.....	430
S.8 Граничні стани за несною здатністю	431
S.9 Граничні стани експлуатаційної придатності.....	433
S.10 Втома.....	435
S.11 Деталювання.....	437
ДОДАТОК Т (довідковий) РЕШІТЧАСТІ ПРОСТОРОВІ ПОКРІВЕЛЬНІ КОНСТРУКЦІЇ	452
T.1 Застосування цього додатка.....	452

Т.2 Сфера та область застосування	452
Т.3 Загальні вимоги	453
Т.4 Двошарові сітчасті конструкції.....	453
Т.5 Одношарові сітчасті конструкції	463
ДОДАТОК U (довідковий) КОМПОЗИТНІ АЛЮМІНІЄВО-БЕТОННІ БАЛКИ.....	473
U.1 Застосування цього додатка	473
U.2 Сфера та область застосування.....	473
U.3 Загальні та основні задачі	473
U.4 Розрахунок внутрішніх зусиль	475
U.5 Граничні стани за несною здатністю.....	477
U.6 З'єднувальні елементи, що працюють на зріз.....	483
ДОДАТОК V (обов'язковий) ЗМІНЕНІ УМОВИ ВТРАТИ СТІЙКОСТІ.....	487
V.1 Застосування цього додатка	487
V.2 Застосування цього додатка	487
V.3 Розрахунок згинальної втрати стійкості для дугових недосконалостей L/500	488
БІБЛІОГРАФІЯ	489
ДОДАТОК НА (довідковий) ПЕРЕЛІК НАЦІОНАЛЬНИХ СТАНДАРТІВ УКРАЇНИ, ІДЕНТИЧНИХ ЄВРОПЕЙСЬКИМ ТА МІЖНАРОДНИМ НОРМАТИВНИМ ДОКУМЕНТАМ, ПОСИЛАННЯ НА ЯКІ Є В ЦЬОМУ СТАНДАРТІ.....	497

НАЦІОНАЛЬНИЙ ВСТУП

Цей національний стандарт ДСТУ EN 1999-1-1:202__ (EN 1999-1-1:2023, IDT) «Єврокод 9. Проектування алюмінієвих конструкцій. Частина 1-1. Загальні правила», прийнятий методом перекладу, — ідентичний щодо EN 1999-1-1:2023 (версія en) «Eurocode 9 — Design of aluminium structures — Part 1—1: General rules».

Технічний комітет стандартизації, відповідальний за цей стандарт в Україні, — ТК 301 «Металобудівництво».

Цей стандарт прийнято на заміну ДСТУ-Н Б EN 1999-1-1 «Єврокод 9. Проектування алюмінієвих конструкцій. Частина 1-1. Загальні правила для конструкцій (EN 1999-1-1:2007, IDT)».

У цьому національному стандарті зазначено вимоги, які відповідають законодавству України.

До стандарту внесено такі редакційні зміни:

— слова «цей європейський стандарт», «цей документ» замінено на «цей стандарт»;

— структурні елементи стандарту: «Титульний аркуш», «Передмову», «Зміст», «Національний вступ», першу сторінку, «Терміни та визначення понять» і «Бібліографічні дані» — оформлено згідно з вимогами національної стандартизації України;

— у розділі «Нормативні посилання», у «Додатку А» та в «Бібліографії» наведено «Національне пояснення», виділене рамкою;

— долучено довідковий додаток НА (Перелік національних стандартів України, ідентичних європейським та міжнародним нормативним документам, посилання на які є в цьому стандарті).

Копії нормативних документів, на які є посилання в цьому стандарті, можна отримати в Національному фонді нормативних документів.

ПЕРЕДМОВА до EN 1999-1-1:2023

Цей стандарт (EN 1999-1-1:2023) підготував Технічний комітет CEN/TC 250 «Будівельні Єврокоди», секретаріат якого діє за підтримки BSI. CEN/TC 250 призначений CEN відповідальним за будівельні та геотехнічні питання проектування та несе відповідальність за всі будівельні Єврокоди.

Цьому стандарту буде надано статус національного з публікуванням ідентичного тексту або схваленням не пізніше ніж у вересні 2027 року, при цьому національні стандарти, положення яких суперечать цьому стандарту, мають бути скасовані не пізніше ніж у березні 2028 року.

Потрібно звернути увагу на те, що деякі елементи цього стандарту можуть бути предметом патентних прав. CEN не несе відповідальності за виявлення таких патентних прав частково або повною мірою.

Цей стандарт замінює EN 1999-1-1:2007.

Порівняно з попередньою редакцією у цей стандарт внесено такі основні зміни:

- скорочено кількість пропозицій щодо внесення національно визначених параметрів;
- впроваджено новий матеріал, сплав EN-AW 5383;
- доопрацьовано та вдосконалено криві втрати стійкості за згинальною формою;
- долучено сценарій позаплощинного навантаження на підкріплену листову обшивку;
- додано нові типи з'єднань: ротаційне зварювання тертям, пазове болтове з'єднання та пазове гвинтове з'єднання;
- доопрацьовано та додано положення для моделей з'єднань таврових елементів під дією розтягу;
- роз'яснено відмінності між схильними до зминання елементами з поздовжніми зварними швами і елементами з поперечними зварними швами;
- долучено нові положення для випадків, коли не дотримано

початкову дугову недосконалість елементів L/1000 (Додаток V);

— долучено новий додаток «Визначення розмірів зон термічного впливу за допомогою випробування на твердість» (додаток Q)

— долучено новий додаток «Приварні шпильки, прикріплені за допомогою дугового приварювання шпильок з розплавленням кінчика» (додаток R);

— долучено новий додаток «Алюмінієві мости» (додаток S);

— долучено новий додаток «Решітчасті просторові покрівельні конструкції» (додаток T);

— долучено новий додаток «Композитні алюмінієво-бетонні балки» (додаток U).

Перше покоління Єврокодів як європейських стандартів EN, було опубліковано у 2002 — 2007 роках. Цей стандарт є частиною другого покоління Єврокодів, які було розроблено згідно з мандатом M/515, наданим CEN Комісією європейської спільноти та Європейською асоціацією вільної торгівлі.

Єврокоди було розроблено для використання в поєднанні з відповідними стандартами на виконання робіт, матеріали, вироби та випробування, а також для визначення вимог до виконання робіт, матеріалів, виробів та випробувань, на яких базуються Єврокоди.

Єврокоди визнають відповідальність держав-членів та гарантують їх право визначати величини, пов'язані з регулюванням питань національної безпеки, через застосування національних додатків.

Будь-які відгуки та запитання щодо цього стандарту потрібно надсилати до національного органу стандартизації. Повний перелік цих органів можна знайти на веб-сайті CEN.

Відповідно до внутрішніх постанов CEN/CENELEC цей стандарт зобов'язані прийняти національні органи стандартизації таких країн: Австрії, Бельгії, Болгарії, Хорватії, Кіпру, Чеської Республіки, Данії, Естонії, Фінляндії, Франції, Німеччини, Греції, Угорщини, Ісландії, Ірландії, Італії,

прДСТУ EN 1999-1-1:202X

Латвії, Литви, Люксембургу, Мальти, Нідерландів, Норвегії, Польщі, Португалії, республіки Північна Македонія, Румунії, Сербії, Словаччини, Словенії, Іспанії, Швеції, Швейцарії, Туреччини та Великої Британії.

0. ВСТУП

0.1 Вступ до Єврокодів

Будівельні Єврокоди містять наступні стандарти, як правило, складені з декількох частин:

- EN 1990. Єврокод. Основи проектування конструкцій;
- EN 1991. Єврокод 1. Дії на конструкції.
- EN 1992. Єврокод 2. Проектування залізобетонних конструкцій.
- EN 1993. Єврокод 3. Проектування сталевих конструкцій;
- EN 1994. Єврокод 4. Проектування сталезалізобетонних конструкцій;
- EN 1995 Єврокод 5. Проектування дерев'яних конструкцій;
- EN 1996 Єврокод 6. Проектування кам'яних конструкцій;
- EN 1997 Єврокод 7. Геотехнічне проектування;
- EN 1998 Єврокод 8. Проектування сейсмостійких конструкцій;
- EN 1999 Єврокод 9. Проектування алюмінієвих конструкцій;
- На стадії розроблення перебувають нові частини, наприклад Єврокод з проектування скляних конструкцій.

Єврокоди призначені для застосування проєктувальниками, замовниками, виробниками, конструкторами, відповідними органами (під час виконання обов'язків відповідно до національних або міжнародних норм), педагогами, розробниками програмного забезпечення та комітетами, що розробляють стандарти для відповідних виробів, та стандарти на випробування і на виконання.

Примітка. Певні аспекти проєктування найбільш відповідним чином визначені відповідними органами або, якщо не вказано, можуть бути узгоджені на проєктній основі між відповідними сторонами, наприклад проєктувальником та замовником. Єврокоди встановлюють такі аспекти з чітким посиланням на відповідні органи влади та відповідні сторони.

0.2 Вступ до EN 1999 (усі частини)

EN 1999 (усі частини) регламентує питання проектування будівель і споруд цивільного призначення та конструкційних виробів із алюмінію. Він реалізує принципи і вимоги до безпеки та експлуатаційної придатності конструкцій, основи їх проектування і перевірки, наведені в стандарті EN 1990.

EN 1999 (усі частини) стосується лише вимог до міцності, експлуатаційної придатності, довговічності та вогнестійкості алюмінієвих конструкцій. Інші вимоги, наприклад ті, що стосуються тепло- або звукоізоляції, не розглядаються.

EN 1999 (всі частини) не містить особливих вимог щодо сейсмічного проектування. Положення, що стосуються таких вимог, наведено в EN 1998, що доповнює EN 1999 і узгоджений з ним.

Проектування нових конструкцій за EN 1999 передбачає одночасне застосування EN 1990, EN 1991, EN 1992, EN 1993, EN 1994, EN 1995, EN 1997, EN 1998 і EN 1999.

Єврокод 9 складений з таких частин:

- EN 1999-1-1 Проектування алюмінієвих конструкцій. Частина 1-1. Загальні правила;
- EN 1999-1-2 Проектування алюмінієвих конструкцій. Частина 1-2. Розрахунок конструкцій на вогнестійкість;
- EN 1999-1-3 Проектування алюмінієвих конструкцій. Частина 1-3. Конструкції схильні до втоми;
- EN 1999-1-4 Проектування алюмінієвих конструкцій. Частина 1-4. Холодноформовані листи;
- EN 1999-1-5 Проектування алюмінієвих конструкцій. Частина 1-5. Конструкції оболонок.

0.3 Вступ до EN 1999-1-1

У цьому стандарті наведено основні правила проектування конструкцій з деформівних алюмінієвих сплавів і часткові рекомендації для

ливарних сплавів.

Цей стандарт є першою з п'яти частин стандарту EN 1999. У ньому викладено загальні правила проєктування, призначені для одночасного застосування з частинами EN 1999-1-2 — EN 1999-1-5.

EN 1999-1-1 може бути застосований для розрахункових сценаріїв, не передбачених Єврокодами (відмінні конструкції, дії, матеріали), і служити довідковим документом для інших технічних комітетів CEN, що займаються конструкційними питаннями.

0.4 Застосовні у Єврокодах уніфіковані мовні форми

Словом «потрібно» позначено жорстку вимогу, від якої не допускається жодних відхилень з метою дотримання Єврокодів.

Словами «рекомендовано», «має» позначено настійно рекомендований вибір або спосіб дії. Застосування альтернативних підходів дозволено за умови технічного обґрунтування відповідно до національного законодавства та/або будь-яких відповідних договірних положень.

Словами «дозволено», «можна» позначено спосіб дії, допустимий в рамках Єврокодів.

Словами «може», «можливо» позначено можливість та здатність; його використовують для констатації факту і роз'яснення концепцій.

0.5 Національний додаток до EN 1999-1-1

У цьому стандарті дозволено національний вибір у місцях, де це явно зазначено в примітках. Національний вибір включає вибір значень для параметрів, визначених на національному рівні (*Nationally determined parameters; NDP*).

Національний стандарт, що впроваджує EN 1999-1-1, може містити національний додаток з усіма параметрами, визначеними на національному рівні, необхідними для проєктування будівель і споруд

цивільного призначення з метою будівництва у відповідній країні.

Якщо національний вибір не наведено, потрібно застосовувати наведений у цьому стандарті вибір за замовчуванням.

Якщо національний вибір не виконано, а вибір за замовчуванням у цьому стандарті відсутній, параметри можуть бути уточнені відповідальним органом, чи, якщо не вказано інше, узгоджені для конкретного проєкту відповідальними сторонами.

У EN 1999-1-1 національний вибір дозволено у таких пунктах:

4.1.2(3)	4.4.3(2)	4.5(1)	5.2.1(1)
9.1(2)	9.2(2)	10.6.2.2(1)	A.3.2(1)
A.4(1)	A.4(3) – 2 вибори	A.4(1)	A.5(1)
E.3.1(2)	E.3.1(3)	H.2(6)	O.2(2) – 2 вибори
S.2(2)	S.4.1.2(3)	S.4.1.2(4)	S.6(3)
S.10.4(1)			

У EN 1999-1-1 національний вибір дозволено під час застосування наступних довідкових додатків:

Додаток B	Додаток C	Додаток D	Додаток F
Додаток G	Додаток H	Додаток I	Додаток J
Додаток K	Додаток L	Додаток M	Додаток N
Додаток O	Додаток P	Додаток Q	Додаток R
Додаток T	Додаток U		

Для спрощення впровадження національний додаток може безпосередньо або у вигляді посилання містити несуперечливу додаткову інформацію, за умови, що вона не змінює жодні положення Єврокодів.

НАЦІОНАЛЬНИЙ СТАНДАРТ УКРАЇНИ

ЄВРОКОД 9.

ПРОЄКТУВАННЯ АЛЮМІНІЄВИХ КОНСТРУКЦІЙ. ЧАСТИНА 1-1. ЗАГАЛЬНІ ПРАВИЛА

EUROCODE 9 — DESIGN OF ALUMINIUM STRUCTURES — PART 1—1: GENERAL RULES

Чинний від 202X-XX-XX

1 СФЕРА ЗАСТОСУВАННЯ

1.1 Сфера застосування EN 1999-1-1

(1) EN 1999-1-1 містить основні правила проєктування конструкцій із деформівних алюмінієвих сплавів і часткові рекомендації для ливарних алюмінієвих сплавів (див. розділ 5 та додаток C).

За відсутності прямих вказівок, цей стандарт не охоплює наступне:

- елементи з товщиною матеріалу менше за 0,6 мм;
- зварні елементи з товщиною матеріалу менше за 1,5 мм;
- з'єднання на:
 - сталевих болтах та штифтах діаметром менше за 5 мм;
 - алюмінієвих болтах та штифтах діаметром менше за 8 мм;
 - заклепках та самонарізувальних шурупах, діаметром менше за 3,9 мм.

1.2 Припущення

(1) Крім загальних положень EN 1990, діють такі вихідні положення:

- виконання відповідає стандартам EN 1090-3 та EN 1090-5;
- механічні властивості відповідають стандартам на продукцію, переліченим у 5.2.2.

(2) EN 1999 призначений для використання разом з:

— Європейськими стандартами на будівельні вироби, застосовними до алюмінієвих конструкцій;

— EN 1090-1 Виконання сталевих і алюмінієвих конструкцій. Частина 1. Вимоги до оцінки відповідності елементів конструкцій;

— EN 1090-3 Виконання сталевих і алюмінієвих конструкцій. Частина 3 Технічні вимоги до алюмінієвих конструкцій;

— EN 1090-5 Виконання сталевих та алюмінієвих конструкцій. Частина 5. Технічні вимоги до холодноформованих алюмінієвих будівельних елементів та конструкцій для покрівель, стель, підлог і стін

2 НОРМАТИВНІ ПОСИЛАННЯ

Посилання на зазначені нижче документи наведено в тексті так, що частина або весь їхній зміст становлять викладені в цьому стандарті вимоги. У разі датованих посилань застосовують тільки наведені видання. У разі недатованих посилань потрібно користуватись останнім виданням нормативних документів (разом зі змінами).

Примітка. Перелік інших цитованих документів, які не включено до нормативних посилань, в тому числі тих, на які посилаються як на рекомендації (тобто через пункти "рекомендовано") та дозволи (тобто через пункти «дозволено», «може») наведено у Бібліографії.

EN 1090-3 Execution of steel structures and aluminium structures – Part 3: Technical requirements for aluminium structures

EN 1090-5 Execution of steel structures and aluminium structures – Part 5: Technical requirements for cold-formed structural aluminium elements and cold-formed structures for roof, ceiling, floor and wall applications

EN 1990 Eurocode — Basis of structural and geotechnical design

EN 1991 (all parts), Eurocode 1 — Actions on structures

EN 1993-1-8 Eurocode 3 — Design of steel structures — Part 1-8: Design of joints

EN 1993-1-11 Eurocode 3 — Design of steel structures — Part 1-11:

Design of structures with tension components

EN 1999-1-2 Eurocode 9 — Design of aluminium structures — Part 1-2:
Structural fire design

EN 1999-1-3 Eurocode 9 — Design of aluminium structures — Part 1-3:
Structures susceptible to fatigue

EN 1999-1-4 Eurocode 9 — Design of aluminium structures — Part 1.4:
Cold-formed structural sheeting

EN 1999-1-5 Eurocode 9 — Design of aluminium structures — Part 1-5:
Shell structures

EN 10204 Metallic products - Types of inspection documents

EN 14399-1 High-strength structural bolting assemblies for preloading —
Part 1: General requirements

EN 14399-3 High-strength structural bolting assemblies for preloading —
Part 3: System HR — Hexagon bolt and nut assemblies

EN 14399-4 High-strength structural bolting assemblies for preloading —
Part 4: System HV — Hexagon bolt and nut assemblies

EN 14399-5 High-strength structural bolting assemblies for preloading —
Part 5: Plain washers

EN 14399-6 High-strength structural bolting assemblies for preloading —
Part 6: Plain chamfered washers

EN 14399-8 High-strength structural bolting assemblies for preloading —
Part 8: System HV — Hexagon fit bolt and nut assemblies

EN 15048-1 Non-preloaded structural bolting assemblies — Part 1:
General requirements

EN ISO 3506-1 Fasteners — Mechanical properties of corrosion-resistant
stainless-steel fasteners — Part 1: Bolts, screws and studs with specified
grades and property classes (ISO 3506-1)

EN ISO 3506-2 Fasteners — Mechanical properties of corrosion-resistant
stainless steel fasteners — Part 2: Nuts with specified grades and property
classes (ISO 3506-2)

EN ISO 13918 Welding — Studs and ceramic ferrules for arc stud welding (ISO 13918).

НАЦІОНАЛЬНЕ ПОЯСНЕННЯ

EN 1090-3 Виконання сталевих і алюмінієвих конструкцій.

Частина 3 Технічні вимоги до алюмінієвих конструкцій

EN 1090-5 Виконання сталевих та алюмінієвих конструкцій.

Частина 5. Технічні вимоги до холодноформованих алюмінієвих будівельних елементів та конструкцій для покрівель, стель, підлог і стін

EN 1990 Єврокод. Основи проектування конструкцій

EN 1991 (усі частини) Єврокод 1. Дії на конструкції

EN 1993-1-8 Єврокод 3. Проектування сталевих конструкцій.

Частина 1-8. Проектування з'єднань

EN 1993-1-11 Єврокод 3. Проектування сталевих конструкцій.

Частина 1-11. Проектування конструкцій з розтягнутими елементами

EN 1999-1-2 Єврокод 9. Проектування алюмінієвих конструкцій.

Частина 1-2. Розрахунок конструкцій на вогнестійкість

EN 1999-1-3 Єврокод 9. Проектування алюмінієвих конструкцій.

Частина 1-3. Конструкції чутливі до витривалості

EN 1999-1-4 Єврокод 9. Проектування алюмінієвих конструкцій.

Частина 1-4. Холодноформовані листи

EN 1999-1-5 Єврокод 9 Проектування алюмінієвих конструкцій.

Частина 1-5. Конструкції оболонок

EN 10204 Вироби металеві. Види документів контролю

EN 14399-1 З'єднання болтові високоміцні для попереднього напруження. Частина 1. Загальні вимоги

EN 14399-3 З'єднання болтові високоміцні для попередньої напруги. Частина 3. Система HR. Вузли з шестигранными болтами та гайками

EN 14399-4 З'єднання болтові високоміцні для попереднього напруження. Частина 4. Система HV. Вузли з шестигранными болтами та гайками

EN 14399-5 З'єднання болтові високоміцні для попередньої напруги. Частина 5. Плоскі шайби

EN 14399-6 З'єднання болтові високоміцні для попередньої напруги. Частина 6. Плоскі шайби зі скошеною фаскою

EN 14399-8 З'єднання болтові високоміцні для попередньої напруги. Частина 8. Система HV. Вузли з шестигранными болтами та гайками

EN 15048-1 З'єднання болтові без попереднього напруження. Частина 1. Загальні вимоги

EN ISO 3506-1 Механічні властивості кріпильних виробів із корозійностійкої нержавкої сталі. Частина 1. Болти, гвинти та шпильки (ISO 3506-1)

EN ISO 3506-2 Механічні властивості кріпильних виробів із корозійностійкої нержавкої сталі. Частина 2. Гайки (ISO 3506-2)

EN ISO 13918 Зварювання. Шпильки і керамічні втулки для дугового зварювання шпильок. Терміни, визначення понять та позначки.

3 ТЕРМІНИ, ВИЗНАЧЕННЯ ПОНЯТЬ ТА ПОЗНАКИ

3.1 Терміни і визначення понять

У цьому стандарті вжито терміни та визначення понять, зазначені в EN 1990, а також наведені нижче.

ISO та IEC підтримують термінологічні бази даних для використання в стандартизації за такими адресами:

— ISO онлайнова інтернет-платформа, доступна за адресою: <http://www.iso.org/obp>

— IEC Електропедія, доступна за адресою: <http://www.electropedia.org/>

3.1.1 каркас; рама (*frame*)

Конструкція загалом або її частина, складена з безпосередньо з'єднаних конструкційних елементів, призначених для спільного сприйняття навантажень.

Примітка 1. Цей термін застосовний як до каркасів, що сприймають моменти, так і до триангуляційних каркасів. Він охоплює як плоскі так і просторові каркаси.

3.1.2 з'єднання (*connection*)

Місце, в якому два елементи прикріплені один до одного.

Примітка 1. З'єднання — це система, що механічно прикріплює окремий елемент до іншої частини конструкції. Рекомендовано відрізняти термін "вузол", що зазвичай означає систему, складену із самого з'єднання та відповідної зони взаємодії між з'єднаними елементами (див. рисунок М.1).

3.1.3 вузол (*joint*)

Складені разом основні елементи, що утворюють з'єднання у такий спосіб, щоб забезпечити передавання відповідних внутрішніх зусиль та моментів.

Примітка 1. Вузол з'єднання балки з колоною складається з ділянки стінки балки та одного (у разі односторонньої конфігурації вузла) або двох (у разі двосторонньої конфігурації вузла) з'єднань.

Примітка 2. Відмінність між вузлом та з'єднанням наведено у 3.1.2 та на рис. М.1.

3.1.4 напівжорсткий вузол (*semi-continuous joint*)

Вузол, для якого у процесі загального розрахунку потрібно детально враховувати конструкційні властивості (неповну жорсткість) його складових частин.

Примітка 1. Термін «жорсткий» стосується властивостей як міцності, так і жорсткості.

Примітка 2. Термін «жорсткий вузол» стосується розрахунку жорстких каркасів.

3.1.5 жорсткий вузол (*continuous joint*)

Вузол, для якого у процесі загального розрахунку потрібно враховувати виключно конструкційні властивості (жорсткість з'єднання) складових частин.

Примітка 1. Термін "жорсткий" стосується властивостей як міцності, так і жорсткості. **Примітка 2.** Термін "жорсткий вузол" стосується розрахунку жорстких каркасів.

3.1.6 шарнірний вузол (*simple joint*)

Вузол, не призначений для сприйняття моментів.

3.1.7 загальний розрахунок (*global analysis*)

Конструкційний розрахунок всієї конструкції.

Примітка 1. Конструкційний розрахунок іноді виконують на більш ніж одному рівні з використанням різних моделей (загальний, поелементний та локальний розрахунок). Визначення конструкційного розрахунку див. у EN 1990.

3.1.8 геометрична довжина (*system length*)

Відстань у заданій площині між двома сусідніми точками елемента, в яких він закріплений від поперечних переміщень, або між однією такою точкою та кінцем елемента.

3.1.9 розрахункова довжина (*buckling length*)

Довжина шарнірно закріпленого елемента із постійним перерізом, що для розрахунку на стійкість має той же поперечний переріз і таке саме пружне критичне зусилля, що й досліджуваний елемент із постійним перерізом (окремий або в складі каркасної конструкції).

3.1.10 ефект запізнення зсуву (*shear lag effect*)

Нерівномірний розподіл осьових напружень у широких полицях балок внаслідок деформацій за умов зсуву.

Примітка 1. Його може бути враховано використанням зниженої «ефективної» ширини полиці балки.

3.1.11 вичерпне проєктування (*capacity design*)

Метод проєктування, в якому деякі елементи конструкційної системи вибрано та, відповідно, запроєктовано та деталізовано для розсіювання енергії у випадку великих деформацій, тоді як інші конструкційні елементи передбачено достатньої міцності, такої, щоб вибраний спосіб розсіювання енергії підтримувався в працездатному стані.

Примітка 1. Такий метод проєктування застосовний, наприклад, для проєктування сейсмостійких конструкцій.

3.1.12 відкритий профіль (*open section*)

Тип профілю, схильний до втрати стійкості за крутильною чи поперечно-крутильною формою, наприклад I-, H-, U-, Z-, C-подібні профілі з малою крутильною жорсткістю.

Примітка 1. Перевірку на стійкість потрібно виконувати навіть якщо профіль містить порожнини.

Примітка 2. Проєктні положення цього стандарту містять визначення відкритого, замкнутого/порожнистого та суцільного профілів (див. таблицю 3.1).

3.1.13 замкнутий/порожнистий профіль (*closed/hollow section*)

Прямокутний (*rectangular hollow sections; RHS*) і квадратний порожнистий профіль (*square hollow section; SHS*), круглий порожнистий профіль (*circular hollow sections; CHS*) а також складні порожнисті профілі з консольними частинами, тобто профілі з високою крутильною жорсткістю, в яких втрата стійкості за крутильною чи поперечно-крутильною форми не є вирішальною.

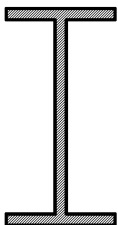
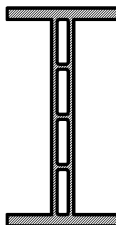
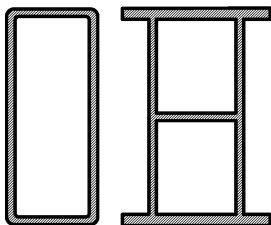
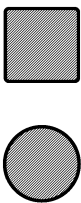
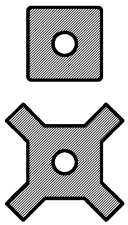
Примітка 1. Проєктні положення цього стандарту містять визначення відкритого, закритого/порожнистого та суцільного профілів, див. табл. 3.1.

3.1.14 суцільний профіль (*solid section*)

Тип стрижня, прута чи іншого компактного профілю, в якому допустимі невеликі порожнини та консольні частини.

Примітка 1. Проектні положення цього стандарту містять визначення відкритого, закритого/порожнистого та суцільного профілів, див. табл. 3.1.

Таблиця 3.1 — Познаки в цьому стандарті і комерційні познаки поперечних перерізів ^a

EN 1999-1-1	Відкритий		Замкнутий/Порожнистий ^b	Суцільний	
Поперечний переріз					
EN 12258	Суцільний	Порожнистий	Порожнистий	Суцільний	Порожнистий

^a Щоб уникнути непорозумінь між інженером-проектувальником і виробником / постачальником пресованих профілів, доцільно знати, що згідно з EN 12258 (Алюміній. Терміни та визначення) для напівфабрикатів застосовують різні терміни. Тут розрізняють:

- Профілі **порожнистого перерізу**, у яких поперечний переріз повністю охоплює одну або декілька порожнин;
- Профілі **суцільного перерізу**, у яких поперечний переріз не містить жодної порожнини;

^b Переріз дозволено вважати закритим, якщо відстань між стінками більша за третину його висоти.

3.1.15 болтові комплекти сталеві високоміцні (*high strength steel bolt assemblies*)

Болти класу міцності 8.8 або 10.9 з гайками і шайбами згідно з EN 14399-3 — EN 14399-6 та EN 14399-8 в поєднанні з EN 14399-1.

3.2 Познаки

У цьому стандарті вжито такі познаки.

Примітка. Визначення додаткових познач наведено там, де вони зустрічаються.

Великі латинські літери

$A = A_{5,65\sqrt{A_0}}$ — значення відносного подовження, виміряне за допомогою еталонної довжини, $5,65\sqrt{A_0}$, див. EN ISO 6892

A_{ch} — площа поперечного перерізу однієї гілки складеної колони;

A_d — площа одного розкосу складеної колони;

A_e — площа перерізу бруто незвареного цільного стрижня або круглої труби, або ефективна площа перерізу, отримана за допомогою використання приведеної товщини $\rho_{0,haz}t$ для матеріалу зон термічного впливу зварного профілю;

A_{eff} — ефективна площа поперечного перерізу;

A_f — площа розтягнутої полиці;

$A_{f,net}$ — площа нетто у перерізі з отворами для кріпильних деталей;

A_{f1}, A_{f2} — площа поперечного перерізу верхньої та нижньої полиць відповідно;

A_{fc} — площа поперечного перерізу стиснутої полиці;

A_g — площа поперечного перерізу бруто;

A_{net} — площа поперечного перерізу нетто;

A_s — площа болта для розрахунку на розтяг;

A_{st} — площа всіх поздовжніх елементів жорсткості в границях половини ширини полиці балки;

$A_{st,eff}$ — ефективна площа стрижня жорсткості, див. рисунок 8.29(с);

$A_{u,eff}$ — ефективна площа поперечного перерізу, з урахуванням місцевої втрати стійкості за згинальною формою та втрати міцності в зонах термічного впливу поперечних зварних швів;

A_v — площа зсуву;

A_v — площа одного стояка (або поперечного елемента) складеної колони;

A_w — площа поперечного перерізу стінки балки;

A_0 — площа поперечного перерізу отвору;

A_1 — площа зовнішньої частини кутика за межами отвору для болта;

A_{50} — значення відносного подовження, виміряне на еталонній довжині 50 мм, див. EN ISO 6892;

BC — клас втрати стійкості;

B_{Ed} — розрахункове значення бімоменту;

B_0 — звичайна міцність болта, що відповідає границі пружності;

$B_{p,Rd}$ — розрахунковий опір зсуву під час продавлювання на один болт;

$B_{t,Rd}$ — розрахунковий опір розтягу збірки болт – пластина;

$B_{u,Rd}$ — опір розтягу збірки болт – пластина;

B_x — згинальна жорсткість ортотропної пластини в перерізі x дорівнює константі;

B_y — згинальна жорсткість ортотропної пластини в перерізі y дорівнює константі;

C_0 — понижувальний коефіцієнт для $\rho_{o,haz}$, що залежить від товщини, присадного матеріалу та процесу зварювання;

C_u — понижувальний коефіцієнт для $\rho_{u,haz}$, що залежить від товщини, присадного матеріалу та процесу зварювання;

$C_1, C_2, C_3, C_{1,0}, C_{1,1}$ — коефіцієнти;

D — діаметр кола, вписаного у кутовий шов чи потовщення (бульбу);

D_m — діаметр серединної поверхні круглої труби;

E — модуль пружності;

E_k — характеристичне значення наслідку дії;

E_s — січний модуль пружності;

E_t — дотичний модуль пружності;

F — навантаження, узагальнене зусилля;

$F_{o,Rd}$ — розрахункове значення опору висмикуванню;

$F_{v,Rd}$ — контактний опір зсувним зусиллям гвинта, що діють перпендикулярно швелеру;

$F_{w,Rd}$ — розрахунковий опір зварного шва на одиницю довжини;

$F_{b,Rd}$ — розрахунковий опір зминанню одного болта;

F_{cr} — критичне пружне навантаження під час втрати стійкості для загальної форми втрати стійкості, обчислене з урахуванням первинної жорсткості в границях пружних деформацій;

F_e — пружне навантаження, пружне узагальнене зусилля;

F_{Ed} — розрахункове навантаження;

$F_{p,A}$ — зусилля попереднього напруження;

F_{Rd} — розрахунковий опір поперечним силам;

$F_{s,Rd}$ — розрахунковий опір проковзуванню на один болт для граничного стану за несною здатністю;

$F_{s,Rd,ser}$ — розрахунковий опір проковзуванню на один болт для граничного стану експлуатаційної придатності;

$F_{t,Ed}$ — розрахункове зусилля розтягу на один болт для граничного стану за несною здатністю;

$F_{tt,Rd}$ — розрахункове значення опору розтягу гвинтової різьби та різьбових отворів у перерізі, що проходить через кінець гвинта;

$F_{t,Rd}$ — розрахунковий опір розтягу на один болт;

$F_{tb,Rd}$ — розрахунковий опір розтягу у зоні розплавлення;

$F_{tb,Rk}$ — характеристичний опір розтягу у зоні розплавлення;

F_u — граничне навантаження, граничне узагальнене зусилля;

$F_{u,Rd}$ — опір розтягу таврового фланця;

$F_{v,Ed}$ — розрахункове значення зсувного зусилля на один болт для граничного стану за несною здатністю;

$F_{v,Ed,ser}$ — розрахункове значення зсувного зусилля на один болт для

граничного стану експлуатаційної придатності;

$F_{v,Rd}$ — розрахунковий опір зсуву;

G — зсувний модуль пружності;

G_k — номінальне значення наслідку постійних дій;

H — параметр крутильної жорсткості ортотропної пластини;

HAZ — зона термічного впливу;

H_{Ed} — розрахункове значення горизонтальної реакції в нижній частині поверху на горизонтальні навантаження та фіктивні горизонтальні навантаження;

I_b — момент інерції накладки у площині;

I_{ch} — момент інерції поясу у площині;

I_{eff} — ефективний момент інерції;

I_{ep} — момент інерції перерізу опорного ребра жорсткості відносно осьової лінії стінки;

I_{fc} — момент інерції стиснутої полиці відносно другої головної осі перерізу;

I_{ft} — момент інерції розтягнутої полиці відносно другої головної осі перерізу;

I_{gr} — момент інерції поперечного перерізу бруто;

I_L — момент інерції одного елемента жорсткості та прилеглої пластини у поздовжньому напрямку;

I_s — момент інерції навколо другої головної осі;

I_{ser} — момент інерції ефективного перерізу для граничного стану експлуатаційної придатності;

I_{sl} — момент інерції найближчого до завантаженої полиці елемента жорсткості;

I_{st} — момент інерції поперечного перерізу бруто елемента жорсткості з прилеглою ефективною частиною стінки навколо осі, яка проходить через її центр ваги і паралельна площині стінки;

I_t — стала кручення;

I_w — стала деформації;

I_{xT} — стала кручення одного елемента жорсткості з прилеглою пластиною для кручення навколо осі x-x;

L — довжина елемента;

L_{cr} — розрахункова довжина у розгляданій площині згину;

$L_{b,e}$ — довжина подовження болта;

L_b — довжина периметру головки болта, що контактує з бічною частиною швелера у пазових болтових вузлах;

L_e — довжина закріплення у болтових вузлах – довжина різьби, заглибленої в алюмінієвий проріз;

L_{ch} — розрахункова довжина поясу;

$L_{cr,z}$ — розрахункова довжина для втрати стійкості за поперечно-крутильною формою;

L_{Ed} — розрахункове значення складових зусилля, $F_{w,Ed}$, вздовж осі зварного шва;

L_{eff} — ефективна довжина для опору поперечному зусиллю;

L_j — відстань між центрами кінцевих кріпильних елементів в протяжному вузлі;

L_n — загальна довжина гвинта в пазу;

L_o — початкова довжина датчика;

L_p — довжина вістря гвинта;

L_w — загальна довжина поздовжнього кутового шва;

$L_{w,eff}$ — ефективна довжина поздовжнього кутового шва;

l_y — ефективна завантажена довжина для опору поперечному зусиллю;

M_{cr} пружний критичний момент для втрати стійкості за поперечно-крутильною формою;

M_{Ed}^I — розрахункове значення максимального моменту в середині

складеного елемента;

M_{Ed}^{II} — розрахункове значення максимального моменту в середині складеного елемента з впливами другого порядку;

$M_{b,Rd}$ — розрахунковий момент для втрати стійкості за поперечно-крутильною формою;

M_{Ed} — розрахункове значення згинального моменту;

$M_{f,Rd}$ — розрахунковий момент опору поперечного перерізу, з урахуванням лише полиць;

$M_{N,Rd}$ — приведений розрахунковий момент опору під дією осьового зусилля;

M_o — пружний згинальний момент, що відповідає досягненню умовної границі текучості f_o ;

$M_{o,Rd}$ — розрахунковий опір згинальному моменту у пружній стадії роботи;

M_{Rd} — розрахунковий опір згинальному моменту навколо однієї головної осі поперечного перерізу;

M_{Rk} — характеристичний момент опору критичного поперечного перерізу;

$M_{u,Rd}$ — розрахунковий опір згинального моменту поперечного перерізу нетто за наявності отворів;

$M_{V,Rd}$ — приведений розрахунковий опір згину з урахуванням наявності зсувного зусилля;

$M_{y,Ed}$ — розрахункове значення згинального моменту, вісь y-y;

$M_{y,Rd}$ — розрахунковий опір згинальному моменту навколо осі y-y;

$M_{z,Ed}$ — розрахункове значення згинального моменту, вісь z-z;

$M_{z,Rd}$ — розрахунковий опір згинальному моменту навколо осі z-z;

$N_{u,Rd}$ — розрахунковий опір рівномірному стиску в перерізах з поперечним зварним швом;

$N_{b,Rd}$ — розрахунковий опір втраті стійкості стиснутого елемента або

пояса;

$N_{c,Rd}$ — розрахунковий опір рівномірному стиску поперечного перерізу;

$N_{ch,Ed}$ — розрахункове значення зусилля стиску у поясі на середині довжини складеного елемента;

N_{cr} — пружне критичне зусилля для відповідної форми втрати стійкості, що базується на показниках бруто поперечного перерізу;

$N_{cr,y}$, $N_{cr,z}$, $N_{cr,T}$ — пружне згинальне деформаційне навантаження (осі $y-y$ та $z-z$) та крутильне деформаційне навантаження;

N_{Ed} — розрахункове значення осьового зусилля;

$N_{net,Rd}$ — розрахунковий опір перерізу на рівні отворів для болтів;

$N_{o,Rd}$ — розрахунковий опір пластичній деформації розтягнутого елемента;

N_{Rd} — розрахунковий опір поздовжній силі;

N_{Rk} — характеристичний опір критичного поперечного перерізу поздовжній силі;

$N_{t,Rd}$ — розрахунковий опір розтягу;

$N_{u,Rd}$ — розрахунковий опір осьовому зусиллю перерізу нетто на рівні отворів для кріпильних елементів;

P_k — номінальне значення ефекту від попереднього натягу, що виникає під час монтажу;

Q — важільне відривне зусилля;

R_d — розрахункове значення опору;

$R_{e,Ed}$ — реакція на кінці балки під дією розрахункового навантаження;

R_{Ed} — розрахункове значення рівнодійної складових зусилля $F_{w,Ed}$, у поперечному перерізі зварного шва;

R_k — Характеристичне значення опору;

S — Розташування центра зсуву;

S_v — зсувна жорсткість решітки або з'єднувальних накладок

складених елементів;

T — найвища температура, за якої працює конструкція;

T_{Ed} — розрахункове значення крутильного моменту;

T_{Rd} — розрахунковий опір крутному моменту за Сен-Венаном;

$T_{t,Ed}$ — розрахункове значення внутрішнього крутного моменту за Сен-Венаном;

$T_{w,Ed}$ — розрахункове значення внутрішнього депланаційного крутного моменту;

T_1 — температура (металу шва) перед накладанням наступного;

U — ступінь використання;

$U(x_s)$ — ступінь використання на ділянці зрощення або з'єднання;

V_{Ed} — розрахункове значення зсувного зусилля;

$V_{eff,1,Rd}$ — розрахунковий опір блока вириванню у випадку центрального навантаження;

$V_{eff,2,Rd}$ — розрахунковий опір блока вириванню у випадку ексцентричного навантаження;

$V_{f,Rd}$ — внесок полиць у розрахунковий опір зсуву;

V_{Rd} — розрахунковий опір зсуву поперечного перерізу;

$V_{T,Rd}$ — приведений розрахунковий опір зсуву за наявності крутного моменту;

$V_{w,Rd}$ — внесок стінки у розрахунковий опір зсуву;

W_{Ed} — загальне розрахункове навантаження на сусідній проліт;

W_{eff} — ефективний пружний момент опору перерізу, отриманий з використанням приведеної товщини t_{eff} для частин 4 класу;

$W_{eff,haz}$ — ефективний пружний момент опору, отриманий з використанням приведеної товщини, $\rho_c t$, для частин перерізів 4-го класу або приведеної товщини $\rho_{o,haz} t$, для матеріалу зони термічного впливу залежно від того, яка величина менша;

W_{el} — пружний момент поперечного перерізу бруто (див. 8.2.5.2);

$W_{el,haz}$ — ефективний пружний момент опору поперечного перерізу брутто, обчислений з урахуванням приведеної товщини $\rho_{o,haz}t$, для матеріалу зони термічного впливу;

W_{net} — пружний момент опору перерізу нетто з урахуванням поправок на отвори і знеміцнення матеріалу у пришовній зоні у випадку зварювання;

W_{pl} — пластичний момент опору поперечного перерізу брутто;

$W_{pl,haz}$ — ефективний пластичний момент опору перерізу брутто, отриманий з використанням приведеної товщини $\rho_{o,haz}t$ матеріалу зони термічного впливу;

$W_{T,pl}$ — пластичний момент опору крученню;

$W_{u,eff}$ — момент опору перерізу з урахуванням місцевої втрати стійкості та приведеної товщини $\rho_{u,haz}t$, і у знеміцненій зоні термічного впливу поперечних зварних швів;

X, Y коефіцієнти для розрахунку відносної гнучкості для втрати стійкості за поперечно-крутильною формою;

X_k — характеристичне значення міцнісної властивості матеріалу;

X_{kT} — характеристичне значення для тієї ж міцнісної властивості матеріалу за температури T в діапазоні від 80 °C до 100 °C;

X_n — номінальне значення властивостей матеріалу.

Рядкові латинські літери

a — ефективна товщина зварного шва;

a_c — довжина півхвилі для пружної втрати стійкості елемента жорсткості;

a_d — розрахункові значення геометричних характеристик;

a_{pen} — проплавлення зварного шва;

a_{pin}, b_{pin} — товщина листа в штифтових з'єднаннях;

a_{st}, b_{st}, c_{st} — коефіцієнти у формулах для η_{st} ;

$a_{st,1}$ — відносна площа елементів жорсткості, площа елементів

жорсткості, поділена на відстань між центрами елементів жорсткості;

$a_0, a_1, a_2, a_3, a_{\max}$ — ширина гофрів;

b — ширина ділянки поперечного перерізу;

b_{eff} — ефективна ширина для запізнення зсуву;

b_f, b_1, b_2 — ширини полиць балок;

b_{haz} — Розміри зони термічного впливу;

b_{sh} — ширина плоскої частини поперечного перерізу;

b_w — відстань між кромками зварних швів на полицях;

b_0 — ширина консольної частини або половина ширини внутрішньої частини поперечного перерізу;

b_1 — товщина завантаженої допоміжної панелі, прийнята як габаритна відстань між навантаженою полицею балки та елементом жорсткості;

c — висота ребра або відгину;

c_e — пружна опора від пластини;

c_f — коефіцієнт у формулі для $V_{f,Rd}$;

d — діаметр кріпильного елемента;

d_b — номінальний діаметр приварної шпильки;

d_{ch} — відстань вздовж поясу складеного елемента між двома послідовними решітками або накладками;

d_m — середнє значення діаметрів головки болта або гайки між вершинами та гранями або, у випадку використання шайб, — зовнішній діаметр шайби (залежно від того, який розмір є меншим);

d_{sl} — внутрішній діаметр паза;

d_0 — діаметр отвору;

e — відстань між центрами елементів жорсткості;

e_e — ефективна відстань від краю елемента;

$e_{\min}$ — мінімальна відстань від краю елемента;

e_w — інтервал у переривчастих зварних швах;

e_0 — максимальна амплітуда початкової дугової недосконалості;

$e_{0,d}$ розрахункове значення максимальної амплітуди початкової дугової недосконалості;

e_1, e_4 — відстані між краями;

f_o — характеристичне значення умовної границі текучості;

$f_{o,haz}$ — характеристичне значення умовної границі текучості у зоні термічного впливу;

$f_{o,V}$ приведена розрахункова міцність за наявності зсувного зусилля;

f_{oc} — характеристичне значення умовної границі текучості ливарних сплавів;

f_{of} — характеристичне значення умовної границі текучості матеріалу полиці;

f_{ow} — характеристичне значення умовної границі текучості матеріалу стінки;

f_u — характеристичне значення граничної міцності на розтяг;

$f_{u,haz}$ — характеристичне значення граничної міцності на розтяг у зоні термічного впливу;

f_{ub} — характеристичне значення граничної міцності матеріалу болта чи матеріалу приварної шпильки;

$f_{ub,haz}$ — характеристичне значення граничної міцності на розтяг у зоні термічного впливу приварної шпильки;

f_{uc} — характеристичне значення граничної міцності на розтяг ливарних сплавів;

f_{ur} — характеристична гранична міцність матеріалу заклепки;

$f_{v,adh}$ — характеристичні значення міцності на зсув клеїв

f_{uw} — характеристична гранична міцність на зсув матеріалу стінки;

$f_{v,haz}$ — характеристична міцність на зсув у зоні термічного впливу;

f_w — характеристична міцність металу зварного шва;

$f_{wv,d}$ — розрахункова міцність на зсув зварного шва;

g — відстань від кромки шва до центра болта;

- g_c — ширина отвору пазу у пазових болтових вузлах;
- h — висота поверху, висота конструкції;
- h_f — відстань між центрами полиць;
- h_s — відстань між центром зсуву верхньої полиці балки і центром зсуву нижньої полиці балки;
- h_w — висота стінки балки, що дорівнює чистій відстані між полицями;
- h_0 — відстань між центрами ваги гілок складеної колони;
- i — радіус інерції відносно відповідної осі, визначений з урахуванням характеристик поперечного перерізу;
- $i_{\min}$ — мінімальний радіус інерції одного поясу або одного кутика;
- i_s — полярний радіус інерції;
- i_y, i_s, i_0 — радіус інерції (вісь $y-y$, вісь $z-z$ і вісь $0-0$);
- i_z — радіус інерції перерізу бруто відносно другої головної осі;
- k — коефіцієнт розрахункової довжини;
- k_F — коефіцієнт втрати стійкості для поперечної сили;
- k_g — коефіцієнт, що залежить від міцності на зсув різьби гвинтових пазових вузлів;
- k_s — понижувальний коефіцієнт для опору проковзуванню попередньо напружених болтів залежно від типу з'єднання;
- k_w — умови закріплення кінців елемента, що відповідають повороту навколо поздовжньої осі;
- k_y — умови закріплення кінців елемента, що відповідають обмеженням переміщень в площині навантаження;
- k_z — умови закріплення кінців елемента, що відповідають обмеженням бічних переміщень;
- k_τ — коефіцієнт втрати стійкості для зсувної втрати стійкості;
- $k_{\tau,st}$ — вплив поздовжніх елементів жорсткості на коефіцієнт втрати стійкості;
- $k_{\tau 1}$ — коефіцієнт втрати стійкості допоміжної панелі;

k_1 — коефіцієнт для з'єднувачів приварної шпильки;

k_{100} — коефіцієнт пониження міцнісних характеристик матеріалу за температури 80°C — 100 °C;

k_2 — коефіцієнт опору розтягуванню болта;

k_3 — коефіцієнт пазово-болтових вузлів;

l_e — параметри у формулі для ефективної навантаженої довжини;

l_{eff} — ефективна довжина;

l_s — довжина овального отвору;

l_w — довжина півхвилі у стані пружного згину;

m, k — числові параметри;

$m_{x,Rd}, m_{y,Rd}$ — розрахунковий опір згинальному моменту;

m_1, m_2 — параметри у формулі для ефективної навантаженої довжини;

n — кількість поверхонь тертя;

n_p — експонента у формулі Рамберга–Осгуда для пластичного розрахнку;

p_{th} — крайові ділянки з різьбою всередині отвору або пазу;

p, p_1, p_2 — проміжки між отворами для болтів;

$q_{0,d}$ — розрахункове значення еквівалентного зусилля на одиницю довжини;

r — радіус кривизни;

s — розташування у у шаховому порядку, відстань між центрами двох сусідніх отворів у ряді, виміряна паралельно осі елемента;

s_d — ширина розгортки елементів жорсткості та прилеглих листів;

s_e — навантажена довжина на ділянці між полицею та стінкою;

s_s — довжина жорсткого опирання під дією поперечних сил;

t — товщина поперечного перерізу;

t_e — глибина проплавлення зварного шва, тобто номінальна або ефективна товщина шва плюс глибина проникнення розплаву;

- t_f — товщина полиці
- t_p — товщина пластини під головкою болта або гайкою;
- t_{pl} — середнє значення товщини прилеглого матеріалу;
- t_{sup} — товщина верхніх полиць швелера в пазово - болтових вузлах;
- t_{sb} — мінімальна товщина бічної стінки швелера (t_{lat}) і товщина нижньої стінки швелера (t_{inf}) у пазово-болтових вузлах;
- t_{sl} — товщина стінки прорізу для гвинтових пазових вузлів, товщина пазу;
- t_w — товщина стінки;
- t_1, t_2 — товщина шарів або полиць;
- $u-u$ — основна вісь із максимальним моментом інерції (у разі незбігу з віссю $y-y$);
- v — узагальнена деформація;
- $v-v$ — головна вісь мінімального моменту інерції (у разі незбігу з віссю $z-z$);
- v_e — деформація, що відповідає пружному узагальненому зусиллю;
- v_u — деформація, що відповідає граничному узагальненому зусиллю;
- v_1 — понижувальний коефіцієнт для втрати стійкості під час зсуву;
- $x_{s,haz}$ — відстань від локалізованого зварного шва до опори або до точки перегину на кривій прогину під час втрати стійкості під дією лише осьової сили;
- x_s — відстань між зрощенням або кінцевим з'єднанням до найближчої точки перегину кривої деформації під час пружної втрати стійкості;
- $y-y$ — вісь поперечного перерізу;
- y_{st} — відстань від центра підкріпленої пластини до центра віддаленого елемента жорсткості;
- $z-z$ — вісь поперечного перерізу;
- z_a — координата точки прикладення навантаження відносно центру ваги;

z_g — координата точки прикладення навантаження відносно центру зсуву;

z_j — моносиметрична константа;

z_s — координати центру зсуву відносно центру ваги;

z_1 — відстань між нейтральною віссю та найбільш напруженим волокном (вздовж осі $z-z$);

z_2 — відстань між нейтральною віссю та волокном, що розглядають (вздовж осі $z-z$);

Грецькі літери

$\alpha, \alpha_y, \alpha_z$ — коефіцієнт, коефіцієнт форми;

α_b — коефіцієнти опору зминанню з'єднаних частин;

α_{cr} — коефіцієнт який треба прикласти до розрахункового навантаження для досягнення пружної форми втрати стійкості в загальних деформаціях;

α_h — понижувальний коефіцієнт для колон висотою h ;

α_i — коефіцієнт недосконалості;

α_{LT} — коефіцієнт недосконалості;

α_m — понижувальний коефіцієнт для кількості колон у ряду;

$\alpha_{M,j}$ — коригувальний коефіцієнт для граничного згинального моменту в залежності від різних класів роботи поперечних перерізів;

$\alpha_{M,red}$ — коригувальний коефіцієнт для поперечного перерізу зварного шва класу 1;

$\alpha_{N,j}$ — коригувальний коефіцієнт для граничного осьового навантаження, залежно від різних класів роботи поперечних перерізів;

α_T — коефіцієнт лінійного теплового розширення;

α_u — коефіцієнт збільшення навантаження (до граничного стану за несною здатністю);

α_v — коефіцієнт опору зсуву болта;

α_{yw}, α_{zw} — коефіцієнти у формулах розрахунку на втрату стійкості за крутильною та крутильно - згинальною формами;

α_{ξ} — коефіцієнт форми α_5 або α_{10} ;

α_0 — коефіцієнт геометричної форми;

α_2 — коефіцієнт для b_{haz} ;

$\alpha_{3,u}$ — коефіцієнт форми для класу 3 поперечного перерізу без зварних швів;

$\alpha_{3,w}$ — коефіцієнт форми для класу 3 поперечного перерізу зі зварними швами;

α_5, α_{10} — узагальнені коефіцієнти форми, що відповідають величинам граничної кривизни $\chi_u = 5\chi_{el}$ та $\chi_u = 10\chi_{el}$

β — коефіцієнт гнучкості;

β_{Lf} — понижувальний коефіцієнт для протяжного вузла;

β_p — понижувальний коефіцієнт для кріпильних деталей, що проходять через пакет деталей;

β_s — коефіцієнт розрахункової ширини для запізнення зсуву;

$\beta_1, \beta_2, \beta_3$ — границі коефіцієнта гнучкості;

γ_M — частковий коефіцієнт властивостей матеріалу, що враховує невизначеності через γ_m та γ_{Rd} (див. визначення у EN 1990);

γ_{M1} — частковий коефіцієнт опору втраті стійкості поперечних перерізів та елементів (в границях f_o);

γ_{M2} — частковий коефіцієнт опору поперечних перерізів руйнуванню та опір вузлів;

γ_{Ma} — частковий коефіцієнт опору клейового з'єднання;

γ_{Mf} — частковий коефіцієнт втоми;

$\gamma_{Mp,ser}$ — частковий коефіцієнт опору штифтового з'єднання для граничного стану експлуатаційної придатності;

γ_{Mp} — частковий коефіцієнт опору штифтового з'єднання для граничного стану за несною здатністю;

$\gamma_{Ms,ser}$ — частковий коефіцієнт опору проковзуванню для граничного стану експлуатаційної придатності;

γ_{Ms} — частковий коефіцієнт опору проковзуванню для граничного стану за несною здатністю;

γ_{Mw} — частковий коефіцієнт для зварних вузлів;

$\delta_{H,Ed}$ — горизонтальне переміщення верхньої частини поверху відносно нижньої;

δ_q — прогин у площині системи в'язей;

$\varepsilon = \sqrt{250/f_o}$, f_o у Н/мм², коефіцієнт;

ε_{true} — фактична деформація;

ε_u — характеристичне значення видовження під час розриву;

ζ_g — відносна координата точки прикладення навантаження;

ζ_j — відносний параметр моносиметрії поперечного перерізу

η — коефіцієнт для врахування градієнта напружень або підсилення частини поперечного перерізу;

η_{ep} — коригувальний коефіцієнт, залежний від коефіцієнту геометричної форми та умовної доступної пластичності матеріалу;

η_h — коефіцієнт;

η_{sb} — коригувальний коефіцієнт опору зсувній втраті стійкості у зоні пластичних деформацій;

η_v — коригувальний коефіцієнт ефективності площі на зсув;

$\eta = V_{Ed} / V_{Rd}$

$\eta_{y0}, \eta_{z0}, \beta_{z0}, \psi$ — показники в рівняннях взаємодії для згину та стиску;

$\eta_y, \eta_z, \beta_z, \psi_c$ — показники у рівняннях взаємодії для втрати стійкості під дією згину та стиску;

η_{cr} — форма пружної критичної форми втрати стійкості;

θ — кут між осями поясу та решіток;

$\theta_p, \theta_{el}, \theta_u$ — пластичний поворот, пружний поворот та максимальний пластичний поворот, що відповідає граничній кривизні χ_u ;

κ — умовне співвідношення ширини до довжини для полиці балки;

κ_{wt} — відносний параметр кручення;

$\bar{\lambda}$ — відносна гнучкість;

$\bar{\lambda}_{c,1}$ — відносна гнучкість для місцевої втрати стійкості;

$\bar{\lambda}_{c,g}$ — відносна гнучкість у разі загальної втрати стійкості;

$\bar{\lambda}_F$ — відносна гнучкість для місцевої втрати стійкості під дією поперечної сили;

$\bar{\lambda}_{haz}$, $\bar{\lambda}_{haz,LT}$ — відносна гнучкість для перерізу з локалізованими швами;

$\bar{\lambda}_{LT}$ — відносна гнучкість для втрати стійкості за поперечно-крутильною формою;

λ_t — коефіцієнти у формулі для обчислення відносної гнучкості $\bar{\lambda}_T$;

$\bar{\lambda}_T$ — відносна гнучкість у разі втрати стійкості за крутильною або згинально-крутильною формою

$\bar{\lambda}_w$ — відносна гнучкість у разі втрати стійкості під час зсуву;

λ_0 — коефіцієнти для обчислення λ_t ;

$\bar{\lambda}_0$ — довжина горизонтальної ділянки кривої деформування;

$\bar{\lambda}_{0,LT}$ — довжина горизонтальної ділянки кривих для втрати стійкості за поперечно-крутильною формою

μ — коефіцієнт проковзування, коефіцієнт ефективності;

μ_{cr} — відносний критичний момент;

ν — Коефіцієнт Пуассона в пружному діапазоні;

ξ — коефіцієнт пластичності;

ρ — густина (маса на одиницю об'єму)

$\rho_{c,1}$ — понижувальний коефіцієнт для місцевої втрати стійкості;

$\rho_{c,g}$ — понижувальний коефіцієнт для загальної втрати стійкості;

ρ_c — понижувальний коефіцієнт для місцевої втрати стійкості;

$\rho_{0,haz} = f_{0,haz}/f_0$ відношення між 0,2 % умовної границі текучості у зоні термічного впливу та в основному матеріалі;

$\rho_{u,haz} = f_{u,haz}/f_u$ відношення між граничною міцністю на розтяг у зоні термічного впливу та в основному матеріалі;

ρ_v — коефіцієнт запасу опору зсувній втраті стійкості;

σ_{cr} — критичне пружне напруження для підкріпленої ділянки поперечного перерізу;

σ_{cr0} — критичне пружне напруження для непідкріпленої ділянки поперечного перерізу;

$\sigma_{eq,Ed}$ — еквівалентне розрахункове напруження для виливків

$\sigma_{haz,Ed}$ — розрахункове значення нормального напруження у зоні термічного впливу перпендикулярно до осі зварного шва;

σ_{Rd} — розрахункове напруження опору для виливків;

σ_{true} — фактичне напруження;

$\sigma_{w,Ed}$ — розрахункове значення нормальних напружень під дією бімоменту B_{Ed} ;

$\sigma_{x,Ed}$ — розрахункове значення місцевого поздовжнього нормального напруження у заданій точці;

$\sigma_{y,Ed}$ — розрахункове значення місцевого поперечного нормального напруження у заданій точці;

$\sigma_{\perp}$ — нормальне напруження перпендикулярне осі зварного шва;

$\sigma_{\parallel}$ — нормальне напруження, паралельне осі зварного шва;

τ — середнє зсувне напруження в клейовому шарі;

$\tau_{\parallel}$ — зсувне напруження, паралельне осі зварного шва;

$\tau_{cr,1}$ — критичне зсувне напруження для місцевої втрати стійкості;

$\tau_{cr,g}$ — критичне зсувне напруження;

τ_{Ed} — розрахункове значення місцевого зсувного зусилля;

$\tau_{haz,Ed}$ — розрахункове значення зсувного зусилля у зоні термічного впливу;

$\tau_{t,Ed}$ — розрахункове значення зсувного напруження, обумовлене

крученням за Сен-Венаном;

$\tau_{w,Ed}$ — розрахункове значення зсувного напруження, обумовлене депланаційним крученням;

$\tau_{xy,Ed}$ — розрахункове значення зсувного зусилля для виливків;

$\tau_{\perp}$ — зсувне напруження перпендикулярне осі зварного шва;

φ — загальна початкова недосконалість перекосу;

φ_0 — основне значення для загальної початкової недосконалості перекосу;

φ — коефіцієнт;

φ_{LT} — значення для визначення понижувального коефіцієнта χ_{LT} ;

χ — понижувальний коефіцієнт для відповідної форми втрати стійкості;

χ_{el} — кривизна пружного згину (дорівнює $\chi_{0,2}$);

χ_F — понижувальний коефіцієнт для місцевої втрати стійкості під дією поперечної сили;

$\chi_{LT,haz}$ — понижувальний коефіцієнт для поперечно-крутильної втрати стійкості балки у перерізі із зоною термічного впливу.

χ_{LT} — понижувальний коефіцієнт для втрати стійкості за поперечно-крутильною формою балки;

χ_u — гранична кривизна вигину;

ψ — коефіцієнт напруження;

ψ_f — коефіцієнт моносиметрії;

$\omega_{x,haz}$, $\omega_{x,LT,haz}$ — коефіцієнти для ділянки з локалізованим поперечним зварним швом;

ω_x , $\omega_{x,LT}$ — коефіцієнти для згинальних моментів другого порядку.

Примітка 1. Позначення моделей залежності напруження — деформація наведено у додатку F.

Примітка 2. Позначення констант поперечного перерізу наведено в додатку G, G.4, G.5 та G.6.

3.3 Умовні позначки для осей елемента

(1) У загальному випадку, умовні позначки для осей елемента мають такий вигляд:

$x-x$ — вісь, направлена вздовж елемента;

$y-y$ — вісь поперечного перерізу елемента;

$z-z$ — вісь поперечного перерізу елемента.

(2) Для алюмінієвих елементів умовні позначки, використані для осей поперечного перерізу, мають наступний вигляд:

— загальні:

$y-y$ — вісь поперечного перерізу, паралельна до полиць балки;

$z-z$ — вісь поперечного перерізу, перпендикулярна до полиць балки.

— для кутових профілів:

$y-y$ — вісь, паралельна коротшій полиці;

$z-z$ — вісь, перпендикулярна коротшій полиці.

За необхідності:

$u-u$ — головна вісь максимального моменту інерції (у разі незбігу з віссю $y-y$);

$v-v$ — головна вісь мінімального моменту інерції (у разі незбігу з віссю $z-z$).

(3) Позначки для осей алюмінієвих профілів наведено на рисунку 3.1.

(4) Умовні позначки, використані для підрядкових знаків, що позначають осі для моментів, мають такий зміст: «застосовуйте вісь, навколо якої діє момент».

Примітка. Всі правила, що містяться у цьому Єврокодi, стосуються властивостей головних осей, зазвичай заданих осями $y-y$ та $z-z$ для симетричних перерізів, або осями $u-u$ та $v-v$ для несиметричних перерізів, таких як кутики.

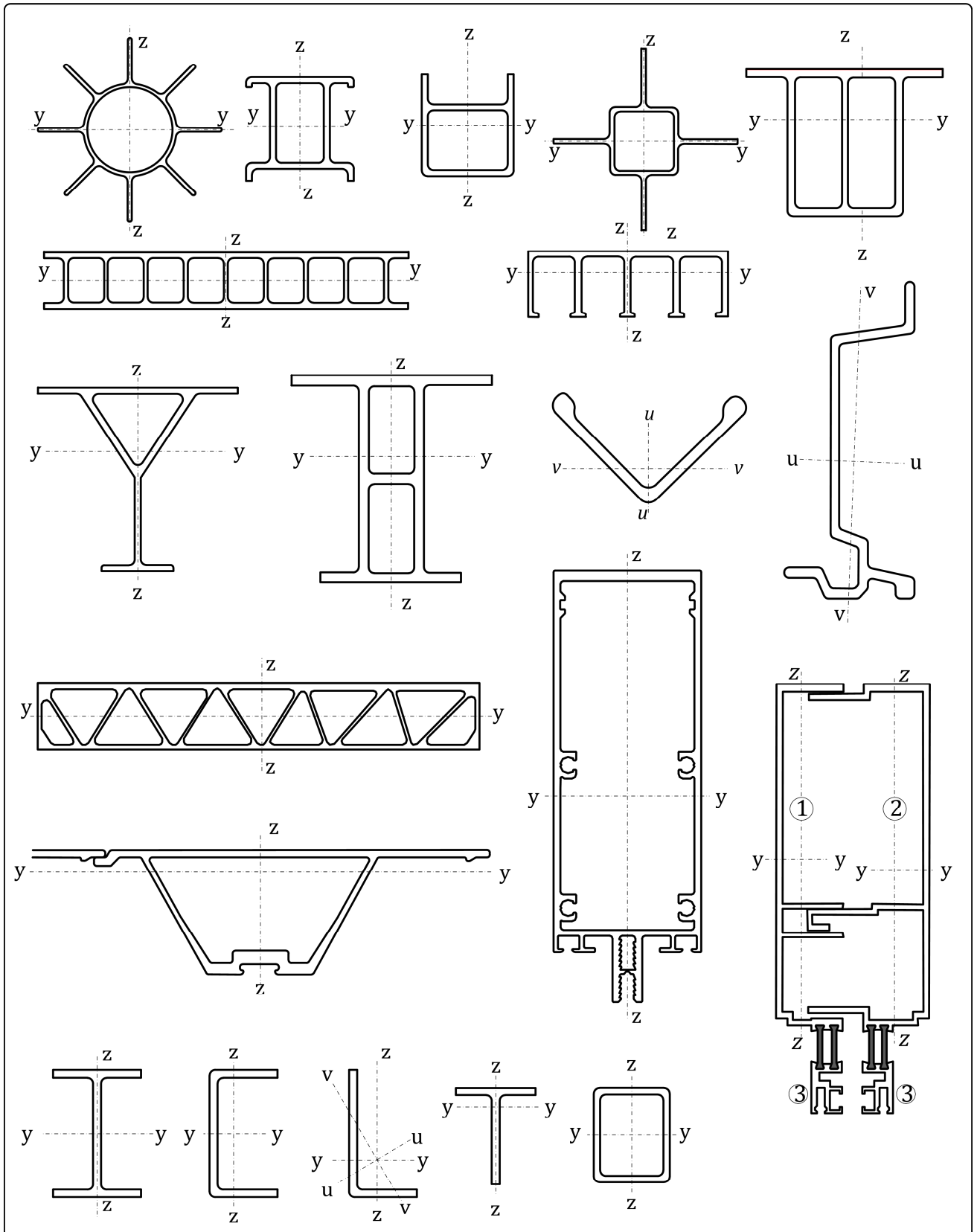


Рисунок 3.1 — Визначення осей для різних перерізів

4 ОСНОВИ ПРОЄКТУВАННЯ

4.1 Загальні положення

4.1.1 Основні вимоги

(1) Проектування алюмінієвих конструкцій потрібно здійснювати відповідно до загальних правил наведених у EN 1990 та додаткових положень щодо алюмінієвих конструкцій, наведених у цьому стандарті (EN 1999-1-1).

(2) За потреби проектування алюмінієвих конструкцій потрібно здійснювати згідно з EN 1999-1-2, EN 1999-1-3, EN 1999-1-4 та EN 1999-1-5.

(3) Алюмінієві конструкції, запроектовані за EN 1999 (всі частини), потрібно виконувати згідно з EN 1090-3 та / або EN 1090-5.

(4) Під час проектування конструкцій мостів, крім вимог, наведених в основній частині цього стандарту, потрібно застосовувати додаткові вимоги, наведені в додатку S.

4.1.2 Надійність конструкцій

(1) У разі застосування різних рівнів надійності, ці рівні рекомендовано забезпечувати через вибір відповідних заходів з управління якістю під час проектування та виконання за EN 1990, EN 1090-3, EN 1090-5 та додатком A.

(2) Класи виконання алюмінієвих конструкцій та їх складових частин рекомендовано призначати відповідно до додатку A.

(3) Процес виконання робіт рекомендовано здійснювати згідно з EN 1090-1 та prEN 1EN 1090-3. У специфікацію на виконання робіт рекомендовано включати інформацію, передбачену вимогами EN 1090-3 та EN 1090-5.

Примітка. Варіанти, що не суперечать EN 1090-3 та EN 1090-5, може бути наведено у національному додатку відповідно до необхідних рівнів надійності.

4.1.3 Проектний строк експлуатації, довговічність та живучість

(1) Залежно від типу дій, що впливають на довговічність, та

проектного строку експлуатації (див. EN 1990), алюмінієві конструкції мають бути:

- розраховані на корозію (див. розділ 6);
- розраховані на втомну довговічність (див. EN 1999-1-3);
- розраховані на спрацювання;
- розраховані на аварійні дії (див. EN 1991-1-7);
- передбачені для огляду та технічного обслуговування.

Примітка 1. Рекомендації щодо врахування корозії наведено в додатках C і D.

Примітка 2. Вимоги щодо втоми наведено у EN 1999-3.

4.2 Принципи розрахунку за граничним станом

(1) Методи розрахунку на міцність, зазначені в цьому стандарті, рекомендовано застосовувати до граничних станів, встановлених в EN 1990, і засновувати на розрахункових моделях, підтверджених експериментальними даними.

(2) Вказані в цьому стандарті опори рекомендовано використовувати для матеріалів згідно умов, зазначених у розділі 5.

4.3 Основні змінні

4.3.1 Дії та впливи навколишнього середовища

(1) Дії для проектування алюмінієвих конструкцій мають відповідати EN 1991 (всі частини). Комбінації дій і їх часткових коефіцієнтів наведено у EN 1990.

(2) Дії, що виникають на стадії монтажу, рекомендовано обчислювати за EN 1991-1-6.

(3) За необхідності врахування впливу передбачених абсолютних і відносних осідань основи, рекомендовано використовувати найбільш достовірні оцінки цих вимушених деформацій.

(4) Наслідки нерівномірних осідань, деформацій чи інших видів

попереднього напруження, що виникають у процесі монтажу, рекомендовано враховувати за їх характеристичними значеннями та у поєднанні з іншими діями згідно з EN 1990.

(5) Втомлювальне навантаження, не встановлене в EN 1991, рекомендовано визначати згідно з EN 1999-1-3.

4.3.2 Властивості матеріалів та виробів

(1) Властивості матеріалів для алюмінієвих будівельних виробів мають відповідати розділу 5.

4.4 Перевірка методом часткових коефіцієнтів

4.4.1 Розрахункові значення властивостей матеріалів

(1) Для проєктування алюмінієвих конструкцій потрібно використовувати характеристичні X_k та номінальні X_n значення властивостей матеріалу, як наведено у цьому стандарті .

4.4.2 Розрахункові значення геометричних характеристик

(1) Номінальні значення геометричних параметрів для поперечних перерізів та систем дозволено приймати за стандартами на виріб або робочими кресленнями згідно з EN 1090-3 та EN 1090-5.

(2) Розрахункові значення еквівалентних геометричних недосконалостей, зазначені в цьому стандарті, охоплюють:

— впливи від геометричних недосконалостей елементів, обумовлених геометричними допусками у стандартах на виріб або стандартах на виготовлення;

— впливи від недосконалостей конструкцій, що виникли під час виготовлення та монтажу, від залишкового напруження, змін границь текучості і зон, що зазнали теплового впливу.

4.4.3 Розрахункові опори

(1) Для алюмінієвих конструкцій застосовна формула (4.1):

$$R_d = R_k / \gamma_M, \quad (4.1)$$

де

R_k — характеристичне значення опору поперечного перерізу або елемента, визначеного за допомогою характеристичних або номінальних значень властивостей матеріалу та розмірів поперечного перерізу;

γ_M — частковий коефіцієнт опору.

Примітка. Більш загальну формулу розрахункового опору наведено у стандарті EN 1990.

(2) До елементів та вузлів рекомендовано застосовувати часткові коефіцієнти γ_M .

Примітка 1. Значення γ_{Mi} наведено в таблиці 4.1 (NDP), якщо в національному додатку не вказано інші значення.

Таблиця 4.1 (NDP) — Часткові коефіцієнти опору для деформованих алюмінієвих сплавів

Тип конструкції та відмови	Частковий коефіцієнт	Рекомендоване значення
Опір втраті стійкості поперечних перерізів та елементів залежно від f_0 ;	γ_{M1}	1,1
Опір поперечних перерізів руйнуванню та стійкість вузлів під час розтягу, зсуву та зминання, залежно від f_u ;	γ_{M2}	1,25
Опір поперечних перерізів руйнуванню та стійкість вузлів під час розтягу, зсуву та зминання, залежно від f_w ;	γ_{Mw}	1,25
Опір штифтових з'єднань для граничного стану за несною здатністю:	γ_{Mp}	1,25
Опір штифтових з'єднань для граничного стану експлуатаційної придатності:	$\gamma_{Mp,ser}$	1,0
Опір з'єднань проковзуванню для граничного стану за несною здатністю:	γ_{Ms}	1,4
Опір з'єднань проковзуванню для граничного стану експлуатаційної придатності:	$\gamma_{Ms,ser}$	1,0
Опір клейових з'єднань	γ_{Ma}	$\geq 3,0$
Опір вогню та втомі	Див. EN 1999-1-2 та EN 1999-1-3	

Примітка 2. Значення γ_{M1} та γ_{M2} також застосовні для холодноформованих алюмінієвих конструкційних листів і оболонок, див. EN 1999-1-4 і EN 1999-1-5 відповідно.

4.5 Розрахунок на основі випробування

(1) Значення опорів R_k або R_d дозволено визначати розрахунком на основі випробування.

Примітка 1. Рекомендації з розрахунку на основі випробування наведено в додатку D EN 1990:2023.

Примітка 2. Правила для випробувань можуть бути наведені у національному додатку.

4.6 Вимоги до виконання

(1) Специфікація на виконання робіт має бути розроблена так, щоб у ній містилась вся технічна інформація, необхідна для виконання робіт. Ця інформація має містити клас(и) виконання незалежно від того, чи застосовні будь-які ненормативні відхилення, зазначені в EN 1090-3 та/або EN 1090-5, а також повну інформацію щодо геометричних характеристик та властивостей матеріалів, застосованих в елементах та вузлах, типів та розмірів кріпильних елементів, вимог щодо зварювання та виконання робіт.

Примітка. У EN 1090-3 наведено контрольний перелік даних, які потрібно надати.

5 МАТЕРІАЛИ

5.1 Загальні положення

(1) Для перевірки розрахунку властивості матеріалу, наведені в цьому розділі, потрібно приймати як характеристичні значення під час розрахунку проекту.

Примітка 1. Властивості матеріалу, зазначені в цьому розділі, базуються на номінальних значеннях, наведених у стандартах на вироби, зазначених у пунктах

5.2.2(1), 5.2.3 і 5.2.4. Номінальні значення приймають як мінімально гарантовані значення.

Примітка 2. Інші властивості матеріалів можуть бути отримані з ENs, наведених у бібліографії.

5.2 Конструкційний алюміній

5.2.1 Номенклатура матеріалів

(1) Цей стандарт охоплює проектування конструкцій та їх складових частин, виготовлених з алюмінієвих сплавів, зазначених у таблиці 5.1 для деформівних сплавів, що відповідають EN 573-3, зі станами обробки, наведеними у таблицях 5.3, 5.4 та 5.7, що відповідають EN 515, а також присадним металом, вказаним у таблиці 5.10, згідно з EN ISO 18273. Розрахунок конструкційних елементів з ливарних алюмінієвих сплавів наведено в 5.2.3.

Примітка 1. Додаткові алюмінієві сплави і стани обробки, відмінні від зазначених у таблицях 5.1, 5.2 і 5.5, може бути наведено у національному додатку, за умови докладної інформації щодо характеристичних значень і рекомендацій щодо їх використання.

Примітка 2. Рекомендації щодо вибору алюмінієвих сплавів наведено у додатку С.

Примітка 3. У додатку Е наведено додаткові положення щодо проектування конструкційних елементів з ливарних алюмінієвих сплавів.

Таблиця 5.1 — Деформівні алюмінієві конструкційні сплави

Познака сплаву		Форма виробу	Ступінь довговічності
Цифрова	Хімічний склад		
EN AW-3004	EN AW-AlMn1Mg1	SH, ST, PL	A
EN AW-3005	EN AW-AlMn1Mg0,5	SH, ST, PL	A
EN AW-3103	EN AW-Al Mn1	SH, (SHT), ST, PL, ET, EP, ER/B	A

Продовження таблиці 5.1

EN AW-5005 / 5005A	EN AW-AlMg1(B) / (C)	SH, ST, PL	A
EN AW-5049	EN AW-AlMg2Mn0,8	SH, ST, PL	A
EN AW-5052	EN AW-Al Mg2,5	SH, (SHT), ST, PL, ET ^a , EP ^a , ER/B, DT	A
EN AW-5083	EN AW-Al Mg4,5Mn0,7	SH, (SHT), ST, PL, ET ^a , EP ^a , ER/B, DT, FO	A
EN AW-5383	EN AW-AlMg4,5Mn0,9	SH, ST, PL	A
EN AW-5454	EN AW-Al Mg3Mn	SH, ST, PL, ET ^a , EP ^a , ER/B	A
EN AW-5754	EN AW-Al Mg3	SH, (SHT), ST, PL, ET ^a , EP ^a , ER/B, DT, FO	A
EN AW-6060	EN AW-Al MgSi	ET, EP, ER/B,DT	B
EN AW-6061	EN AW-Al Mg1SiCu	SH, (SHT), ST, PL, ET, EP, ER/B,DT	B
EN AW-6063	EN AW-Al Mg0,7Si	ET, EP, ER/B,DT	B
EN AW-6005A	EN AW-Al SiMg(A)	ET, EP, ER/B	B
EN AW-6082	EN AW-Al Si1MgMn	SH, (SHT), ST, PL, ET, EP, ER/B, DT, FO	B
EN AW-6106	EN AW-AlMgSiMn	EP	B
EN AW-7020	EN AW-Al Zn4,5Mg1	SH, (SHT), ST, PL, ET, EP, ER/B, DT	C
EN AW-8011A	EN AW-AlFeSi	SH, ST, PL	B

Умовні позначки:

SH (*Sheet; SH*) — лист згідно з EN 485 (всі частини);

ST (*Strip; ST*) — смуга згідно з EN 485 (всі частини);

PL (*Plate; PL*) — плита згідно з EN 485 (всі частини);

ET (*Extruded Tube; ET*) — пресована труба згідно з EN 755 (всі частини);

EP (*Extruded Profiles; EP*) — пресовані профілі згідно з EN 755 (всі частини);

ER/B (*Extruded Rod and Bar; ER/B*) — пресований стрижень та пруток згідно з EN 755 (всі частини);

DT (*Drawn Tube; DT*) — тягнута труба згідно з EN 754 (всі частини);

FO (*Forgings; FO*) — поковки згідно з EN 586 (всі частини);

(SHT) (*Tread plate; SHT*) — протекторна пластина згідно з EN 1386

Кінець Таблиці 5.1

Примітка 1. EN 12258 (алюміній – терміни та визначення) розрізняє лише два типи поперечних перерізів: порожнисті та суцільні. Термін «суцільний» має тут інше значення, ніж в термінології Єврокоду: це будь-який поперечний переріз без порожнин, див. таблицю 3.1. Примітка 2. Ступінь довговічності наведено у розділі 6 додатків C і D. Зокрема для EN AW-5083 і EN AW-5383, див. додаток C. 4.2.2(2).
^a Лише прості, цільні пресовані профілі або товстостінні труби на оправці (безшовні).

Таблиця 5.2 — Ливарні алюмінієві конструкційні сплави

Позначка сплаву		Ступінь довговічності ^a
Цифрова	Хімічний склад	
EN AC-42100	EN AC-Al Si7Mg0,3	B
EN AC-42200	EN AC-Al Si7Mg0,6	B
EN AC-43000	EN AC-Al Si10Mg(a)	B
EN AC-43300	EN AC-ALSi9Mg	B
EN AC-44200	EN AC-Al Si12(a)	B
EN AC-51300	EN AC-Al Mg5	A
^a Див. розділ 6, додатки C і D.		

5.2.2 Властивості матеріалів для деформівних та ливарних сплавів

(1) Властивості матеріалів мають відповідати властивостям, зазначеним в даному розділі, і наступним стандартам на вироби:

— для виробів з деформівного алюмінію: EN 15088, EN 754-1 і EN 754-2, EN 755-1 і EN 755-2, EN 1301, EN 28839, EN 586-1 і EN 586-2, EN 485-1 і EN 485-2, EN 508-1 і EN 508-2, EN 1386;

— для виробів з ливарного алюмінію: EN 1706, EN 1559-1 та EN 1559-4.

(2) У таблиці 5.3 наведено характеристичні значення 0,2 % умовної границі текучості f_0 та границі міцності на розтяг f_u для деформівних

алюмінієвих сплавів різних станів обробки та товщин, застосовних для листів, стрічок та пластин. Для пресованих прутів/стрижнів, пресованих труб і профілів, а також тягнутих труб — у таблиці 5.4, для кованих виробів — у таблиці 5.7.

(3) Значення, наведені в таблицях 5.3 — 5.7, а також у таблицях 5.8 та 5.9 (лише для кріпильних деталей алюмінію), застосовують для конструкцій з температурним режимом роботи до 80 °C.

Примітка 1. Для використання алюмінію за низьких температур обмежень (граничних температур) немає.

Примітка 2. Властивості матеріалів для електрозварних труб за EN 1592-1 — EN 1592-4 для застосування у галузі будівництва у цьому стандарті не надано.

(4) Для робочих температур у діапазоні від 80°C до 100°C рекомендовано враховувати явище зниження міцності.

Всі характерні значення опору алюмінію (f_o , f_u , $f_{o,haz}$ і $f_{u,haz}$) рекомендовано зменшити згідно з формулою (5.1):

$$X_{kT} = (1 - k_{100}(T - 80)/20) X_k, \quad (5.1)$$

де

X_k — характеристичне значення міцнісної властивості матеріалу;

X_{kT} — характеристичне значення для тієї ж міцнісної властивості матеріалу за температури T в діапазоні від 80 °C до 100 °C ;

T — найвища температура, за якої працює конструкція;

$k_{100} = 0,1$ — для сплавів із механічним зміцненням (3xxx-сплави, 5xxx-сплави та EN AW 8011A);

$k_{100} = 0,2$ — для матеріалів із дисперсійним зміцненням (6xxx-сплави та EN AW-7020).

За температури 100°C всі алюмінієві сплави, як правило, рекомендовано відносити до класу втрати стійкості C. Для температур у діапазоні від 80°C до 100°C рекомендовано виконати інтерполяцію між фактичним класом для температур нижче 80°C та класом C.

Екстраполяцію робити не можна.

Для елементів, на які діють температури вищі за 100°C, рекомендовано враховувати та перевіряти зниження міцності та модуля пружності.

Для елементів, що зазнали впливу температури понад 100°C, рекомендовано враховувати та перевіряти невідновлюване зниження міцності.

Примітка 1. Для елементів, що зазнали впливу температури у діапазоні від 80°C до 100°C зменшення значень міцності підлягає відновленню, тобто матеріал відновлює свою міцність, коли температура падає.

Примітка 2. Під дією підвищених температур деякі сплави є вразливими до міжкристалічної корозії та корозійного розтріскування (див. наприклад С.4.2.2 для EN AW-5083).

(5) Характеристичні значення для зони, що зазнає термічного впливу (0,2 % умовної границі текучості $f_{o,haz}$ та границі міцності на розтяг $f_{u,haz}$), понижувальні коефіцієнти (див. 8.1.6), клас втрати стійкості (8.1.4 і 8.3.1) та показник ступеня n_p у формулі Рамберга – Осгуда для опору пластичним деформаціям рекомендовано приймати за таблицями 5.3 та 5.7.

Таблиця 5.3 — характеристичні значення 0,2% умовної границі текучості f_o та границі міцності на розтяг f_u (без зварювання та у зоні термічного впливу), значення відносного подовження $A_{50}(A)$, понижувальні коефіцієнти $\rho_{o,haz}$ та $\rho_{u,haz}$ у зоні термічного впливу, клас втрати стійкості та показник ступеня n_p для деформівних алюмінієвих сплавів — листів, смуг та пластин

Сплав EN AW	Стан ^a	Товщин а, мм ^a	f_o^a	f_u	A_{50} (A) ^{a,c}	$f_{o,haz}^b$	$f_{u,haz}^b$	Коефіцієнт HAZ ^b		BC ^d	$n_p^{a,e}$
			Н/мм ²		%	Н/мм ²		$\rho_{o,haz}^a$	$\rho_{u,haz}$		
3004	H14 H24/H34	≤ 6 3	180 170	220	3 4	75	155	0,42 0,44	0,70	A B	23 18
	H16 H26/H36	≤ 4 3	200 190	240	2 3			0,38 0,39	0,65	A	25 20
3005	H14 H24	≤ 6 3	150 130	170	3 4	56	115	0,37 0,43	0,68	A B	37 18
	H16 H26	≤ 4 3	175 160	195	2 3			0,32 0,35	0,59	A	43 24

Продовження таблиці 5.3

3103	H14 H24	≤ 25 12,5	120 110	140	5 8	44	90	0,37 0,40	0,64	A	31 20
	H16 H26	≤ 8 4	145 135	160	2 3			0,30 0,33	0,56	A	48 28
5005/ 5005A	O/H111	≤ 50	35	100	24	35	100	1	1	C	5
	H12 H22/H32	≤ 12,5	95 80	125	7 10	44	100	0,46 0,55	0,80	B	18 11
	H14 H24/H34	≤ 12,5	120 110	145	5 8			0,37 0,40	0,69	A B	25 17
5052	H12 H22/H32	≤ 40	160 130	210	10 12	80	170	0,50 0,62	0,81	B	17 10
	H14 H24/H34	≤ 25	180 150	230	5 9			0,44 0,53	0,74	B	19 11
5049	O / H111	≤ 100	80	190	18	80	190	1	1	C	6
	H14 H24/H34	≤ 25	190 160	240	5 10	100	190	0,53 0,63	0,79	A B	20 12
5383	O/H111	≤ 50	145	290	16	145	290	1	1	C	7
		50 < t ≤ 80	135	285	(14)	135	285	1	1	C	6
		80 < t ≤ 120	130	275	(12)	130	275	1	1	C	6
	H116/H321	≤ 40	230	330	10	180	290	0,78	0,88	B	12
		40 < t ≤ 80	230	330	(10)	165	285	0,72	0,86	B	12
5454	O/H111	≤ 80	85	215	18	85	215	1	1	C	5
	H14 H24/H34	≤ 25	220 200	270	5 8	105	215	0,48 0,53	0,80	A B	22 15
5754	O/H111	≤ 100	80	190	18	80	190	1	1	C	6
	H12 H22/H32	≤ 40	170 130	220	9 10	100	190	0,59 0,77	0,86	B C	18 9
	H14 H24/H34	≤ 25	190 160	240	5 10	100	190	0,53 0,63	0,79	A B	20 12
5083	O/H111	≤ 6,3	125	275	15	125	275	1	1	C	6
		6,3 < t ≤ 80	115	270	14	115	270			C	
		80 < t ≤ 120	110	260	(12)	110	260			C	
	H12 H22/H32	≤ 40	250 215	305 ^f	7 10	155	275	0,62 0,72	0,90	A B	22 13
	H14 H24/H34	≤ 25	280 250	340	4 8			0,55 0,62	0,81	A B	22 14
6061	T4 / T451	≤ 80	110	205	18	95	150	0,86	0,73	C	8
	T6 / T651	≤ 12,5	240	290	9	115	175	0,48	0,60	A	23
		12,5 < t ≤ 80	240	290	(6)						
6082	T4 / T451	≤ 80	110	205	14	100	160	0,91	0,78	C	8
	T61/T6151	≤ 12,5	205	280	12	125	185	0,61	0,66	B	15
		12,5 < t ≤ 100	200	275	(10)			0,63	0,67	B	14
	T6/T651	≤ 6	260	310	9			0,48	0,60	A	25
		6 < t ≤ 12,5	255	300				0,49	0,62	A	27
		12,5 < t ≤ 100	240	295	(7)			0,52	0,63	A	21
7020	T6/T651	≤ 12,5	280	350	10	205	280	0,73	0,80	B	19
		12,5 < t ≤ 100			(8)						
8011A	H14 H24	≤ 12,5	110 100	125	5 7	37	85	0,34 0,37	0,68	A	37 22
	H16 H26	≤ 4	130 120	145	3 4			0,28 0,31	0,59		43 25

Кінець таблиці 5.3

Примітка. Наступні сплави/стани обробки доступні/стандартизовані у вигляді листа з прокатаним малюнком (рифлений лист згідно з EN 1386) для товщин до 20 мм, із значеннями f_0 та f_u , як вказано вище, але з приведеними значеннями відносного подовження(див. EN 1386):

EN AW-3103 H24 (= H244 згідно з EN 1386)

EN AW-5052 H22, H24 (= H224, H244 згідно з EN 1386)

EN AW-5754 H22, H24 (= H224, H244 згідно з EN 1386)

EN AW-5083 O/H111 (=H114 згідно з EN 1386)

EN AW-6061 T4, T6 (=T4, T6 згідно з EN 1386)

EN AW-6082 T6, T61 (=T6, T61 згідно з EN 1386)

EN AW-7020 T6 (=T6 згідно з EN 1386)

^a Якщо в одному рядку наведено два (три) стани обробки за методом зміцнення, то стани обробки, розділені «|», мають різні значення технічних характеристик, а стани, розділені «/», мають однакові значення. (Стани обробки відрізняються значеннями f_0 , A та n_p).

^b Залежно від товщини матеріалу, присадного металу і процесу зварювання (під інертним газом плавким або неплавким електродом) табличні значення $\rho_{0,haz}$, $\rho_{u,haz}$ рекомендовано домножити на понижувальний коефіцієнт C_0 або C_u відповідно. Різні понижувальні коефіцієнти наведено у таблицях 5.5 та 5.6.

^c Значення A_{50} , наведені у цій колонці — це значення A_{50} для товщин в діапазоні від 6,0 мм до 12,5 мм і, отже, є практично еквівалентними значенням A у таблиці 5.4. Для товщин за межами цього діапазону діють інші конкретні значення A_{50} або A (див. EN 485-2). Значення A_{50} , виділені курсивом, є значеннями для матеріалу товщиною менше 6,0 мм. Значення в дужках є найменшими значеннями A для матеріалу, що підпадає під вказаний в третьому стовпці діапазон товщин.

^d BC (*Buckling Class*; BC) дорівнює класу втрати стійкості, див. 8.1.4.4, 8.1.5 та 8.3.1.

^e n — параметр у формулі Рамберга–Осгуда для пластичного розрахунку. Є застосовним виключно разом з наведеним значенням f_0 .

^f 315 для H12.

Таблиця 5.4 — Характеристичні значення 0,2% умовної границі текучості f_0 , та границі міцності на розтяг f_u (без зварювання та у зоні термічного впливу), значення мінімального подовження A , понижувальні коефіцієнти $\rho_{0,haz}$ та $\rho_{u,haz}$ у зоні термічного впливу, клас втрати стійкості та показник ступеня n_p для деформівних алюмінієвих сплавів — пресовані профілі, пресовані прутки/стрижні та тягнуті труби.

Сплав EN AW	Форма виробу	Стан	Товщина, <i>t</i> , мм ^{a, c}	<i>f</i> _o ^a	<i>f</i> _u ^a	<i>A</i> _{e, b}	<i>f</i> _{o, haz} ^d	<i>f</i> _{u, haz} ^d	Коефіцієнт HAZ ^d		BC ^f	<i>n</i> _p ^g
				H/мм ²	%	H/мм ²		<i>ρ</i> _{o, haz}	<i>ρ</i> _{u, haz}			
5083	EP, ET, ER/B	O/H111 F/H112	<i>t</i> ≤ 200	110	270	12	110	270	1	1	C	5
	DT	H12/22/32	<i>t</i> ≤ 10	200	280	6	135	270	0,68	0,96	B	14
		H14/24/34	<i>t</i> ≤ 5	235	300	4			0,57	0,90	B	18
5454	EP, ET, ER/B	O/H111 F/H112	<i>t</i> ≤ 25	85	200	16	85	200	1	1	C	6
5754	EP, ET, ER/B	O/H111 F/H112	<i>t</i> ≤ 25	80	180	14	80	180	1	1	C	6
	DT	H14/ H24/H34	<i>t</i> ≤ 10	180	240	4	100	180	0,56	0,75	B	16
6060	EP, ET, ER/B	T5	<i>t</i> ≤ 5	120	160	8	50	80	0,42	0,50	B	17
	EP		5 < <i>t</i> ≤ 25	100	140	8			0,50	0,57	B	14
	EP, ET, ER/B	T6	<i>t</i> ≤ 15	140	170	8	60	100	0,43	0,59	A	24
	DT		<i>t</i> ≤ 20	160	215	12			0,38	0,47	B	16
	EP, ET, ER/B	T64	<i>t</i> ≤ 15	120	180	12	60	100	0,50	0,56	B	12
	EP, ET, ER/B	T66	<i>t</i> ≤ 5	160	215	8	65	110	0,41	0,51	B	16
	EP		5 < <i>t</i> ≤ 25	150	195	8			0,43	0,56	B	18
6061	EP, ET, ER/B	T4	<i>t</i> ≤ 25	110	180	15	95	150	0,86	0,83	C	10
	DT		<i>t</i> ≤ 20	110	205	16				0,73	C	8
	EP, ET, ER/B	T6	<i>t</i> ≤ 25	240	260	8	115	175	0,48	0,67	A	55
	DT		<i>t</i> ≤ 20	240	290	10				0,60	A	23
6063	EP, ET, ER/B	T5	<i>t</i> ≤ 10	130	175	8	60	100	0,46	0,57	B	16
	EP		10 < <i>t</i> ≤ 25	110	160	7			0,55	0,63	B	13
	EP, ET, ER/B	T6	<i>t</i> ≤ 25	160	195	8	65	110	0,41	0,56	A	24
	DT		<i>t</i> ≤ 20	190	220	10			0,34	0,50	A	31
	EP, ET, ER/B	T66	<i>t</i> ≤ 10	200	245	8	75	130	0,38	0,53	A	22
	EP		10 < <i>t</i> ≤ 25	180	225	8			0,42	0,58	A	21
	DT		<i>t</i> ≤ 20	195	230	10			0,38	0,57	A	28
6005A	EP/O, ER/B	T6	<i>t</i> ≤ 5	225	270	8	115	165	0,51	0,61	A	25
	EP/O		5 < <i>t</i> ≤ 10	215	260	8			0,53	0,63	A	24
			10 < <i>t</i> ≤ 25	200	250	8			0,58	0,66	A	20
	EP/H, ET	T6	<i>t</i> ≤ 5	215	255	8			0,53	0,65	A	26
			5 < <i>t</i> ≤ 10	200	250	8			0,58	0,66	A	20
6106	EP	T6	<i>t</i> ≤ 10	200	250	8	95	160	0,48	0,64	A	20

Продовження таблиці 5.4

Сплав EN AW	Форма виробу	Стан	Товщина, t , мм ^{a, c}	f_o^a	f_u^a	$A^{e, b}$	$f_{o, haz}^d$	$f_{u, haz}^d$	Коефіцієнт HAZ ^d		BC ^f	n_p^g
				Н/мм ²		%	Н/мм ²		$\rho_{o, haz}$	$\rho_{u, haz}$		
6082	EP, ET, ER/B	T4	$t \leq 25$	110	205	14	100	160	0,91	0,78	C	8
	EP	T5	$t \leq 5$	230	270	8	125	185	0,54	0,69	A	28
	EP, ET	T6	$t \leq 5$	250	290	8	125	185	0,50	0,64	A	32
			$5 < t \leq 15$	260	310	10			0,48	0,60	A	25
	ER/B	T6	$t \leq 20$	250	295	8			0,50	0,63	A	27
			$20 < t \leq 150$	260	310	8			0,48	0,60	A	25
	DT	T6	$t \leq 5$	255	310	8			0,49	0,60	A	22
			$5 < t \leq 20$	240	310	10			0,52	0,60	B	17
7020	EP, ET, ER/B	T6	$t \leq 15$	290	350	10	205	280	0,71	0,80	A	23
	EP, ER/B		$15 < t \leq 40$	275	340	10			0,75	0,80	B	20
	DT		$t \leq 20$	280	350	10			0,73	0,80	B	19

Умовні позначки:

EP (*Extruded profiles*; EP) — пресовані профілі;

EP/H (*Extruded hollow profiles*; EP/H) — пресовані порожнисті профілі;

ER/B (*Extruded rod and bar*; ER/B) — пресовані стрижні та прутки;

EP/O (*Extruded open profiles*; EP/O) — пресовані відкриті профілі;

ET (*Extruded tube*; ET) — пресована труба;

DT (*Drawn tube*; DT) — тягнута труба.

^a Там, де значення виділене **жирним шрифтом**, для деяких видів профілів дозволено використовувати більші товщини і/або більші значення механічних властивостей, див. EN 754-2:2016 (для холоднотягнутих виробів), та EN 755-2:2016. У такому випадку значення $R_{p0,2}$ і R_m можуть бути прийняті як f_o та f_u . У випадку використання цих більш високих значень, відповідні коефіцієнти зони термічного впливу ρ потрібно визначати за формулами (8.15) і (8.16) з тими ж значеннями для $f_{o, haz}$ та $f_{u, haz}$.

^b Там, де мінімальні значення відносного подовження виділено **жирним шрифтом**, для деяких видів профілів або товщин дозволено приймати вищі мінімальні значення.

^c Згідно з EN 755-2:2016: «Якщо поперечний переріз профілю складений з частин різних товщин, що належать до декількох різних класів механічних властивостей, то для усього перерізу рекомендовано приймати найменше зі значень, наведених для цих частин». Винятки, у яких дозволено приймати найбільше з усіх наявних значень, дозволені за умови, що виробник може обґрунтувати його відповідним сертифікатом якості.

^d Залежно від товщини матеріалу, присадного металу і процесу зварювання (під

Кінець таблиці 5.4

інертним газом плавким або неплавким електродом), табличні значення $\rho_{o,haz}$, $\rho_{u,haz}$ рекомендовано коригувати понижувальним коефіцієнтом C_o or C_u відповідно. Там, де використовують більш високі значення механічних властивостей згідно з виноскою а, коефіцієнти зони термічного впливу ρ потрібно змінити.

$$^e A = A_{5,65\sqrt{A_0}}$$

^f BC (*Buckling Class; BC*) = клас втрати стійкості, див. 8.1.4.4, 8.1.5 та 8.3.1.

^g n — параметр у формулі Рамберга – Осгуда для пластичного розрахунку. Є застосовним виключно разом з наведеним значенням f_o (мінімальна стандартизована величина).

Таблиця 5.5 — Понижувальні коефіцієнти для зварювання під інертним газом плавким електродом

1	2	3	4	5	6	7	8	9
2			Товщина матеріалу $t \leq 15$		Товщина матеріалу $15 < t^b \leq 30$		Товщина матеріалу $t^b > 30$ (50)	
3	Сплав ^a EN AW	Метал шва (присадний метал) ^e	C_o	C_u	C_o	C_u	C_o	C_u
4	3004; 3005	4043A/5356/3103	1	1	---	---	---	---
5	3103	4043A/3103	1	1	0,9 ^d	1	---	---
6	5xxx за виключення м 5005, 5005A	5356	1	1	1	1	0,9 ^d	1
7		4043A	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
8	5005,5005A	5356/4043A	1	1	---	---	---	---
9	6xxx	5356	1	1	1	1	0,8	0,8
10		4043A	1	1	1/0,8 ^c	1	0,8	0,8
11	7020	5356/4043A	1	1	1/0,8 ^c	1	0,8	0,8
12	8011	5356/4043A	1	1	---	---	---	---

Умовні позначки:

n/a не є застосовним;

--- не суттєвий.

^a Під позначенням груп алюмінієвих сплавів 5xxx, 6xxx, у стовпці 2 наведено лише сплави і стани обробки, що розглянуті в цьому стандарті.

^b Для матеріалів товщиною від 15 мм до 30 мм або від 30 мм до 50 мм застосовувані

Кінець таблиці 5.5

понижувальні значення дозволено визначати через лінійну інтерполяцію між значеннями стовпців 4 та 6, або, відповідно, між значеннями стовпців 6 та 8 або 7 та 9.

^c Цей понижувальний коефіцієнт 0,8 рекомендовано застосовувати лише для стикових зварних з'єднань, якщо метал шва (присадний метал) є невід'ємною частиною A_{eff} .

^d Для станів обробки O та H111 понижувальні коефіцієнти не передбачені.

^e Для металу зварного шва 4047A застосовні значення для 4043A, для матеріалів металу зварного шва типу 5, вказаних у таблиці 5.10, застосовні значення для 5356.

Таблиця 5.6 — Понижувальні коефіцієнти для зварювання під інертним газом неплавким електродом^d

1	2	3	4	5	6	7
2			Товщина матеріалу $t \leq 6$		Товщина матеріалу $6 < t^b \leq 15$	
3	Сплав ^a EN AW-	Метал зварного шва (присадний метал)	C_o	C_u	C_o	C_u
4	3004; 3005	4043A/5356/3103	1	1	---	---
5	3103	4043A 3103	1	1	0,9 ^c	1
6	5xxx, за	5356	1	1	0,9 ^c	1
7	виключенням 5005, 5005A	4043A	н/з	н/з	н/з	н/з
8	5005:5005A	5356/4043A	1	1	0,9 ^c	1
9	6xxx	5356/4043A	0,8	0,8	0,8	0,8
10	7020	5356/4043A	0,8	0,8	0,8	0,8
11	8011	5356/4043A	1	1	---	---

Умовні позначки:

н/з не є застосовним

--- не суттєвий

^a Для груп алюмінієвих сплавів 5xxx, 6xxx, у стовпчику 2 наведено лише сплави і стани обробки, розглянуті в цьому стандарті.

^b Для матеріалів товщиною від 6 мм до 15 мм застосовувані понижувальні значення дозволено визначати через лінійну інтерполяцію між значеннями у стовпцях 4 і 6.

Кінець таблиці 5.6

^c Для механічно зміцнених сплавів станів обробки О та H111 понижувальні коефіцієнти не передбачені.

^d Для металу зварного шва 4047A застосовні значення для 4043A, для матеріалів металу зварного шва типу 5, вказаних у таблиці 5.10, застосовні значення для 5356.

Таблиця 5.7 — Характеристичні значення 0,2% умовної границі текучості f_o та границі міцності на розтяг f_u (без зварювання та у зоні термічного впливу), значення мінімального подовження A та клас втрати стійкості для деформівних алюмінієвих сплавів — ковані вироби.

Сплав EN AW	Стан	Товщи на до мм	Напрямок	f_o	f_u	$f_{o,haz}^a$	$f_{u,haz}^a$	AC %	Клас втрати стійкості
				Н/мм ²					
5754	H112	150	Поздовжній (L) (<i>Longitudinal; L</i>)	80	180	80	180	15	C
5083	H112	150	Поздовжній (L)	120	270	120	270	12	C
			Поперечний (T) (<i>Transverse; T</i>)	110	260	110	260	10	C
6082	T6	100	Поздовжній (L)	260	310	125 ^b	185 ^b	6	A
			Поперечний (T)	250	290			5	A

^a $\rho_{o,haz}$, $\rho_{u,haz}$ обчислюють за формулами (8.15) та (8.16).

^b Для товщин, що перевищують 15 мм (зварювання під інертним газом плавким електродом), або 6 мм (зварювання під інертним газом неплавким електродом) див. таблицю 5.4, зноску d.

^c $A = A_{5,65\sqrt{A_0}}$

5.2.3 Властивості матеріалів для ливарних алюмінієвих сплавів

5.2.3.1 Загальні положення

(1) Стандарт EN 1999-1-1, як правило, не стосується ливарних виробів.

(2) Правила проєктування в цьому стандарті застосовні для виробів,

виготовлених методом гравітаційного лиття згідно з таблицею 5.8, з дотриманням додаткових і спеціальних вимог, а також положень щодо якості згідно з додатком Е.

5.2.3.2 Характеристичні значення

(1) Характеристичні значення 0,2 % умовної границі текучості f_o та границі міцності на розтяг f_u для відливків з алюмінію, виготовлених методами лиття у піщані та постійні форми, яких має дотримуватися ливарник або ливарня для кожного литого виробу, наведено у таблиці 5.8.

Таблиця 5.8 — Характеристичні значення 0,2% умовної границі текучості f_o та границі міцності на розтяг f_u для ливарних алюмінієвих сплавів — гравітаційне лиття^с

Сплав	Процес лиття	Стан	$f_o (f_{oc})$ Н/мм ²	$f_u (f_{uc})$ Н/мм ²	A_{50} %a, b
EN AC-42100	Постійна ливарна форма	T6	147	203	2,0
	Постійна ливарна форма	T64	126	175	4
EN AC-42200	Постійна ливарна форма	T6	168	224	1,5
	Постійна ливарна форма	T64	147	203	3
EN AC-43000	Постійна ливарна форма	F	63	126	1,25
EN AC-43300	Постійна ливарна форма	T6	147	203	2,0
	Лиття у піщані форми	T6	133	161	1,0
	Постійна ливарна форма	T64	126	175	3
EN AC-44200	Постійна ливарна форма	F	56	119	3
	Лиття у піщані форми	F	49	105	2,5
EN AC-51300	Постійна ливарна форма	F	70	126	2,0
	Лиття у піщані форми	F	63	112	1,5

^a Вимоги до подовження, для проєктування литих елементів, наведено в Е.3.2(1).

^b Ці значення становлять 70% від значень стандарту EN 1706:2010, які рекомендовано застосовувати лише для окремо відлитих випробувальних зразків (див. 6.3.3.2 EN 1706:2010).

^c Значення A_{50} становлять 50% від значень відносного подовження з EN 1706:2010, що рекомендовано застосовувати виключно для окремо відлитих випробних зразків (див. 7.3.3.2 EN 1706:2010).

5.2.4 Розміри, маса та допуски

(1) Розміри та допуски конструкційних пресованих виробів, виробів з

прДСТУ EN 1999-1-1:202X

листів та пластин, тягнутих труб, дроту і поковок мають відповідати EN 485 (всі частини), EN 508-2, EN 586-3, EN 754 (всі частини), EN 755 (всі частини), EN 1301-3, EN 1386 та EN 12020-2.

(2) Розміри та допуски ливарних виробів для конструкцій мають відповідати EN ISO 8062-3.

5.2.5 Розрахункові значення констант матеріалів

(1) Константи матеріалу для розрахунку алюмінієвих сплавів, передбачених цим стандартом, рекомендовано приймати такими:

- модуль пружності; $E = 70\,000\text{ Н/мм}^2$;
- зсувний модуль пружності; $G = 27\,000\text{ Н/мм}^2$;
- коефіцієнт Пуассона $\nu = 0,3$;
- коефіцієнт лінійного теплового розширення; $\alpha = 23 \times 10^{-6}\text{ на }^\circ\text{C}$;
- густина (маса на одиницю об'єму) $\rho = 2700\text{ кг/м}^3$.

(2) Щодо властивостей матеріалу в конструкціях, що зазнають підвищених температур під час пожежі, рекомендовано застосовувати EN1999-1-2.

5.3 Кріпильні вироби

5.3.1 Загальні положення

(1) З'єднувальні пристрої мають відповідати їх конкретному призначенню.

(2) Відповідні кріпильні вироби можуть включати болти, кріпильні фіксуючі деталі, що працюють на основі тертя, суцільні заклепки, спеціальні фіксатори, зварювальні шви і клеї.

Примітка. Щодо клеїв див. додаток Р.

5.3.2 Болти, гайки, шайби та самонарізувальні та самосвердлувальні гвинти

5.3.2.1 Загальні положення

(1) Болти, гайки та шайби мають відповідати чинним стандартам EN та ISO. Для несних вузлів рекомендовано застосовувати болти згідно з таблицею 5.9.

(2) Мінімальні значення 0,2% умовної границі текучості f_o та границі міцності f_u , які наведено у таблиці 5.9 у розрахунках рекомендовано приймати як характеристичні значення.

(3) Алюмінієві болти і заклепки рекомендовано використовувати виключно для з'єднань категорії A та D (див. таблицю 10.2).

(4) Вузли на алюмінієвих болтах і гайках мають бути виконані згідно вимог EN 15048-1 і EN 15048-2 або відповідати специфікаціям на алюмінієві болти, гайки і шайби, які наведено в таблиці 6 EN 1090-3.

Примітка. Вказівки щодо використання алюмінієвих болтів наведено в пункті 10.5.13.1.

(5) Самонарізувальні та самосвердлувальні гвинти дозволено застосовувати для тонкостінних конструкцій. Правила застосування наведено в EN 1999-1-4.

Таблиця 5.9 — Мінімальні значення 0,2% умовної границі текучості f_o та границі міцності f_u для болтів та суцільних заклепок

Матеріал	Тип кріпильного елемента	Числова позначка сплаву: EN AW-	Хімічний склад сплаву: EN AW-	Стан, марка або клас властивостей	Діаметр, мм	f_o^f Н/мм ²	f_u^f Н/мм ²
Алюмінієвий сплав	Суцільні заклепки	50199	AlMg5	H111	≤ 20	110	250
				H14, H34	≤ 18	210	300
		5754	AlMg3	H111	≤ 20	80	180
				H14, H34	≤ 18	180	240
		6082	AlSi1MgMn	T4	≤ 20	110	205
				T6	≤ 20	240	300

Кінець таблиці 5.9

Алюмінієвий сплав	Болти ^a	5754	AlMg3	c	≤ 10	230	270
		(AL1) ^b			10 < d ≤ 20	180	250
		50199	AlMg5	c	≤ 14	205	310
		(AL2) ^b			14 < d ≤ 39	200	280
		6082	AlSi1MgMn	c	≤ 6	250	320
		(AL3) ^b			6 < d ≤ 39	260	310
Сталь	Болти ^d			4.6	≤ 39	240	400
				5.6	≤ 39	300	500
				8.8	≤ 39	640	800
				10.9	≤ 39	900	1000
Нержавка сталь	Болти ^e	A2, A4		50	≤ 39	210	500
		A2, A4		70	≤ 39	450	700
		A2, A4		80	≤ 39	600	800

^a Див. 5.3.2.1 (3).

^b Позначки матеріалів згідно з EN 28839.

^c EN 28839 не містить маркування.

^d Клас властивостей згідно з EN ISO 898-1.

^e Марка та клас властивостей згідно з EN ISO 3506-1.

^f Наведені значення для суцільних заклепок становлять менші значення від наведених у EN 754 для тягнутих стрижнів або в EN 1301 для тягнутого дроту, з яких холодним формуванням виготовляють суцільні заклепки. Для умовної границі текучості (за залишкової деформації 0,2%) у стандарті EN 1301 визначено лише типові значення, але всі вищенаведені значення можуть вважатися безпечними. Для розрахунку з'єднань категорії A (несний режим) значення граничної міцності служить основою для розрахунку опору зминанню болта або заклепки.

^g EN AW-5019 Ступінь довговічності A.

5.3.2.2 Попередньо напружені болти

(1) Болти класу 8.8 та 10.9 та болти з аустенітної нержавкої сталі класу міцності 80 дозволено використовувати як попередньо напружені болти з контрольованим натягом, за умови, що вони відповідають вимогам до болтів з попереднім навантаженням у чинних стандартах ENs, prENs та ISO.

5.3.3 Властивості матеріалів для ливарних алюмінієвих сплавів

(1) Властивості матеріалу, розміри і допуски для суцільних і

порожнистих заклепок з алюмінієвих сплавів мають відповідати стандартам ENs, prENs або ISO (за умови доступності). Для несних вузлів, рекомендовано використовувати заклепки згідно з таблицею 5.9.

(2) Мінімальні гарантовані значення 0,2% умовної границі текучості f_0 та границі міцності f_u , наведені у таблиці 5.9, у розрахунках рекомендовано приймати як характеристичні значення.

(3) Суцільні алюмінієві заклепки рекомендовано використовувати виключно для з'єднань категорії A (несний тип, див. таблицю 10.2).

Примітка. Зараз не існує EN стандартів, які б охоплювали всі вимоги до суцільних алюмінієвих заклепок. Рекомендації щодо застосування суцільних заклепок, перелічених у таблиці 5.9, наведено в 10.5.13.2.

(4) Для тонкостінних конструкцій дозволено застосовувати глухі заклепки. Правила застосування наведено в EN 1999-1-4.

5.3.4 Зварювальні витратні матеріали

(1) Всі зварювальні витратні матеріали мають відповідати EN ISO 18273.

(2) У таблиці 5.10 наведено можливі варіанти присадного металу зварного шва, які рекомендовано використовувати для діапазону основних металів, перелічених в таблицях 5.3, 5.4 і 5.7 цього стандарту.

(3) Вибір присадного металу зварного шва для різних сплавів та комбінацій з'єднаних сплавів, рекомендовано здійснювати з урахуванням значень міцності зварного шва за допомогою таблиці 10.6.

(4) Вибір присадного металу зварного шва рекомендовано виконувати спільно з фахівцем зі зварювання з урахуванням міцності металу шва, стійкості до корозії, запобігання утворенню тріщин в зварному шві n_f відповідності кольору. У EN 1011-4 наведено наступні рекомендації.

(5) Зварювання сплавів, що містять біля 2% або більше Mg, з присадним металом Al-Si, або навпаки (зварювання ливарних сплавів з

високим вмістом кремнію з присадним металом Al-Mg), до використання не рекомендовано через утворення осаду Mg_2Si під час зварювання країв у кількості, достатній для того, щоб зробити зварний шов крихким. Комбінації, що підпадають під дію цього правила, вказано в таблиці 10.6 з позначкою «не застосовується».

(6) Якщо конструкція зварного шва допускає використання присадного металу типу 4 або типу 5, рекомендовано проконсультуватися з фахівцями зі зварювання щодо використання найбільш відповідного за даних умов матеріалу.

Примітка. Зварні шви з дротом типу 4 мають кращі властивості проплавлення, тому багато зварювальників надають їм перевагу, особливо у випадку зварних з'єднань в складних для зварювання умовах. Присадний метал типу 5 зазвичай міцніший за метал типу 4, але більш схильний до утворення усадочних тріщин у випадку сильно обмежених вузлів.

(7) Для зварних з'єднань з присадним металом типу 4 рекомендовано також враховувати, що анодування надає зварному шву темно-сірого кольору.

(8) Рекомендовано враховувати, що за кімнатної температури (20°C) сплави 7xxx досягають повної міцності у зоні термічного впливу не раніше 30 днів після зварювання, а сплави 6xxx досягають повної міцності у зоні термічного впливу не раніше 5 днів після зварювання.

Таблиця 5.10 — Присадний метал для несних зварних вузлів

Класифікація присадного металу	Сплави	Сплави (хімічний склад)
Тип 3	S Al 3103	AlMn1
Тип 4	S Al 4043A, S Al 4047A ^a	AlSi5, AlSi12
Тип 5	S Al 5554, S Al 5754 ^b	AlMg3Mn, AlMg3
	S Al 5356, S Al 5556, S Al 5556A, S Al 5183, S Al 5087	AlMg5Cr, AlMg5Mn, AlMg5Mn1Ti(A), AlMg4,5Mn0,7, AlMg4,5MnZr

Кінець таблиці 5.10

^a S Al 4047A спеціально використовують для запобігання розтріскуванню металу зварного шва у вузлах. У більшості інших випадків потрібно надавати перевагу S Al 4043A.

^b Ці сплави спеціально призначені для зварювання за стандартами EN AW-5049, EN AW-5052, EN AW-5454 та EN AW-5754.

5.3.5 Клеї

(1) Клейові вузли, див. 10.12.

Примітка. Рекомендації щодо клейових вузлів наведено в додатку Р.

6 ДОВГОВІЧНІСТЬ

(1) Потрібно дотримуватися основних вимог щодо довговічності, наведених у EN 1990.

Примітка. Рекомендації щодо алюмінію, розташованого упритул до інших матеріалів, наведено в додатку D.

(2) За звичайних атмосферних умов алюмінієві конструкції, виготовлені зі сплавів, наведених у таблицях 5.1, 5.2, 5.9 та 5.10 дозволено використовувати без захисту поверхні, щоб уникнути втрати їх несної здатності.

Примітка. Додаток D містить дані щодо стійкості до корозії і рекомендації щодо захисту алюмінієвої поверхні, а також умови, за яких такий захист від корозії рекомендовано.

(3) Елементи, що схильні до корозії, а також є об'єктом агресивних впливів, механічного зносу або втомлювальних явищ, мають бути запроектовані з можливістю проведення огляду, обслуговування і ремонту протягом розрахункового строку експлуатації. Рекомендовано забезпечити доступ для проведення інспекції і технічного обслуговування.

(4) Потрібно дотримуватися наведених у EN 1090-3 вимог і засобів

для виконання захисних заходів, що проводяться поза майданчиком або безпосередньо на ньому.

(5) Обсяг, тип і процедура виконання обраних захисних заходів мають бути вказані у технічних умовах на виконання.

7 КОНСТРУКЦІЙНИЙ РОЗРАХУНОК

7.1 Конструкційне моделювання для розрахунку

7.1.1 Конструкційне моделювання та основні припущення

(1) Конструкційний розрахунок має базуватися на розрахункових моделях споруди, що відповідають розглядуваному граничному стану.

(2) Розрахункова модель і основні припущення для проведення розрахунку мають відображати роботу конструкції після досягнення відповідного граничного стану з достатнім ступенем точності, а також прогнозований тип роботи поперечних перерізів, елементів, вузлів і несних конструкцій.

7.1.2 Моделювання вузлів

(1) Впливом роботи вузлів на розподіл внутрішніх зусиль і моментів у границях споруди, а також загальними деформаціями споруди зазвичай дозволено нехтувати, проте коли такі впливи є значними (як у випадку напівжорсткого вузла), їх рекомендовано враховувати.

(2) Для визначення необхідності врахування впливу роботи вузла у розрахунках, дозволено розрізняти три типи вузлів:

- шарнірні вузли, для яких допустиме припущення, що вузол не передає згинальні моменти;-
- Напівжорсткі вузли, роботу яких у розрахунках рекомендовано враховувати;
- жорсткі вузли, для яких допустиме припущення, що робота вузла не впливає на результати розрахунку.

Примітка 1. Рекомендації щодо різних типів вузлів наведено у додатку М.

Примітка 2. Рекомендації щодо роботи вузлів у решітчастих просторових покрівельних конструкціях наведено в додатку Т.

7.1.3 Взаємодія між ґрунтом та конструкцією

(1) Якщо деформаційні характеристики опор є значними, їх рекомендовано враховувати.

Примітка. EN 1997 містить інструкцію для розрахунку взаємодії споруди з основою під дією несейсмічних впливів, а EN 1998-5 — під дією сейсмічних.

7.2 Загальний розрахунок

7.2.1 Впливи деформованої геометрії конструкції

(1) Внутрішні зусилля і моменти дозволено визначити шляхом:

- розрахунку першого порядку на основі початкової геометрії конструкції; або
- розрахунку другого порядку з урахуванням впливу деформацій конструкції.

(2) Вплив деформованої геометрії (ефекти другого порядку) необхідно враховувати, якщо він суттєво підвищує наслідки дій є значним або змінює роботу конструкції.

(3) Розрахунок першого порядку можна застосовувати для конструкцій, якщо припустимо знехтувати зростанням відповідних внутрішніх сил або моментів, чи будь-якою іншою зміною роботи конструкції, спричиненою її деформаціями. Цю умову можна вважати виконаною, якщо виконана формула (7.1):

$$\alpha_{cr} = F_{cr}/F_{Ed} \geq 10 \quad (7.1)$$

де

α_{cr} — коефіцієнт, який треба прикласти до розрахункового навантаження для досягнення пружної форми втрати стійкості в загальних

деформаціях;

F_{Ed} — розрахункове навантаження на споруду;

F_{cr} — критичне пружне навантаження під час втрати стійкості для загальної форми втрати стійкості, обчислене з урахуванням початкової жорсткості. Для методу пластичного шарніру після кожного формування пластичного шарніра F_{cr} рекомендовано визначати як критичне згинальне навантаження загальної системи з усіма уже сформованими шарнірами, і (7.1) рекомендовано застосовувати з цим значенням F_{cr} .

(4) Для каркаса із втратою стійкості елемента (без перекошення) F_{cr} — це мінімальне пружне критичне згинальне навантаження як для елемента в площині, так і для елемента поза площиною (без перекошення). Втратою стійкості за згинальною, крутильно-згинальною та поперечно-крутильною формою можна знехтувати.

(5) Для каркаса з глобальною втратою стійкості (перекошенням) F_{cr} — критичне пружне згинальне навантаження в площині прогину.

(6) Вплив запізнення зсуву та місцевої втрати стійкості на жорсткість рекомендовано враховувати, якщо вони значно впливають на загальний розрахунок.

Примітка. Рекомендації щодо врахування ефекту запізнення зсуву наведено у додатку J.

(7) Вплив проковзування в болтових отворах та аналогічні деформації кріпильних елементів, таких як шпильки та анкерні болти, на наслідки дій, потрібно враховувати у загальному розрахунку, якщо це проковзування можливе та якщо цей вплив значний.

7.2.2 Конструкційна стійкість каркасів

(1) Якщо згідно з 7.2.1 потрібно враховувати деформації конструкції, то для врахування цього впливу і перевірки стійкості конструкції рекомендовано скористатися вказівками (2) — (6).

(2) Перевірку стійкості каркасних конструкцій чи їх частин необхідно проводити з урахуванням недосконалостей і впливів другого порядку.

(3) Залежно від типу каркасної конструкції і загального розрахунку, впливи другого порядку і недосконалості можна враховувати одним із наведених способів:

а) разом — виконанням загального розрахунку;

б) частково — виконанням загального розрахунку і частково — перевіркою стійкості окремих елементів за 8.3;

с) для основних випадків — перевіркою стійкості окремих елементів за 8.3 із використанням розрахункових довжин відповідно до загальної форми втрати стійкості конструкції.

(4) Впливи другого порядку потрібно враховувати з використанням методів, прийнятних для розрахунку даної конструкції (включно з покроковими чи іншими ітераційними методами). Для рам, де перша форма втрати стійкості є основною, пружний розрахунок першого порядку необхідно виконувати з урахуванням зростання відповідних значень наслідків дій (наприклад, згинальних моментів) через застосування відповідних коефіцієнтів.

(5) Згідно з 7.2.2(3) б) та с) стійкість окремих елементів рекомендовано перевіряти так:

а) якщо у загальному розрахунку повністю враховано впливи другого порядку в окремих елементах та недосконалості відповідних елементів (див. 7.3.4), то проводити окрему перевірку на стійкість елементів за 8.3 немає необхідності;

б) якщо у загальному розрахунку не враховано такі види відмови, як втрата стійкості за згинальною та/або поперечно-крутильною формою стійкість окремих елементів рекомендовано перевіряти з використанням відповідних критеріїв 8.3 для наслідків, які не охоплено цим розрахунком. Така перевірка має враховувати кінцеві моменти і зусилля на основі загального розрахунку конструкцій за теорією другого порядку та граничні

умови згину і кручення для видів відмови, не включених до загального розрахунку за теорією другого порядку.

(6) Якщо стійкість рами оцінюють перевіркою з використанням методу еквівалентного стрижня за 8.3, значення розрахункових довжин мають ґрунтуватися на загальній формі втрати стійкості рами з урахуванням жорсткості елементів і вузлів, наявності пластичних шарнірів і розподілу стискальних зусиль під дією розрахункових навантажень. У такому випадку, за відсутності втрати стійкості за поперечною або поперечно-крутильною формою, внутрішні зусилля, необхідні для перевірки опору, визначають згідно з теорією першого порядку без урахування недосконалостей (див. рисунок 7.1 а, b та c). В іншому випадку рекомендовано застосовувати моменти з теорії другого порядку.

7.3 Недосконалості

7.3.1 Загальні положення

(1) Для компенсації впливу недосконалостей потрібно враховувати відповідні допуски, включаючи залишкові напруження і геометричні недосконалості, такі як невертикальність, непрямолінійність, відхилення від площини, недоліки підганяння та необумовлені ексцентриситети, що мають місце у вузлах ненавантаженої конструкції.

Примітка. Геометричні недосконалості, що відповідають основним геометричним допускам, наведеним у EN1090-3, враховано у формулах опору, кривих втрати стійкості та значеннях γ_M у EN 1999.

(2) Рекомендовано застосовувати еквівалентні геометричні недосконалості (див. 7.3.2 та 7.3.3) зі значеннями, що враховують можливі впливи від усіх видів недосконалостей. Згідно 7.3.4 у методі еквівалентного стрижня ці впливи враховані у формулах розрахунку елемента на стійкість.

(3) Рекомендовано розхглядати такі недосконалості:

а) загальні недосконалості для рам і в'язевих систем;

b) місцеві недосконалості для окремих елементів.

7.3.2 Недосконалості для загального розрахунку рам

(1) Форму загальної та локальної недосконалості можна прийняти на базі розгляду пружної форми втрати стійкості конструкції в розглянутій площині згину.

(2) Згин, як в площині рами так і з її площини, включно з втратою стійкості під час кручення з деформаціями симетричної та несиметричної форми, рекомендовано враховувати за найбільш несприятливими напрямком і формою.

(3) Під час розрахунку рам, що можуть втрачати стійкість у випадку перекосу, вплив недосконалостей рекомендовано враховувати за допомогою еквівалентної недосконалості у вигляді початкового перекосу і окремих дугових недосконалостей елементів. Недосконалості можна визначити з формулами (7.2) і (7.3) наступним чином:

a) загальні початкові недосконалості перекосу, див. рисунок 7.1(d):

$$\varphi = \varphi_0 \alpha_h \alpha_m, \quad (7.2)$$

де

φ_0 — основне значення: $\varphi_0 = 1/200$;

α_h — понижувальний коефіцієнт для висоти h застосовний до колон:

$$\alpha_h = \frac{2}{\sqrt{h}} \text{ але } \frac{2}{3} \leq \alpha_h \leq 1,0$$

α_m — понижувальний коефіцієнт для кількості колон у ряду:

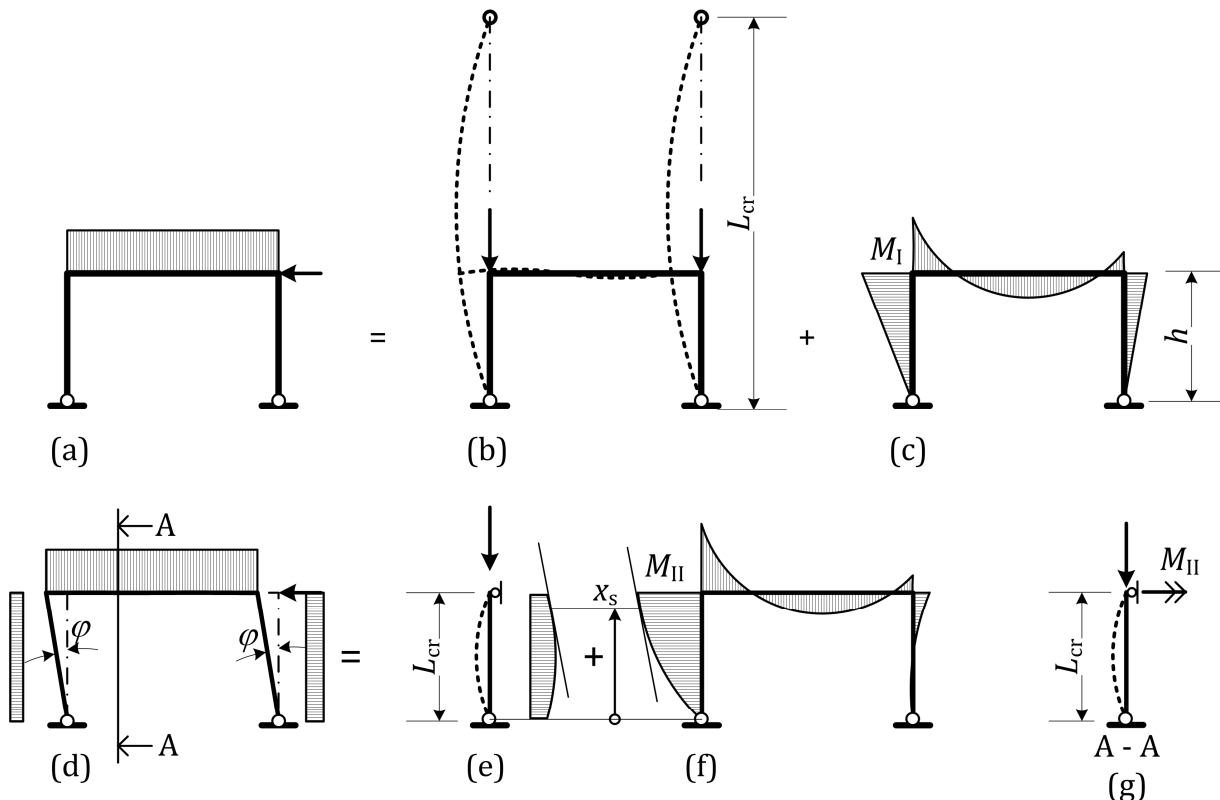
$$\alpha_m = \sqrt{0,5 \left(1 + \frac{1}{m} \right)},$$

де

h — це висота конструкції в метрах;

m — кількість колон у ряді, включаючи тільки ті колони, які несуть вертикальне навантаження N_{Ed} не менше ніж 50% від середнього значення

для колони, що розглядається у вертикальній площині.



Умовні позначки:

Метод еквівалентного стрижня;

(a) — система і навантаження;

(b) — еквівалентна довжина колони;

(c) — момент першого порядку.

Метод еквівалентного перекосу:

(d) — навантаження на систему і недосконалості перекосу;

(e) — розрахункова довжина;

(f) — момент другого порядку;

(g) — Початковий місцевий прогин та розрахункова довжина для втрати стійкості; за поперечно-крутильною та крутильно-згинальною формою.

Рисунок 7.1 — Еквівалентна розрахункова довжина та еквівалентні недосконалості перекосу

Якщо в методі еквівалентного перекосу у (d) враховано початкові дугові недосконалості, то результат отримують через моменти другого порядку і потреби у додатковому дослідженні згідно з (e) не виникає. В обох методах перевірку стійкості поза площиною (g) рекомендовано

виконувати згідно з пунктом 7.2.2(5)b). За відсутності втрати стійкості за крутильно-згинальною або поперечно-крутильною формою, для перевірки опору достатньо застосувати моменти першого порядку.

b) Виконуючи розрахунок другого порядку, що включає недосконалість елементів, з формули (7.3) можна отримати e_0 — початкову дугову недосконалість, пов'язану з згинальною або крутильно-згинальною формою втрати стійкості.

$$\frac{e_0}{L} = \frac{M_{0,Rd}}{N_{0,Rd}L} \left(\frac{1}{\chi} - \frac{\bar{\lambda}^2}{\gamma_{M1}} \right) (1 - \chi^\eta)^{1/\beta}, \quad (7.3)$$

де

L — довжина елемента. Для вигину арок у площині та поза нею, L може бути прийнято, як показано в таблиці 7.1.

χ — понижувальний коефіцієнт згідно з пунктом 8.3.1.3 для фактичного класу втрати стійкості матеріалу (BC) поздовжнього зварного шва, типу перерізу і гнучкості $\bar{\lambda}$, де

$$\bar{\lambda} = \frac{L}{i\pi} \sqrt{\frac{f_0}{E}} \text{ із } i = \sqrt{\frac{I}{A}};$$

$M_{0,Rd}$ — розрахунковий опір згинальному моменту за формулою (8.28);

$N_{0,Rd}$ — розрахунковий опір осьовому зусиллю за формулою (8.24);

$\beta = \eta = 1$ — якщо використовують рівняння лінійної взаємодії;

$\beta = 1$ і $\eta = \eta_{y0}$ — для вигину вздовж головної осі максимального моменту інерції (вісь y) застосовують формулу (8.65);

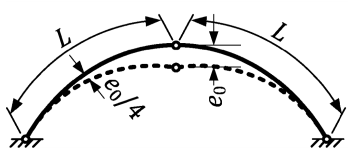
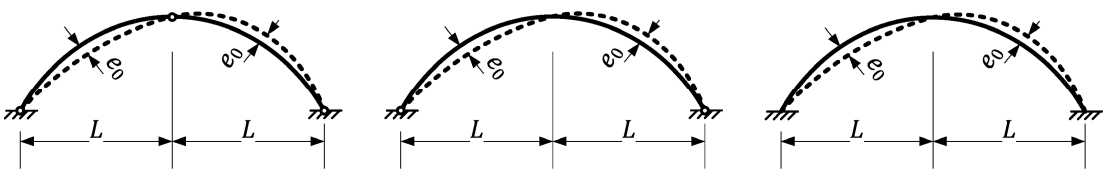
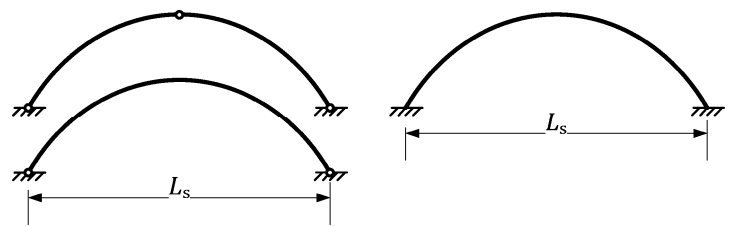
$\beta = \beta_{z0}$ і $\eta = \eta_{z0}$ — для вигину вздовж головної осі мінімального моменту інерції (вісь z), використовують формулу (8.66) та $M_{y,Ed} = 0$;

$\beta = 1$ та $\eta = \psi_{cy}$ — для порожнистих та суцільних профілів, у випадку застосування формули (8.73) та $M_{z,Ed} = 0$;

$\chi_y = 1$ і $\chi_z = 1$ — у формулах (8.65), (8.66) та (8.73).

Таблиця 7.1 — Форма і розрахункова довжина загальної

недосконалості для прогину арок в площині і поза площиною. Синусоїдна та параболічна форма недосконалості

Згин у площині	 
Згин поза площиною	 $L_s \leq 12m L = L_s$ $L_s > 12m L = \sqrt{12L_s[m]}$

(4) Для будівельних рам недосконалості перекосу можна не приймати до уваги у випадку виконання умови (7.4);

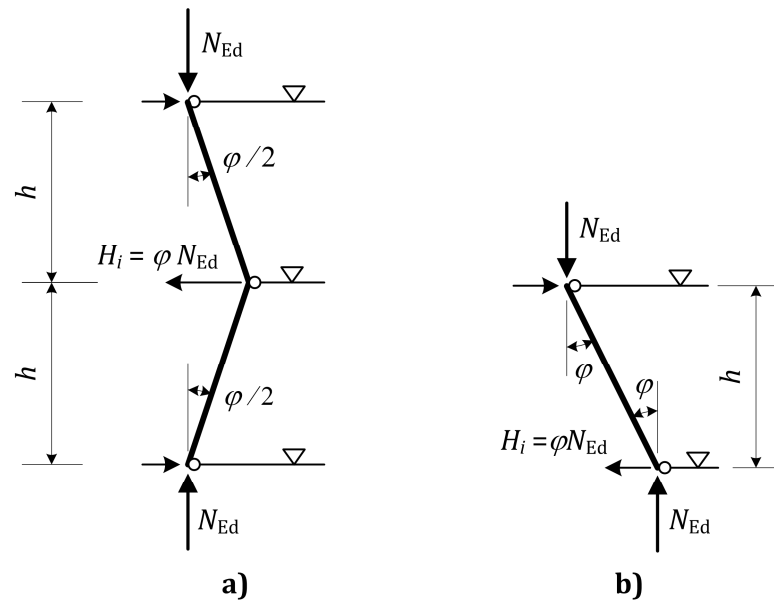
$$H_{Ed} \geq 0,15N_{Ed} \quad (7.4)$$

де

H_{Ed} — розрахункове значення горизонтальної реакції в нижній частині поверху на горизонтальні навантаження та фіктивні горизонтальні навантаження;

N_{Ed} — розрахункове значення вертикального зусилля.

(5) Для визначення горизонтальних зусиль відносно міжповерхових діафрагм рекомендовано приймати конфігурацію недосконалостей так, як це вказано на рисунку 7.2, де φ — недосконалість перекосу, обчислена за формулою (7.2) для висоти поверху h , див. (3) а).



Умовні позначки:

a) два і більше поверхів

b) один поверх

Рисунок 7.2 — Схема розташування недосконалостей перекосу φ для визначення горизонтальних зусиль на міжповерхових діафрагмах

(6) Під час проведення загального розрахунку для визначення кінцевих зусиль і кінцевих моментів, що використовуються в перевірках елемента згідно з 8.3, можна нехтувати локальною дуговою недосконалістю. Проте, для рам, чутливих до впливів другого порядку, під час конструкційного розрахунку рекомендовано враховувати місцеві дугові недосконалості елементів у поєднанні з загальними недосконалостями перекосу (див. 7.2.1(3)) для кожного стиснутого елемента за наступних умов, включно з формулою (7.5):

— наявності, як мінімум, одного вузла, здатного сприймати момент, на одному кінці елемента;

$$— \bar{\lambda} = 0,5 \sqrt{\frac{Af_0}{N_{Ed}}} \quad (7.5)$$

де

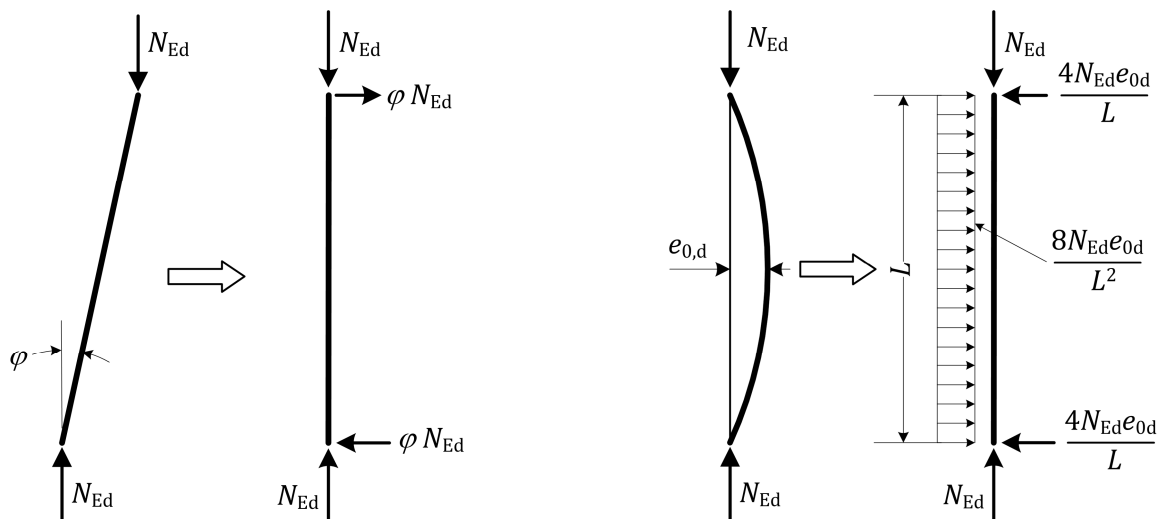
N_{Ed} — розрахункове значення стискального зусилля;

$\bar{\lambda}$ — відносна гнучкість елемента у площині деформації, якщо

розглядати його як шарнірно закріплений на кінцях.

Примітка. Місцеві дугові недосконалості враховують під час перевірки елемента, як показано у 7.2.2 (3) і 7.3.4.

(7) Вплив початкових недосконалостей прекосу і дугових недосконалостей може бути замінений системами еквівалентних горизонтальних сил для кожного елемента, див. рисунки 7.2 та 7.3).



а) початкові недосконалості перекосу

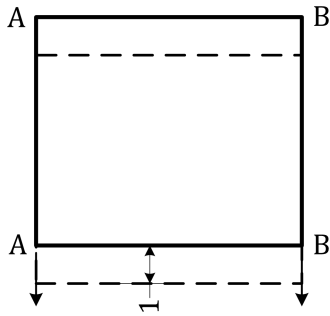
б) початкові дугові недосконалості

Рисунок 7.3 — Заміна початкових недосконалостей еквівалентними горизонтальним силами

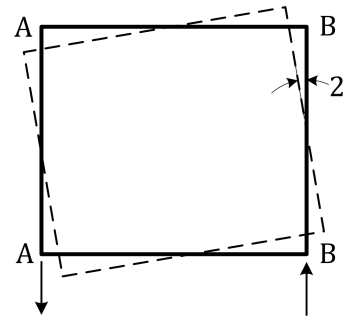
(8) Початкові недосконалості перекосу рекомендовано передбачати для всіх горизонтальних напрямків, але розглядати їх потрібно для кожного напрямку окремо.

(9) У випадку використання еквівалентних горизонтальних сил для багатоповерхової будівлі з стояково-балковим каркасом, їх рекомендовано прикладати у рівні кожного поверху і покриття.

(10) Також рекомендовано враховувати вірогідні крутильні впливи, викликані антисиметричними перекосами на двох протилежних поверхнях, див. рисунок 7.4.



а) Перекіс поверхонь А-А і В-В в одному і тому ж напрямку



б) Перекіс поверхонь А-А і В-В в протилежних напрямках

Умовні позначки:

1 — поступальний перекіс;

2 — поворотний перекіс.

Рисунок 7.4 — Поступальний і поворотний перекіс (у плані)

Замість (3) і (6) форму втрати стійкості η_{cr} рамної конструкції чи перевіреного елемента можна розглядати як єдину загальну і місцеву недосконалість. Еквівалентна геометрична недосконалість може бути виражена через формули (7.6) та (7.7):

$$\eta_{init,m}(x) = e_{0d,m} \frac{N_{cr,m}}{EI_m |\eta_{cr}|_m} \eta_{cr}(x), \quad (7.6)$$

де

$$e_{0d,m} = \alpha (\bar{\lambda}_m - \bar{\lambda}_0) \frac{M_{Rk,m}}{N_{Rk,m}} \frac{1 - \frac{\chi_m \bar{\lambda}_m^2}{\gamma_{M1}}}{1 - \chi_m \bar{\lambda}_m^2} \text{ for } \bar{\lambda}_m > \bar{\lambda}_0, \quad (7.7)$$

а

m — позначає критичний поперечний переріз каркасної конструкції або перевіреного елемента (див. Примітку 5). Показник m означає приналежність до критичного перерізу;

α — коефіцієнт недосконалості для відповідної кривої втрати стійкості див. таблицю 8.5;

$$\bar{\lambda}_m = \sqrt{\frac{N_{Rk,m}}{N_{cr,m}}} \quad \text{— відносна гнучкість рамної конструкції або}$$

перевіреного елемента і еквівалентного елемента (див. Примітку 2);

$\bar{\lambda}_0$ — границя горизонтальної ділянки для відповідної кривої втрати стійкості, наведена у Таблиці 8.5;

χ_m — понижувальний коефіцієнт для відповідної кривої втрати стійкості, (див. 8.3.1.3) та гнучкості $\bar{\lambda}_m$;

$N_{cr,m} = \alpha_{cr} N_{Ed,m}$ — величина осьового зусилля у критичному перерізі m під час досягнення критичного пружного навантаження, а також критичне осьове зусилля для еквівалентного елемента;

α_{cr} — коефіцієнт запасу стійкості для конфігурації зусиль в елементах N_{Ed} для досягнення критичного пружного навантаження конструкції;

$M_{Rk,m}$ — характеристичний момент опору поперечного перерізу m згідно 8.2.5.1(2) згідно з формулою (8.28);

$N_{Rk,m}$ — характеристичний опір поперечного перерізу m поздовжній силі згідно 8.2.4(2) згідно з формулою (8.24);

$El_m |\eta''_{cr}|_m$ — значення згинальних моментів у критичному поперечному перерізі m , що були б необхідні для згину конструкції (в стані без осьових зусиль) до досягнення втрати стійкості;

Примітка 1. Формула (7.6) ґрунтується на вимозі що недосконалість $\eta_{init,m}(x)$ у формі пружної втрати стійкості $\eta_{cr}(x)$ має бути такої ж максимальної кривизни, що передбачена для еквівалентного елемента в 8.3.1. Отже, опір втраті стійкості стиснених вздовж осі елементів постійного перерізу, обчислених з урахуванням недосконалостей згідно з формулою (7.6) і ефектів другого порядку, є ідентичним значенню $N_{b,Rd}$ згідно з 8.3.1.2 (2).

Примітка 2. Недосконалість $\eta_{init,m}(x)$ у формі критичної пружної втрати стійкості застосовна, як правило, до всіх стиснутих елементів та до рам, що втрачають стійкість в їх площині. Даний метод застосовний для елементів зі змінними характеристиками поперечного перерізу та / або непостійною осьовою силою по їх довжині, а також для рам, що містять такі елементи.

Примітка 3. Для пружного аналізу другого порядку формула (7.6) дає такий самий результат, як і формула (7.3), якщо всі показники при йняти рівними 1,0.

Примітка 4. Еквівалентний елемент закріплений на кінцях, а його поперечний переріз і осьове зусилля такі ж, як і в критичному поперечному перерізі рами m . Довжину елемента приймають такою, щоб під дією критичного навантаження на конструкцію у критичному перерізі, m критичне зусилля дорівнювало осьовому.

(12) Для визначення коефіцієнта запасу на стійкість α_{cr} у формулі (7.6) потрібно вважати, що елементи конструкції навантажені осьовими зусиллями N_{Ed} , які отримані в результаті пружного розрахунку першого порядку.

(13) Формула $EI_m |\eta''_{cr}|_m$ у (7.6) може бути замінена на $|M''_{\eta_{cr,m}}|(\alpha_{cr} - 1)$, де $M''_{\eta_{cr,m}}$ — згинальний момент у поперечному перерізі m , обчислений з використанням аналізу другого порядку для конструкції з недосконалістю у вигляді пружної критичної форми втрати стійкості η_{cr} і довільним значенням максимальної амплітуди $\eta_{cr,max}$.

(14) Як правило, розташування критичного поперечного перерізу m у формулі (7.6) рекомендовано визначати за допомогою ітерації.

Примітка. Вибране розташування критичного поперечного перерізу m вважають вірним, якщо використання у вибраному розташуванні x_m перевищує використання в усіх інших точках x конструкції.

7.3.3 Недосконалості для розрахунку систем в'язей

(1) Розрахунок в'язевих систем, що мають забезпечувати бічну стійкість в границях довжин балок або стиснутих елементів, має враховувати вплив недосконалостей через еквівалентні геометричні недосконалості розкріплених елементів у вигляді початкових дугових недосконалостей, заданих формулою (7.9) та (7.10):

$$\alpha_0 = \alpha_m L / 500, \quad (7.9)$$

де

L — прогін в'язевої системи, а

$$\alpha_m = \sqrt{0,5 \left(1 + \frac{1}{m} \right)}, \quad (7.10)$$

де

m — кількість зв'язаних елементів.

(2) Для зручності ефект початкової дугової недосконалості елементів, розкріплених за допомогою в'язевої системи, може бути замінений еквівалентним зусиллям згідно формули (7.11) і як показано на рисунку 7.5:

$$q_{0,d} = N_{Ed} \cdot \frac{8(e_0 + \delta_q)}{L^2}, \quad (7.11)$$

де

δ_q — прогин у площині системи розкосів, під дією $q_{0,d}$ та зовнішніх навантажень, обчислений за допомогою розрахунку першого порядку, і який може бути прийнято рівним нулю для проведення розрахунку другого порядку.

Примітка. Оскільки δ_q у формулі (7.11) залежить від $q_{0,d}$, потрібно виконати ітерацію.

(3) Там, де в'язева система потрібна для стабілізації стиснутого поясу балки постійної висоти, зусилля N_{Ed} на рисунку 7.5 можна отримати за формулою (7.12):

$$N_{Ed} = M_{Ed}/h, \quad (7.12)$$

де

M_{Ed} — максимальний згинальний момент у балці;

h — загальна висота балки.

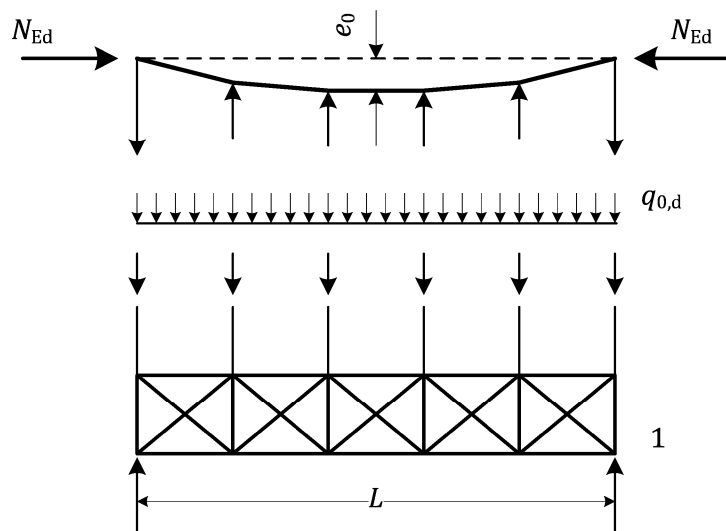
Якщо балка зазнає додаткового стиску, цей факт рекомендовано обов'язково врахувати.

Зусилля N_{Ed} на рисунку 7.5 рекомендовано приймати рівномірно розподіленим у границях прогону L системи в'язей. У випадку нерівномірного розподілу зусиль такий підхід дає невеликий запас.

(4) Точки зрощення балок або стиснутих стрижнів рекомендовано

додатково перевіряти на здатність в'язевої системи опиратися місцевому зусиллю, що дорівнює $\alpha_m N_{Ed}/100$, прикладеному до неї кожною балкою або стиснутим елементом, зрощеним у цій точці, і передавати це зусилля до прилеглих точок, в яких цю балку або стиснутий елемент розкріплено, див. Рисунок 7.6.

(5) Для перевірки місцевого зусилля згідно з параграфом (4) рекомендовано також враховувати зовнішні навантаження будь-якого виду, що діють на в'язеві системи, тоді як зусилля, що виникають через недосконалість, розглянуту в пункті (1), дозволено опустити.



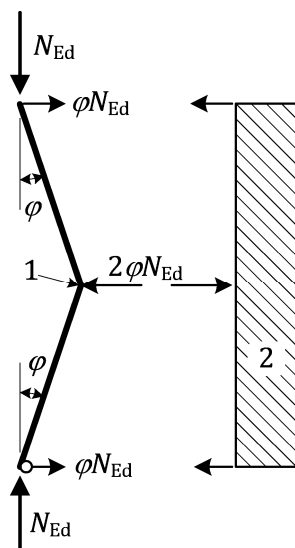
Умовні позначки:

e_0 — недосконалість;

$q_{0,d}$ — еквівалентне зусилля на одиницю довжини;

1 — система в'язей

Рисунок 7.5 — Еквівалентне стабілізуюче зусилля



Умовні позначки:

1 — зрощення;

2 — система в'язей

$$\varphi = \alpha_m \varphi_0; \varphi_0 = 1/200$$

$$2\varphi N_{Ed} = \alpha_m N_{Ed}/100$$

Рисунок 7.6 — Навантаження на в'язі в місцях зрощення стиснутих елементів

7.3.4 Недосконалості елемента

(1) Вплив недосконалостей елементів, описаних у 7.3.1(1), включено до складу формул для перевірки елементів на стійкість (див. 8.3.1).

(2) Якщо стійкість елементів перевіряють розрахунком другого порядку згідно з 7.2.2(5)а), то для стиснутих елементів рекомендовано враховувати недосконалості e_0 згідно з 7.3.2(3)б) або 7.3.2(5) чи (6).

(3) Для розрахунків другого порядку з урахуванням поперечно-крутильної форми втрати стійкості елемента під час згинання, недосконалості дозволено приймати такими, що $0,5e_0$, де e_0 — еквівалентна початкова дугова недосконалість у напрямку осі мінімальної жорсткості профілю. Тобто, загалом немає необхідності враховувати додаткову крутильну недосконалість.

7.4 Методи розрахунку

7.4.1 Загальні положення

(1) Рекомендовано дотримуватися рекомендацій щодо методів розрахунку наведених у EN 1990.

(2) Внутрішні зусилля та моменти дозволено визначити одним із двох методів:

- a) загального пружного розрахунку;
- b) загального пластичного розрахунку.

Примітка. Рекомендації щодо розрахунку методом скінченних елементів (МСЕ) наведено у додатку В.

(3) Загальний пружний розрахунок дозволено застосовувати в усіх випадках. Метод загального пластичного розрахунку дозволено застосовувати лише в тих випадках, коли конструкція має достатню поворотну здатність у місці фактичного розташування пластичних шарнірів, незалежно від того знаходяться вони в елементах чи у вузлах. Елемент має відповідати вимогам, зазначеним у 7.4.3. Якщо пластичний шарнір виникає у вузлі, вузол має бути або достатню міцним, щоб забезпечити шарнір в елементі, або ж здатним опиратися пластичним деформаціям для забезпечення необхідного повороту. Якщо пластичний шарнір виникає у балці, яка є асиметричною перпендикулярно до площини згину (наприклад, швелер, зігнутий вздовж осі у), рекомендовано не допускати поворот балки в точках прикладання навантаження і на опорах.

Примітка 1. Інформацію щодо поворотної здатності наведено у додатку L.

Примітка 2. Лише деякі види сплавів мають необхідну пластичність, для забезпечення достатньої поворотної здатності (див. К.3).

7.4.2 Загальний пружний розрахунок

(1) Загальний пружний розрахунок має ґрунтуватися на допущенні,

що залежність між напруженням і деформацією матеріалу має лінійний характер за будь-якого рівня напружень.

Примітка. Щодо вибору моделі напівжорсткого вузла, див. 7.1.2.

(2) Внутрішні зусилля і моменти дозволено знаходити за допомогою загального пружного розрахунку навіть якщо несну здатність поперечного перерізу визначено з урахуванням опору пластичним деформаціям.

(3) Загальний пружний розрахунок також дозволено застосовувати для поперечних перерізів, опір яких обмежено місцевою втратою стійкості.

7.4.3 Загальний пластичний розрахунок

(1) Загальний пластичний розрахунок не рекомендовано застосовувати для балок з поперечними зварними швами на розтягнутій стороні елемента у місцях розташування пластичних шарнірів, за виключенням конструкцій зі сплавів 5xxx стану обробки О або Н111, зварених належним зварювальним металом, за наявності документального підтвердження, що властивості в зонах термічного впливу і зварювання не нижче, ніж в основному матеріалі.

Примітка. Рекомендації з використання загального пластичного розрахунку для балок наведено в додатку К.

(2) Загальний пластичний розрахунок рекомендовано застосовувати лише там, де може бути забезпечена стійкість елементів (див. 8.3).

8 ГРАНИЧНІ СТАНИ ЕЛЕМЕНТІВ ЗА НЕСНОЮ ЗДАТНІСТЮ

8.1 Основні положення

8.1.1 Загальні положення

Розміри алюмінієвих конструкцій і складових частин потрібно підбирати так, щоб задовольнити загальні проєктні вимоги до граничного

стану за несною здатністю, викладені у розділі 4.

Примітка. Розрахункові рекомендації стосуються конструкцій, що перебувають у нормальних погодних умовах.

8.1.2 Характеристичні значення міцності

(1) Для розрахунку опору елементів рекомендовано використовувати характеристичне значення 0,2% умовної границі текучості f_0 та границі міцності на розтяг f_u для деформівних алюмінієвих сплавів.

(2) Для балок, складених з частин поперечного перерізу з різних матеріалів, поперечний переріз рекомендовано розділити на різні частини, і його опір рекомендовано розраховувати через підсумовування внеску кожної частини.

8.1.3 Часткові коефіцієнти

(1) Часткові коефіцієнти γ_M потрібно застосовувати згідно з 4.4.3.

8.1.4 Класифікація поперечних перерізів

8.1.4.1 Загальні положення

Поперечні перерізи рекомендовано розрізняти залежно від їх місцевого опору втраті стійкості та поворотної здатності.

Примітка 1. Керівництво щодо класифікації поперечних перерізів наведено в додатку H.

Примітка 2. Керівництво щодо оцінювання поворотної здатності наведено у додатку L.

8.1.4.2 Класифікація

(1) Стійкість поперечного перерізу визначають за його належністю до одного з чотирьох наступних класів:

— Клас 1: можливий розвиток пластичного моменту опору, з утворенням пластичного шарніра з необхідною для пластичного

розрахунку поворотною здатністю.

— Клас 2: можливий розвиток пластичного моменту опору, але поворотна здатність обмежена місцевою втратою стійкості.

— Клас 3: розрахункове напруження у крайньому стиснутому волокні може досягти умовної границі текучості, проте розвитку повного пластичного моменту опору перешкоджає місцева втрата стійкості.

— Клас 4: місцева втрата стійкості відбувається до того, як у одній або кількох частинах перерізу досягається умовна границя текучості.

(2) У перерізах 4-го класу для врахування зниження опору за рахунок можливої втрати стійкості дозволено використовувати приведену товщину (див. 8.1.5).

(3) Поперечні перерізи рекомендовано класифікувати залежно від співвідношення ширини стиснутої частини перерізу до його товщини.

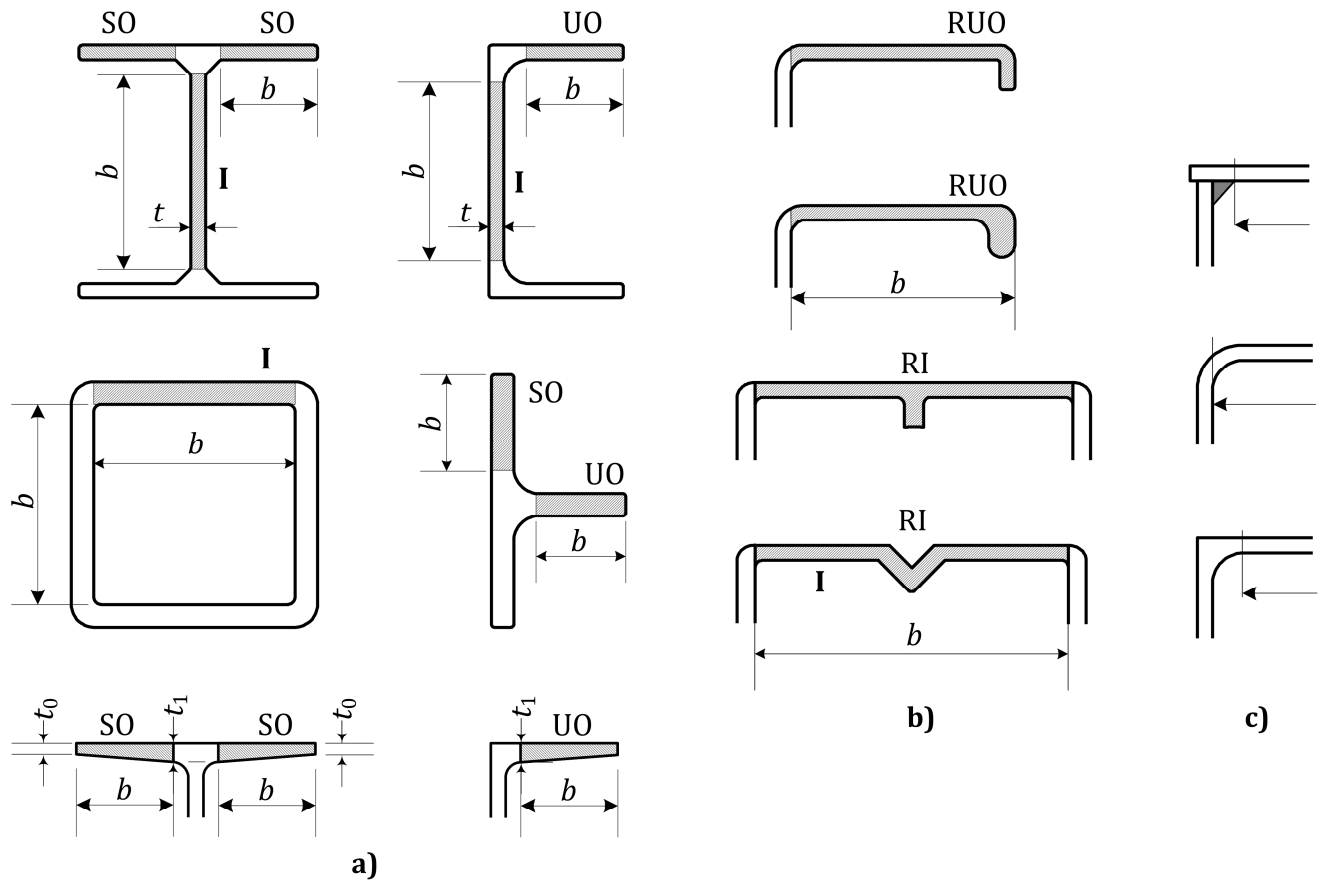
(4) Різні стиснуті частини поперечного перерізу (наприклад, стінка або полиця) можуть належати до різних класів. Поперечний переріз класифікують за найвищим номером його стисненої частини.

(5) Під час класифікації рекомендовано розрізняти такі основні типи тонкостінних частин перерізу:

- а) консольні частини;
- б) плоскі внутрішні частини;
- с) криволінійні внутрішні частини.

Ці частини можуть бути непідкріпленими або ж підкріпленими поздовжніми ребрами жорсткості, відгинами чи потовщеннями (бульбами), див. Рисунок 8.1. Консольні частини можуть бути плоскими або змінної товщини

(6) У випадку балок, де різні частини поперечного перерізу виготовлені з різних матеріалів, класифікацію стінки рекомендовано виконувати залежно від міцності матеріалу полиць. Див. також 8.1.2.



Умовні позначки:

a) — непідкріплені;

b) — підкріплені;

c) — кутові фрагменти;

SO (Symmetrical Outstand; SO) — симетричні консольні;

UO (Asymmetrical Outstand; UO) — несиметричні консольні;

I (Internal cross-section part; I) — внутрішня частина поперечного перерізу;

RI (Stiffened, internal; RI) — підкріплена, внутрішня;

RUO (Stiffened, asymmetrical outstand)— підкріплена, несиметрична консольна

Рисунок 8.1 — Типи частин поперечного перерізу

8.1.4.3 Показники гнучкості

(1) Показником чутливості непідкріплених плоских частин до місцевої втрати стійкості має бути параметр β , що має значення, задані формулами (8.1) — (8.3):

$$a) \beta = b/t \quad (8.1)$$

для плоских внутрішніх частин, що не мають градієнта напруження ($\eta = 1$), чи плоских консольних частин що не мають градієнта напруження

($\eta = 1$) або з максимальним стиском на закріпленому кінці;

$$b) \beta = 0,40b/t \quad (8.2)$$

для внутрішніх частин за наявності градієнта напружень, що призводить до появи нейтральної осі у центрі:

$$c) \beta = \eta b/t \quad (8.3)$$

для внутрішніх частин за наявності градієнта напружень, де для а), b) та с)

b — ширина частини поперечного перерізу

t — товщина частини поперечного перерізу. Для консольних частин змінної товщини, $t = (t_1 t_0)^{0,25}$, де

t_1 — товщина на закріпленому кінці і

t_0 — товщина на незакріпленому кінці.

Див. рисунок 8.1(а).

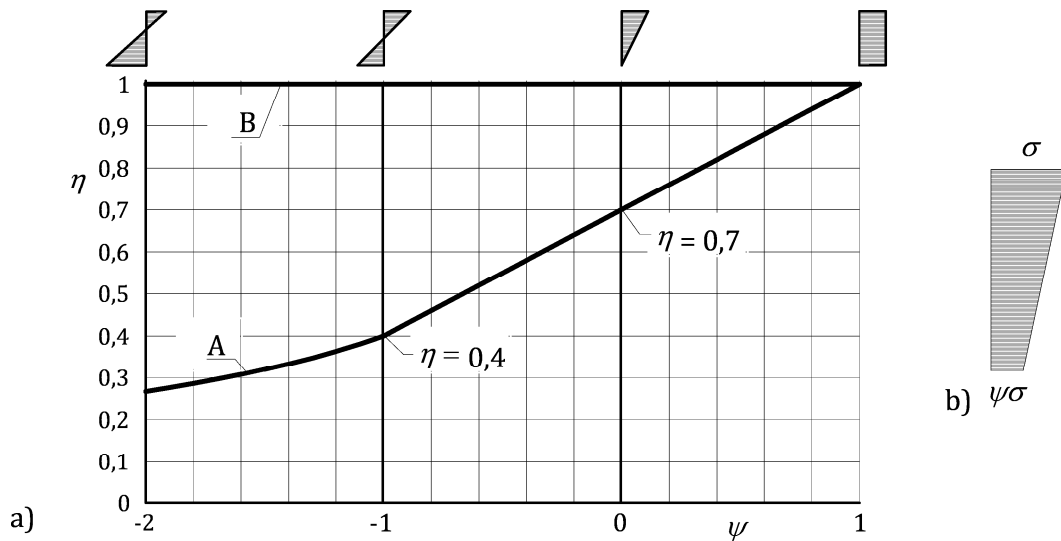
η — коефіцієнт градієнта напружень, заданий формулами (8.4) та (8.5):

$$\eta = 0,70 + 0,30\psi (1 \geq \psi \geq -1) \quad (8.4)$$

$$\eta = 0,80/(1 - \psi) (\psi < -1), \text{ див. рисунок 8.2,} \quad (8.5)$$

де

ψ — відношення напруження на краях розглянутої пластини до максимального напруження стиску. Для розрахунку параметру β всі деталі поперечного перерізу потрібно вважати шарнірно опертими, навіть якщо насправді частини перерізу защемлені пружно або жорстко.



Для внутрішніх частин або консолей (з максимальним стисненням в місці закріплення) застосовують криву А. Для консолей з максимальним стисненням на вільному кінці застосовують криву В ($\eta = 1,0$).

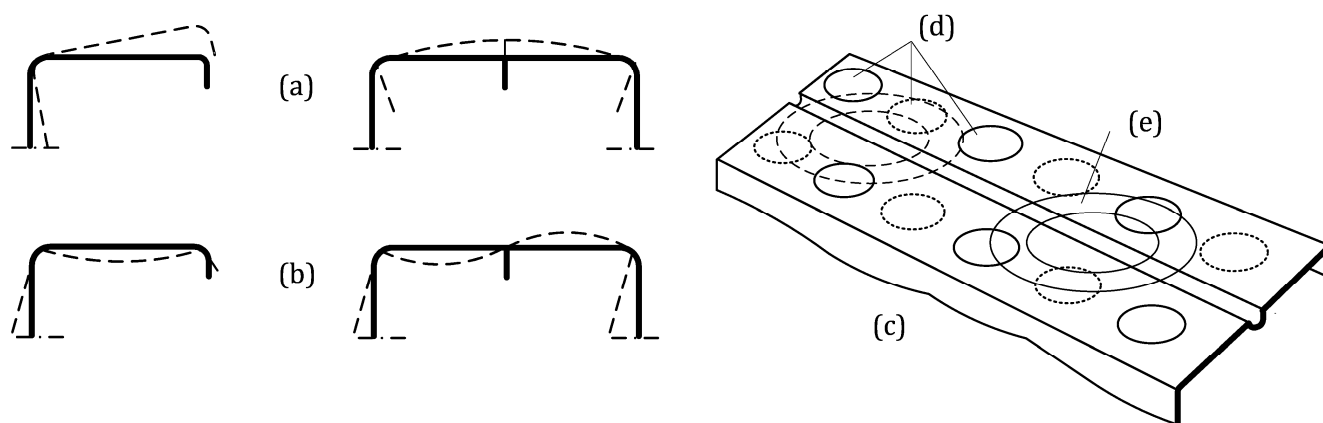
Рисунок 8.2 — Значення η для плоских частин за наявності градієнта напруження.

(2) Аналізуючи чутливість підкріпленої плоскої частини до місцевої втрати стійкості, необхідно розглянути три можливі форми втрати стійкості (див. рисунок 8.3), з окремими значеннями β для кожної з них:

а) Форма 1: вся підкріплена частина втрачає стійкість, тобто елемент жорсткості вигинається так само, як і частина. Цю форму називають загальною втратою стійкості (див. Рисунок 8.3(а))

б) Форма 2: частини перерізу і елементи жорсткості втрачають стійкість окремо, тоді як ділянка з'єднання між ними залишається прямолінійною (див. Рисунок 8.3(б)).

с) Форма 3: комбінація форм 1 і 2, у якій вигини ділянок накладаються на вигин всієї частини (див. Рисунок 8.3(с)).



Умовні позначки:

- (a) — форма 1;
- (b) — форма 2;
- (c) — форма 3;
- (d) — вигини ділянки;
- (e) — вигин всієї підкріпленої частини.

Рисунок 8.3 — Форми втрати стійкості плоских підкріплених частин

(3) Значення β для підкріплених частин рекомендовано визначати так:

а) Форма 1, рівномірний стиск, стандартне підкріплення:

Якщо підкріплення виконано у формі одностороннього ребра або відгину тієї ж товщини, що й товщина частини t , застосовують формули (8.6) — (8.9):

$$\beta = \frac{\eta b}{t}, \quad (8.6)$$

де

η — задано формулами (8.7), (8.8) або (8.9) (див. рисунок 8.4(a), (b) або (c), де висоту c , ребра або відгину вимірюють до внутрішньої поверхні пластини).

$$\eta = \frac{1}{\sqrt{1 + 0,1(c/t - 1)^2}} \quad (\text{Рисунок 8.4a}) \quad (8.7)$$

$$\eta = \frac{1}{\sqrt{1 + 2,5 \frac{(c/t - 1)^2}{b/t}}} \geq 0,5 \quad (\text{Рисунок 8.4b}) \quad (8.8)$$

$$\eta = \frac{1}{\sqrt{1 + 2,5 \frac{(c/t - 1)^2}{b/t}}} \geq 0,33 \quad (\text{Рисунок 8.4 c}) \quad (8.9)$$

b) Форма 1, рівномірний стиск, нестандартне підкріплення:

Якщо підсилення має іншу форму, його рекомендовано замінити на еквівалентне ребро або відгин, що дорівнює за товщиною t частині, а значення вибирають так, щоб момент інерції підкріплення відносно серединної площини пластини дорівнював моменту інерції нестандартного підкріплення відносно тієї самої площини. Альтернативний спосіб розрахунку підкріплених пластин наведено у 8.7.

с) Форма 1, рівномірний стиск, складне підкріплення:

Для нестандартних форм підкріплення, що не піддаються описаному вище розрахунку, застосовують формулу (8.10):

$$\beta = \frac{b}{t} \left(\frac{\sigma_{cr0}}{\sigma_{cr}} \right)^{0,4} \quad (8.10)$$

σ_{cr} — пружне критичне напруження для підкріпленої частини, за припущення шарнірного обпирання її країв;

σ_{cr0} — пружне критичне напруження для непідкріпленої частини за припущення шарнірного обпирання її країв.

d) Форма 1, градієнт напруження:

Значення β рекомендовано обчислювати за формулою (8.10), де σ_{cr} та σ_{cr0} в даному випадку відносяться до напруження на більш стиснутому краю частини.

e) Форма 2:

Значення β рекомендовано обчислювати окремо для кожного фрагмента згідно з 8.1.4.3(1).

(4) Чутливість рівномірно стиснутої слабовигнутої непідкріпленої

внутрішньої частини до місцевої втрати стійкості рекомендовано вимірювати параметром β , заданим формулою (8.11):

$$\beta = \frac{b}{t} \frac{1}{\sqrt{1 + 0,006 \frac{b^4}{R^2 t^2}}}, \quad (8.11)$$

де

R — радіус кривини серединної поверхні матеріалу;

b — ширина розгортки частини у серединній площині матеріалу;

t — товщина.

Цей розрахунок дозволено застосовувати, якщо $R/b > 0,1b/t$. Для перерізів з більш криволінійними частинами рекомендовано проводити окремі дослідження чи розрахунок за результатами випробування.

(5) Чутливість тонкостінної круглої труби до місцевої втрати стійкості, рекомендовано визначати за параметром β , заданим формулою (8.12):

$$\beta = k_0 \sqrt{\frac{D_m}{t}} \quad (8.12)$$

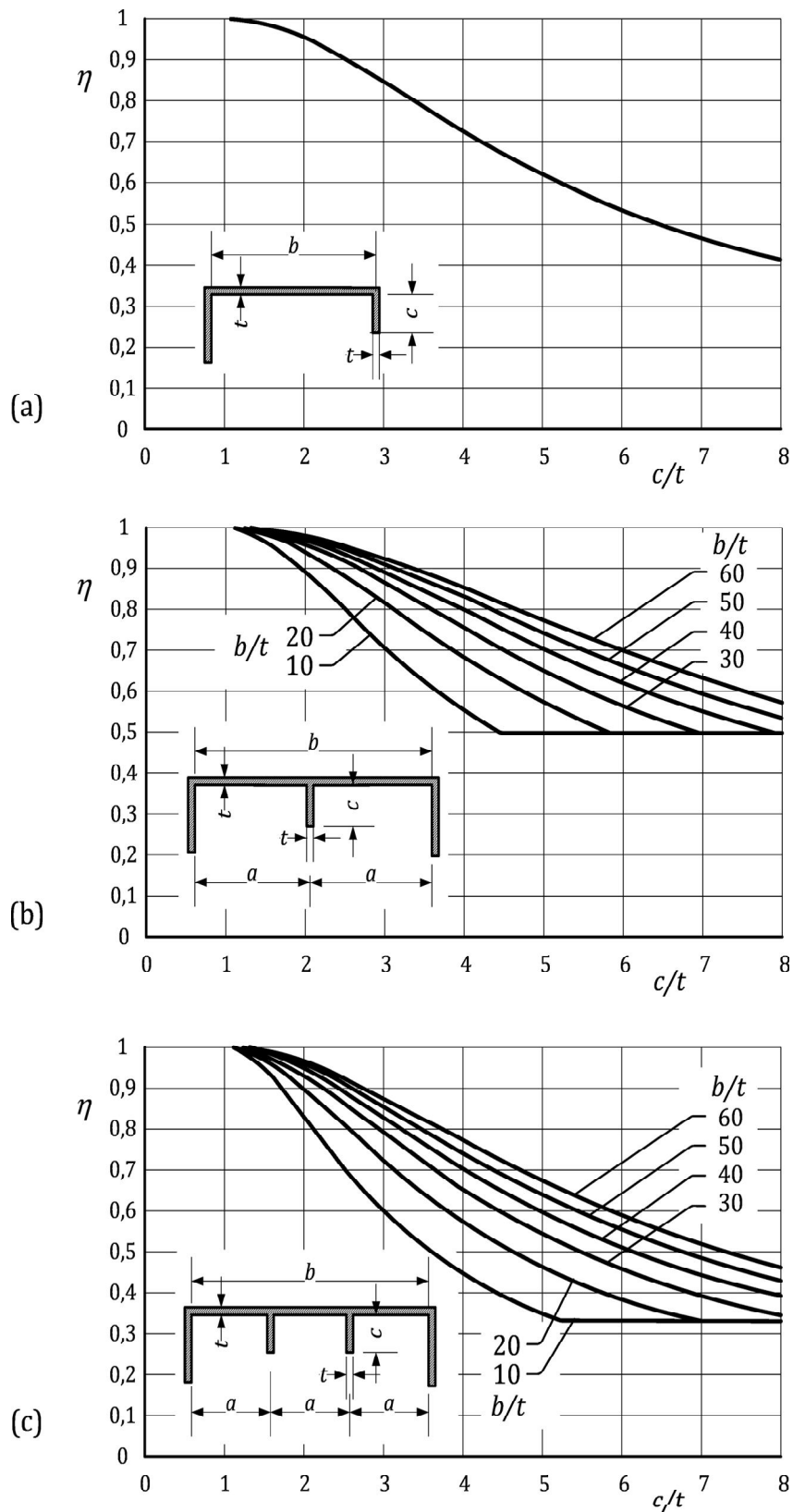
де

$k_0 = 3$ для труби під дією згину;

$k_0 = 6$ для труби під дією рівномірного стиску;

D_m — діаметр серединної поверхні круглої труби.

Якщо $\beta > \beta_3$, понижувальний коефіцієнт для місцевої втрати стійкості рекомендовано обчислювати за EN 1999-1-5.



Умовні позначки:

a — відстань між рівновіддаленими

Рисунок 8.4 — Значення η для підкріплених частин поперечного перерізу

8.1.4.4 Класифікація частин поперечних перерізів

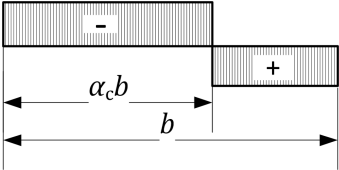
(1) Якщо $\beta > \beta_3$ (див. таблицю 8.1), то клас поперечного перерізу 4, а якщо $\beta_2 < \beta \leq \beta_3$, клас поперечного перерізу 3, де β_2 і β_3 наведено у таблиці 8.1.

(2) Значення допустимих співвідношень b/t — для 1-го та 2-го класів частин поперечних перерізів без зварних швів рекомендовано приймати за таблицею 8.2. Для частин зі зварними швами до значень рекомендовано застосовувати понижувальний коефіцієнт 0,8.

Таблиця 8.1 — Показники гнучкості β_2/ε та β_3/ε^a

	Клас втрати стійкості згідно з таблицею 5.3 та 5.4	Внутрішня частина		Консольна частина	
		β_2/ε	β_3/ε	β_2/ε	β_3/ε
Без зварних швів	A	16	22	4,5	6
	B	16	20	4,5	5,5
	C	16	18	4,5	5
Зі зварними швами	A	13	18	4,0	5
	B	13	16,5	3,8	4,5
	C	13	15	3,5	4
^a з для (а) $\varepsilon = \sqrt{\frac{250}{f_0}}$ з f_0 у МПа					

Таблиця 8.2 — Допустимі значення b/t для частини поперечного перерізу без зварних швів

				
Поперечний переріз	Внутрішня частина		Консольна частина	
	$a_c \leq 0,5$	$a_c > 0,5$	Максимальний стиск на обертному краї	Максимальний стиск на вільному краї
Клас 2	$\leq \frac{16\varepsilon}{a_c}$	$\leq \frac{56\varepsilon}{5,5a_c - 1}$	$\leq \frac{4\varepsilon}{a_c}$	$\leq \frac{4\varepsilon}{a_c^{1,5}}$
Класс 2	$\leq \frac{19\varepsilon}{a_c}$	$\leq \frac{88\varepsilon}{6,53a_c - 1}$	$\leq \frac{4,5\varepsilon}{a_c}$	$\leq \frac{4,5\varepsilon}{a_c^{1,5}}$

(3) У таблиці 8.1 якщо частина поперечного перерізу містить зварювання по краю або в будь-якій точці в границях її ширини, її рекомендовано розглядати зі зварними швами. Однак, якщо шви розташовані перпендикулярно до осі елемента, з метою поперечного закріплення, дозволено вважати, що частина поперечного перерізу не має зварних швів.

Примітка. Класифікація частин перерізів зі зварними швами не залежить від розмірів зони термічного впливу.

(4) Під час класифікації частин в елементах конструкцій, що перебувають у стані згину, якщо ці частини менш напружені, ніж найбільш напружені волокна у даному перерізі, дозволено скористатися модифікованою формулою $\varepsilon = \sqrt{\left(\frac{250}{f_0}\right)\left(\frac{z_1}{z_2}\right)}$, де z_1 — відстань між нейтральною пружною віссю ефективного перерізу та найбільше напруженими волокнами, і z_2

— відстань між пружною нейтральною віссю ефективного перерізу та розглянутою частиною. Значення z_1 і z_2 рекомендовано обчислювати за заданим ефективним перерізом за допомогою ітерації (щонайменше два кроки).

8.1.5 Опір місцевій втраті стійкості елементів четвертого класу

(1) Втрату стійкості в елементах 4-го класу рекомендовано враховувати заміною фактичного перерізу на ефективний переріз, обчислений із застосуванням місцевого коефіцієнта стійкості ρ_c для зменшення товщини. ρ_c рекомендовано застосовувати до будь-якої частини класу 4, що повністю або частково знаходиться у стані стиску.

(2) Коефіцієнт ρ_c рекомендовано обчислювати за формулами (8.13) або (8.14) окремо для кожної частини перерізу, через відношення β/ε , де β

наведено у 8.1.4.3, ε задано у таблиці 8.1, а константи C_1 та C_2 — у таблиці 8.3. Співвідношення між ρ_c і β/ε показано на рисунку 8.5.

Для мінус $3 \leq \psi \leq 1$, де ψ наведено у 8.1.4.3, застосовні формули (8.13) та (8.14):

$$\rho_c = 1,0 \text{ якщо } \frac{\beta}{\varepsilon} \leq \frac{1}{2} \left(C_1 + \sqrt{C_1^2 - C_2(3 + \psi)} \right) \quad (8.13)$$

$$\rho_c = \frac{C_1}{\left(\frac{\beta}{\varepsilon}\right)} - \frac{(3 + \psi)C_2}{4(\beta/\varepsilon)^2}, \text{ якщо } \frac{\beta}{\varepsilon} > \frac{1}{2} \left(C_1 + \sqrt{C_1^2 - C_2(3 + \psi)} \right) \quad (8.14)$$

Для $\psi = 1$ границя для формули (8.13) може бути спрощена до $\beta \leq \beta_3$ і для Формули (8.14) до $\beta > \beta_3$, де β наведено у таблиці 8.1.

Таблиця 8.3 — Постійні C_1 та C_2 у формулі для ρ_c

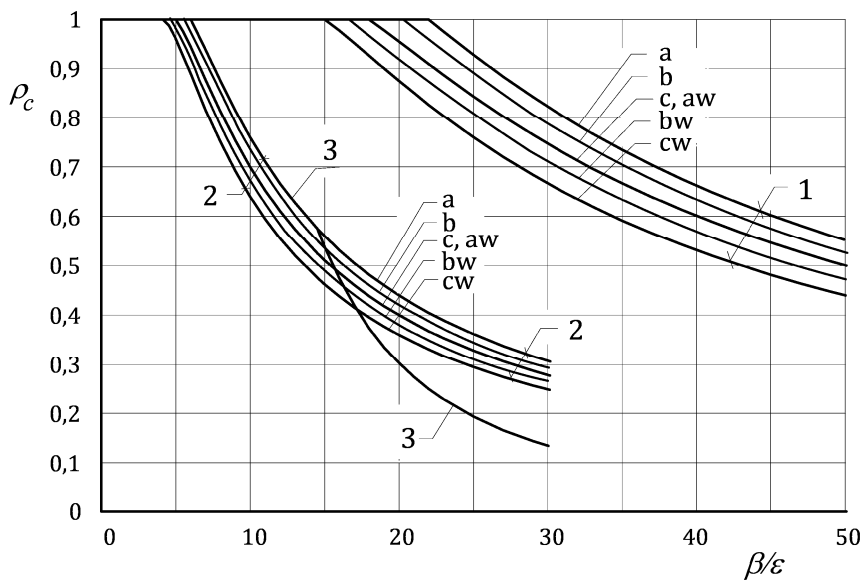
	Клас втрати стійкості згідно з Таблицею 5.3 та 5.4	Крива (див. Рисунок 8.5)	Внутрішня частина		Консольна частина	
			C_1	C_2	C_1	C_2
Без зварних швів	A	a	32	220	10	24
	B	b	30,5	209	9,5	22
	C	c	29	198	9	20
Зі зварним швами	A	aw	29	198	9	20
	B	bw	28,2	193	8,5	18
	C	cw	27,6	189	8	16

(3) Для плоских консольних частин у несиметричному поперечному перерізі (рисунок 8.1) значення ρ_c рекомендовано обчислювати за формулами (8.13) і (8.14), але воно не має перевищувати $120/(\beta/\varepsilon)^2$.

(4) Для підкріплених частин поперечного перерізу рекомендовано розглянути всі можливі форми втрати стійкості і прийняти найнижче значення з ρ_c . Якщо втрата стійкості відбувається а формою 1, ρ_c рекомендовано застосовувати як до площі підкріплення, так і до основної товщини пластини (див. також 8.7). Для підкріплених консольних частин перерізу рекомендовано використовувати криву, що відповідає консольним частинам; в усіх інших випадках — криву, що відповідає внутрішнім частинам.

Примітка. Для визначення ρ_c у перерізах, на які діє двохосьовий згин, або

поєднання згину та осьового навантаження, див. примітки 8.3.3.1(2).



Умовні позначки:

- 1 — внутрішні частини і круглі труби;
- 2 — симетричні консолі;
- 3 — несиметричні консолі.

Рисунок 8.5 — Співвідношення між ρ_c та β/ε для консольних частин, внутрішніх частин і круглих труб

8.1.6 Знеміцнення зони термічного впливу біля зварних швів

8.1.6.1 Загальні положення

(1) Проєктуючи зварні конструкції з використанням сплавів з деформаційним зміцненням або штучно зістарених дисперсійно тверднучих сплавів, рекомендовано враховувати знеміцнення матеріалу у пришовних зонах.

(2) Параграф (1) можна знехтувати за умови, що у пришовній зоні відсутнє знеміцнення, тобто для відпалених сплавів (маркування «О»), або для нетермооброблених сплавів (маркування «F»), розрахункову міцність яких приймають з властивостей відпалених сплавів.

(3) Для перевірки по всій зоні термічного впливу міцнісні властивості дозволено приймати зниженими до постійного рівня.

Примітка 1. Пониження має більш серйозний вплив на 0,2% умовної границі текучості матеріалу, ніж на граничну міцність на розтяг. Ділянка, в якій має місце дане явище, розташована безпосередньо біля шва, а за її межами міцнісні властивості швидко поновлюються до тих значень, які мають місце за відсутності зварних швів.

Примітка 2. Навіть невеликі зварні шви, що з'єднують менші елементи з основним можуть значно знизити опір елемента через наявність зон термічного впливу. Під час проєктування балок вигідно розташовувати шви і кріплення в зонах з низькими напруженнями, тобто у зоні нейтральної осі або далеко від ділянок із високими згинальними моментами.

Примітка 3. Для деяких термооброблюваних сплавів, можна усунути ефект знеміцнення у зоні термічного впливу, застосовуючи після зварювання штучне старіння.

Примітка 4. Рекомендації щодо визначення розмірів зони термічного впливу за результатами випробувань на твердість наведено в додатку Q.

8.1.6.2 Ступінь знеміцнення

(1) Характеристичні значення 0,2% умовної границі текучості $f_{o,haz}$ та границі міцності на розтяг $f_{u,haz}$, у зоні термічного впливу рекомендовано приймати за таблицями 5.3 та 5.4, у яких також наведено понижувальні коефіцієнти до формул (8.15) та (8.16):

$$\rho_{o,haz} = f_{o,haz}/f_o \quad (8.15)$$

$$\rho_{u,haz} = f_{u,haz}/f_o \quad (8.16)$$

(2) Значення для інших сплавів і станів обробки, відмінних від наведених у таблицях 5.3 і 5.4, рекомендовано шукати та встановлювати через випробування.

(3) Якщо необхідні загальні усереднені значення, рекомендовано провести серію випробувань для урахування того факту, що матеріали від різних виробників металевих напівфабрикатів можуть відрізнятися за хімічним складом, а тому після зварювання можуть мати різні показники міцності. У деяких випадках також дозволено виводити показники міцності зі значень добре відомих сплавів за допомогою інтерполяції.

(4) Значення $f_{o,haz}$ і $f_{u,haz}$ у таблицях 5.3 та 5.4 рекомендовано

приймати до застосування лише після певного, вказаного нижче, проміжку часу, який має пройти з моменту зварювання, за умови, що матеріал зберігався за температури не нижче за 10°C:

- сплави серії 6xxx: 5 днів;
- сплави серії 7xxx: 30 днів;

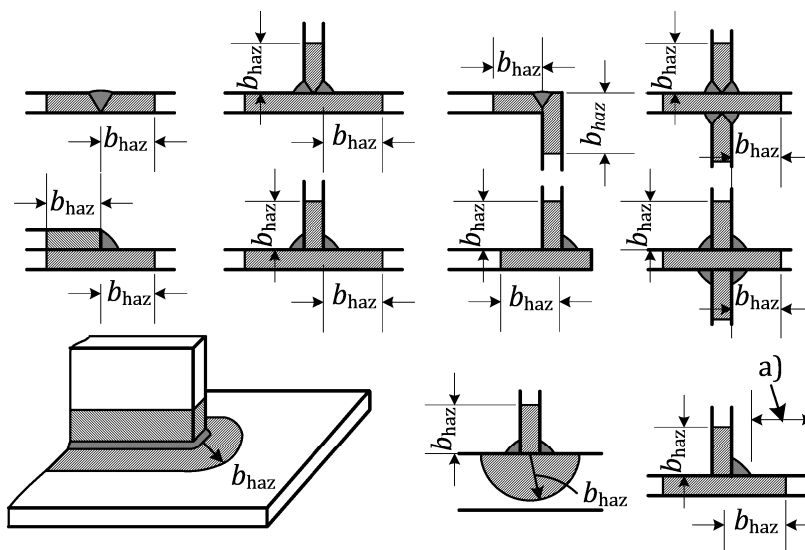
Примітка 1. Якщо матеріал зберігався після зварювання за температури нижче 10°C, час відновлення властивостей збільшиться. У таких випадках слід звернутися за інформацією до виробника.

(5) Ступінь втрати міцності може бути врахований за допомогою характеристичних значень міцності $f_{o,haz}$ і $f_{u,haz}$ у зоні термічного впливу (див. таблиці 5.3 та 5.4) для основного металу, або зменшенням передбачуваної площі поперечного перерізу, на яку діють напруження, з коефіцієнтами $\rho_{o,haz}$ та $\rho_{u,haz}$ (див. таблиці 5.3 та 5.4). Таким чином, характеристичний опір простого прямокутного перерізу, підданого зниженню міцності в зоні термічного впливу, дозволено виразити як $Af_{u,haz} = (\rho_{u,haz}A)f_u$ якщо розрахунок базується на досягненні границі міцності, або як $Af_{o,haz} = (\rho_{o,haz}A)f_o$, якщо розрахунок базується на досягненні 0,2 % умовної границі текучості.

8.1.6.3 Розміри зони термічного впливу

(1) Рекомендовано вважати, що зона термічного впливу простягається на відстань b_{haz} у всіх напрямках від зварного шва наступним чином (рисунок 8.6):

- а) перпендикулярно до центральної лінії прямолінійного стикового зварного шва;
- б) перпендикулярно до точки перетину зварених поверхонь у кутових зварних швах;
- с) перпендикулярно до точки перетину зварених поверхонь у стикових швах кутових, таврових або хрестоподібних вузлів;
- д) у будь-якому радіальному напрямку від кінця шва.



Умовна позначка:

а) Див. 8.1.6.3(6).

Рисунок 8.6 — Розміри зони термічного впливу

(2) Межі зони термічного впливу рекомендовано приймати як прямі лінії, перпендикулярні до металевої поверхні, особливо у випадку зварювання тонкого матеріалу. Проте, якщо деталь приварена до поверхні товстого матеріалу, границю дозволено вважати криволінійною з радіусом b_{haz} , як показано на рисунку 8.6.

(3) Для зварних швів, виконаних під інертним газом плавким електродом з попереднім нагріванням та/або проміжним охолодженням до 80°C або менше для сплавів 7xxx, і до 100°C або менше для сплавів 6xxx і зміцнених сплавів серій 3xxx і 5xxx під час виконання багатопрохідних зварних швів значення b_{haz} рекомендовано приймати наступними:

$$0 < t \leq 6 \text{ мм}: b_{\text{haz}} = 20 \text{ мм};$$

$$6 < t \leq 12 \text{ мм}: b_{\text{haz}} = 30 \text{ мм};$$

$$12 < t \leq 25 \text{ мм}: b_{\text{haz}} = 35 \text{ мм};$$

$$t > 25 \text{ мм}: b_{\text{haz}} = 40 \text{ мм}.$$

(4) Для зварних прямолінійних стикових або кутових швів, виконаних під інертним газом неплавким електродом у сплавах серій 6xxx, 7xxx або зміцнених 3xxx і 5xxx значення b_{haz} рекомендовано приймати наступним:

$$0 < t \leq 6 \text{ мм}: b_{\text{haz}} = 30 \text{ мм}$$

Примітка. Для матеріалів більшої товщини відповідні границі встановити неможливо. Якщо неможливо перевірити міцність з'єднання, виходячи з припущення, що матеріал загалом розм'якшився, ширину зони термічного впливу можливо визначити за допомогою вимірювань твердості, див. додаток Q.

(5) Значення в параграфах (3) і (4) застосовні до зварних вузлів з двома допустимими шляхами теплового потоку. Для вузлів з трьома допустимими шляхами теплового потоку (наприклад, таврових) розміри зони термічного впливу дозволено зменшити до $0,75b_{haz}$. Для вузлів лише з одним допустимим шляхом теплового потоку розміри зони термічного впливу рекомендовано збільшити до $1,5b_{haz}$. Допустимим шляхом теплового потоку рекомендовано вважати ту частину поперечного перерізу, де тепло від зварювання може передаватися до іншої частини елемента або конструкції. Консоль в якості допустимого теплового шляху рекомендовано застосовувати, якщо її довжина перевищує $3b_{haz}$.

(6) Якщо відстань від краю шва до вільного краю становить менше ніж $3b_{haz}$, до всієї ширини консолі рекомендовано застосувати коефіцієнти $\rho_{o,haz}$ та $\rho_{u,haz}$.

(7) В якості альтернативи, розміри зони термічного впливу дозволено виміряти за допомогою випробування на твердість, і результат приймають як b_{haz} .

Примітка. Рекомендації наведено у додатку Q.

(8) Інші чинники, які рекомендовано враховувати для значення b_{haz} наступні:

а) Для температур вище 80°C для сплавів 7xxx і вище 100°C для сплавів 6xxx та загартованих сплавів серій 3xxx і 5xxx

Для виконання багатопрохідних зварних швів з температурою між проходами $T1(^{\circ}\text{C})$ від 80°C до 120°C , b_{haz} рекомендовано домножувати на коефіцієнт α_2 , як вказано нижче:

— Для сплавів 6xxx та зміцнених сплавів серії 3xxx та 5xxx:

$$\alpha_2 = 1 + (T_1 - 100)/120$$

— Для сплавів 7xxx: $\alpha_2 = 1 + 1,5(T_1 - 80)/120$

Якщо потрібно отримати значення α_2 з меншим запасом, то фактичну ширину зони термічного впливу дозволено визначати випробуванням дослідних зразків на твердість. Температура для зварювання алюмінієвих сплавів не може перевищувати 120°C.

b) Для різних товщин

Якщо частини поперечного перерізу, що мають бути з'єднані за допомогою зварювання, мають різну товщину t , то у вищенаведених пунктах (3) — (7) за t рекомендовано приймати середню товщину всіх частин на відстані $1,5b_{\text{haz}}$ від зварного шва. Це правило застосовне, якщо середня товщина не перевищує найменшу товщину більше ніж у 1,5 рази. Якщо товщини частин варіюються більше, ніж у 1,5 рази, то у вищенаведених пунктах (3) — (7) потрібно застосовувати найменшу товщину.

8.2 Опір поперечних перерізів

8.2.1 Загальні положення

(1) Розрахункове значення наслідку дії в кожному поперечному перерізі не може перевищувати відповідного розрахункового опору. Якщо кілька наслідків дії діють одночасно, то сукупний ефект не повинен перевищувати опору для цієї комбінації.

(2) Ефект запізнення зсуву рекомендовано враховувати введенням ефективної ширини. Вплив місцевої втрати стійкості та знеміцнення пришовних зон рекомендовано враховувати за допомогою ефективних товщин;

Примітка 1. Щодо ефекту запізнення зсуву див. додаток J.

Примітка 2. Розрахункові значення опору, залежать класу поперечного перерізу.

(3) Для всіх класів поперечних перерізів дозволено виконувати перевірку опору втраті несної здатності у пружній області роботи за умови, що для перевірки перерізів 4-го класу буде застосовано ефективні параметри перерізів.

(4) Для визначення опору дозволено скористатися умовною межею текучості за формулою (8.17) для критичної точки поперечного перерізу, крім випадків, коли мають застосовуватися інші теорії (див. 8.2.7 — 8.2.10):

$$\left(\frac{\sigma_{x,Ed}}{f_o/\gamma_{M1}}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{z,Ed}}{f_o/\gamma_{M1}}\right)^2 - \left(\frac{\sigma_{x,Ed}}{f_o/\gamma_{M1}}\right)\left(\frac{\sigma_{z,Ed}}{f_o/\gamma_{M1}}\right) + 3\left(\frac{\tau_{Ed}}{f_o/\gamma_{M1}}\right)^2 \leq 1,00, \quad (8.17)$$

де

$\sigma_{x,Ed}$ — розрахункове значення поздовжнього нормального напруження у заданій точці;

$\sigma_{z,Ed}$ — розрахункове значення поперечного нормального напруження у заданій точці;

τ_{Ed} — розрахункове значення зсувного напруження у заданій точці;

Примітка. Перевірка за формулою 8.2.1(4) може давати оцінку з запасом, оскільки вона не передбачає розподіл пластичних напружень.

(5) Центр ваги поперечного перерізу розраховують із припущенням щодо однорідності матеріалу. Для загального розрахунку конструкції використовують вісь, що проходить через центр ваги елемента, до якого також прикладено розрахункове значення N_{Ed} осьового зусилля. Однак, якщо значення опору N_{Rd} та M_{Rd} :

а) зменшено за рахунок місцевого знеміцнення зони термічного впливу;

б) зменшено за рахунок місцевої втрати стійкості (клас 4 поперечного перерізу),

с) або вступив у дію пластичний момент опору,

вісь рівнодійного значення N_{Rd} зміщується вбік із центру ваги. Відношення використання, обумовленого зміщенням до використання,

обумовленого осьовим зусиллям виражається через $e \cdot N_{Rd} / M_{Rd}$ де e — це значення зміщення. Цим наслідком можна знехтувати, якщо $e \cdot N_{Rd} / M_{Rd} \leq 0,10$.

8.2.2 Характеристики поперечних перерізів

8.2.2.1 Поперечний переріз бруто

Характеристики поперечного перерізу бруто A_g рекомендовано визначати за його номінальними розмірами. Дозволено не враховувати отвори для кріпильних елементів, проте для більших пройм рекомендовано ввести поправки. Матеріал стиків та з'єднувальних накладок ураховувати не рекомендовано.

8.2.2.2 Площа нетто

(1) Площу нетто поперечного перерізу A_{net} рекомендовано обчислювати відніманням від площі бруто площ отворів, пройм та пришовних зон зварних швів.

(2) Площею отвору під один кріпильний виріб, яку потрібно відняти (від'ємником) для розрахунку характеристик перерізу нетто, рекомендовано приймати площу поперечного перерізу цього отвору у площині його осі. Для отворів під потайні головки болтів рекомендовано також передбачити відповідні поправки на потаємну частину.

(3) Якщо отвори для кріпильних виробів розташовані не у шаховому порядку, то загальна площа, яку рекомендовано відняти від площі бруто перерізу, дорівнює максимальній сумі площ перерізів отворів у будь-якій площині перерізу, перпендикулярній до осі елемента (див. площину руйнування 1 на рисунку 8.7).

Примітка. Вказана максимальна сумарна площа перерізу отворів визначає розташування критичної лінії руйнування.

(4) Якщо отвори для кріплення розташовані у шаховому порядку,

загальна площа, яку потрібно відняти від площі перерізу бруто для їх урахування, має дорівнювати більшій з двох наступних величин а) чи б) (Рисунок 8.7):

а) від'ємник для отворів, розташованих не в шаховому порядку, з параграфу (3)

б) від'ємник, прийнятий як $\Sigma t d_0 - \Sigma t b_s$, де b_s — менше зі значень за формулою (8.18):

$$s^2/4p \text{ або } 0,65s, \quad (8.18)$$

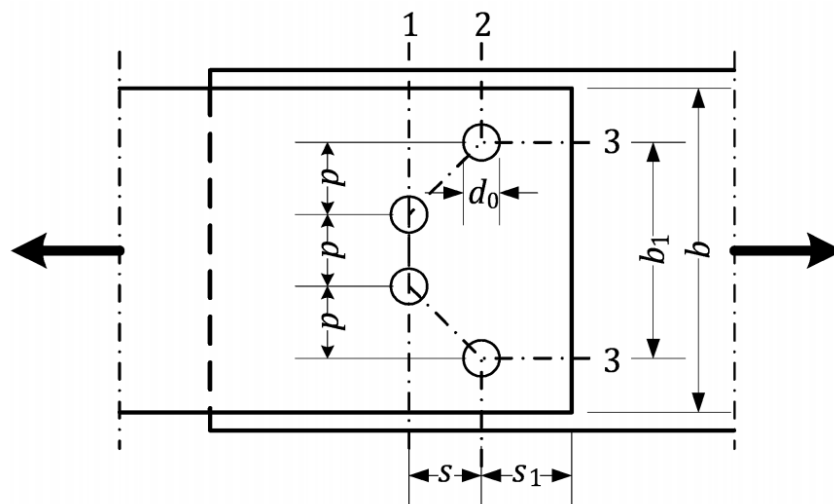
де

d_0 — діаметр отвору;

s — розташування у шаховому порядку, відстань між центрами двох сусідніх отворів у ряді, виміряна паралельно осі елемента;

p — відстань між центрами цих же отворів, виміряна перпендикулярно до осі елемента;

t — товщина (або ефективна товщина в елементі із зоною термічного впливу);



$$A_{\text{net}} = \min$$

$$t(b - 2d_0) \quad \text{лінія 1-1}$$

$$t(b - 4d_0 + 2s^2/4p) \quad \text{лінія 2-2}$$

$$t(b_1 + 2s_1 - 4d_0 + 2s^2/4p) \quad \text{лінія 3-3}$$

Рисунок 8.7 — Отвори, розташовані у шаховому порядку та критичні лінії руйнування 1, 2 і 3 для 4 отворів, наприклад

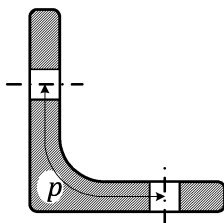


Рисунок 8.8 — Кутики з отворами в обох полицях

(5) У кутиках або інших елементах, що мають отвори у кількох площинах, відстань p рекомендовано вимірювати вздовж центра товщини матеріалу (рисунок 8.8).

8.2.2.3 Ефекти запізнення зсуву

Рекомендовано враховувати вплив ефекту запізнення зсуву полиць на їх здатність опиратися втраті стійкості та розриву.

Примітка. Рекомендації щодо ефекту запізнення зсуву наведено у додатку J.

8.2.3 Розтяг

(1) Розрахункове значення розтягувальної сили N_{Ed} має відповідати формулі (8.19):

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1,0 \quad (8.19)$$

Примітка. Для зміщення рівнодійного значення $N_{t,Rd}$ вбік із центру ваги, див. 8.2.1(5).

(2) Розрахунковий опір розтягуванню поперечного перерізу $N_{t,Rd}$, рекомендовано приймати як менше зі значень $N_{o,Rd}$, $N_{net,Rd}$ та $N_{u,Rd}$, заданих формулами (8.20), (8.21) та (8.22):

а) пластична деформація вздовж елемента:

$$N_{o,Rd} = A_{eff}f_o/\gamma_{M1} \quad (8.20)$$

б) відмова у випадку місцевого зменшення поперечного перерізу, див. 8.2.2.2:

$$N_{net,Rd} = 0,9A_{net}f_u/\gamma_{M2} \quad (8.21)$$

с) відмова на ділянці з поперечним зварним швом:

$$N_{u,Rd} = A_{u,eff} f_u / \gamma_{M2}, \quad (8.22)$$

де

A_{eff} — ефективна площа перерізу, обчислена на основі приведеної товщини з урахуванням знеміцнення матеріалу у зоні термічного впливу з $\rho_{o,haz}$, обумовлена поздовжніми зварними швами та без урахування отворів;

A_{net} — площа перерізу нетто за виключенням площ отворів та, за необхідності, площі знеміцнення матеріалу в зоні термічного впливу $\rho_{u,haz}$ (див. 8.2.2.2). Для отворів, розташованих у зонах приведеної товщини, від'ємник можна обчислювати на основі приведеної, а не повної товщини;

$A_{u,eff}$ — ефективна площа перерізу, обчислена на основі приведеної товщини, заданої $\rho_{u,haz} t$;

f_o і f_u — характеристичні значення 0,2 % умовної границі текучості та границі міцності, див. 8.1.2.

(3) Кутики, з'єднані однією полицею рекомендовано розраховувати згідно 10.5.2.3. Аналогічні міркування рекомендовано застосовувати до інших типів перерізів, у яких елементи з'єднані через консольні виступи, таких як таври або швелери.

Примітка. Для отворів, розташованих у шаховому порядку, див. 8.2.2.2.

8.2.4 Стиск

(1) Розрахункове значення стискувальної сили N_{Ed} має відповідати формулі (8.23):

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1,0 \quad (8.23)$$

Примітка. Для зміщення рівнодійного значення $N_{c,Rd}$ вбік із центру ваги, див. 8.2.1(5).

(2) Розрахунковий опір рівномірному стиску $N_{c,Rd}$, рекомендовано приймати як менший з $N_{o,Rd}$, $N_{net,Rd}$ і $N_{u,Rd}$, заданих формулами (8.24), (8.25) і (8.26) де:

а) пластична деформація вздовж елемента:

$$N_{o,Rd} = A_{eff}f_o/\gamma_{M1} \quad (8.24)$$

б) відмова на ділянці місцевого зменшення поперечного перерізу:

$$N_{net,Rd} = A_{net}f_u/\gamma_{M2} \quad (8.25)$$

с) відмова на ділянці з поперечним зварним швом:

$$N_{u,Rd} = A_{u,eff}f_u/\gamma_{M2} \quad (8.26),$$

де

A_{eff} — ефективна площа перерізу, обчислена на основі приведеної товщини з урахуванням втрати стійкості та знеміцнення матеріалу зони термічного впливу з $\rho_{o,haz}$, обумовлена поздовжніми зварними швами та без урахування отворів;

A_{net} — площа перерізу нетто згідно з 8.2.2.2, за виключенням площ на незаповнених отворів та, за необхідності, площі знеміцнення матеріалу у зоні термічного впливу з $\rho_{u,haz}t$ (див. 8.2.2.2). Для отворів, розташованих у зонах приведеної товщини, від'ємник можна обчислювати на основі приведеної, а не повної товщини;

$A_{u,eff}$ — ефективна площа перерізу, обчислена на основі приведеної товщини $\rho_{u,haz}t$ або на основі приведеної товщини r_{std} для частин класу 4 залежно від того, що менше;

f_o і f_u — характеристичні значення 0,2 % умовної границі текучості та границі міцності, див. 8.1.2.

8.2.5 Згинальний момент

8.2.5.1 Загальні положення

(1) Розрахункове значення згинального моменту M_{Ed} в кожному поперечному перерізі має відповідати формулі (8.27):

$$M_{Ed}/M_{Rd} \leq 1,0 \quad (8.27)$$

(2) Розрахунковий опір згину навколо однієї головної осі поперечного перерізу M_{Rd} , рекомендовано прийняти як менше із значень $M_{o,Rd}$, $M_{net,Rd}$ та $M_{u,Rd}$ згідно з формулами (8.28), (8.29) і (8.30), в яких

а) деформація поперечного перерізу:

$$M_{o,Rd} = \alpha W_{el} f_o / \gamma_{M1} \quad (8.28)$$

б) відмова на ділянці місцевого зменшення поперечного перерізу:

$$M_{net,Rd} = \max(W_{net} f_u / \gamma_{M2}, W_{pl,net} f_o / \gamma_{M1}) \quad (8.29)$$

с) відмова на ділянці з поперечним зварним швом:

$$M_{u,Rd} = W_{u,eff} f_u / \gamma_{M2}, \quad (8.30)$$

де

α — коефіцієнт форми перерізу, див. таблицю 8.4. Якщо для поперечних перерізів класів 1, 2 і 3 застосовано пружний розрахунок, значення $\alpha = 1$ ($\alpha = W_{el,haz}/W_{el}$ для елементів з поздовжніми зварними швами) дозволено прийняти як консервативне. Якщо значення α більше 1 і менше коефіцієнта форми перерізу, частини поперечного перерізу як і раніше залишаються пружними. Для класів перерізів 1, 2 і 3 консервативним підходом буде використовувати такі значення α .

W_{el} — модуль пружності перерізу бруто;

W_{net} — модуль пружності перерізу нетто з урахуванням отворів і розм'якшення зони термічного впливу під час зварювання (див. 8.2.5.2). Останній від'ємник обчислюють на основі приведеної товщини $\rho_{u,haz} t$;

$W_{pl,net}$ — модуль пластичності перерізу нетто з урахуванням отворів і знеміцнення зони термічного впливу під час зварювання (див. 8.2.5.2).

$W_{u,eff}$ — ефективний момент опору, отриманий з використанням приведеної товщини, $\rho_c t$ для частин перерізів 4-го класу або приведеної товщини $\rho_{u,haz} t$ для матеріалу зони термічного впливу залежно від того, яка величина менша;

f_o і f_u — характеристичні значення 0,2 % умовної границі текучості та границі міцності, див. 8.1.2.

Таблиця 8.4 — Значення коефіцієнта форми α

Клас поперечного перерізу	Без зварних швів	За наявності поздовжніх зварних швів
1	W_{pl}/W_{el}	$W_{pl,haz}/W_{el}$
2	W_{pl}/W_{el}	$W_{pl,haz}/W_{el}$
3	$\alpha_{3,u}$	$\alpha_{3,w}$
4	W_{eff}/W_{el}	$W_{eff,haz}/W_{el}$
Примітка. Дані формули для поперечних перерізів класу 1 дають результати з запасом. За більш точними даними для поперечних перерізів з $W_{pl}/W_{el} \leq 1,60$, потрібно звертатися до додатка Н.		

У таблиці 8.4 різні моменти опору перерізів W і $\alpha_{3,u}$ та $\alpha_{3,w}$ встановлено як:

W_{pl} — пластичний момент опору поперечного перерізу брутто;

W_{eff} — ефективний пружний момент опору, отриманий з використанням приведеної товщини t_{eff} для частин класу 4 (див. 8.2.5.2);

$W_{el,haz}$ — ефективний пружний момент опору поперечного перерізу брутто, отриманий з використанням приведеної товщини $\rho_{o,haz}t$ для матеріалу зони термічного впливу (див. 8.2.5.2);

$W_{pl,haz}$ — ефективний пластичний момент опору поперечного перерізу брутто, отриманий з використанням приведеної товщини $\rho_{o,haz}t$ для матеріалу зони термічного впливу (див. 8.2.5.2);

$W_{eff,haz}$ — ефективний пружний момент опору, отриманий з використанням приведеної товщини ρ_{ct} для частин перерізів 4-го класу або приведеної товщини $\rho_{o,haz}t$ для матеріалу зони термічного впливу залежно від того, яка величина менша (див. 8.2.5.2).

Визначення $W_{el,haz}$, $W_{pl,haz}$ та $W_{eff,haz}$ застосовні, якщо напружений стан і понижувальний коефіцієнт $\rho_{o,haz}$ постійні по товщині t . В інших

випадках площу в зоні термічного впливу потрібно зменшити з використанням $\rho_{0,haz}$ в якості вагового коефіцієнта перед обчисленням $W_{el,haz}$, і $W_{pl,haz}$ з дотриманням звичайних процедур.

$\alpha_{3,u} = 1$ або альтернативно може бути прийнятий згідно з формулою (8.31):

$$\alpha_{3,u} = \left[1 + \left(\frac{\beta_3 - \beta}{\beta_3 - \beta_2} \right) \left(\frac{W_{pl}}{W_{el}} - 1 \right) \right] \quad \beta_2 < \beta \leq \beta_3 \quad (8.31)$$

$\alpha_{3,w} = W_{el,haz}/W_{el}$ або альтернативно можуть бути прийняті згідно з формулою (8.32):

$$\alpha_{3,w} = \left[\frac{W_{el,haz}}{W_{el}} + \left(\frac{\beta_3 - \beta}{\beta_3 - \beta_2} \right) \left(\frac{W_{pl,haz} - W_{el,haz}}{W_{el}} \right) \right] \quad \beta_2 < \beta \leq \beta_3 \quad (8.32)$$

де

β — показник гнучкості для найбільш критичної частини перерізу;

β_2 і β_3 — граничні значення для цієї ж ділянки згідно з таблицею 8.2.

Критичну ділянку рекомендовано визначати за найменшим значенням $(\beta_3 - \beta)/(\beta_3 - \beta_2)$.

(4) 8.2.8 рекомендовано застосовувати для спільної дії згинального моменту і зсувного зусилля.

(5) Рекомендовано виконати перевірку опору елемента втраті стійкості за поперечно-крутильною формою, див. 8.3.2

8.2.5.2 Розрахунковий переріз

(1) У цьому розділі використано наступну термінологію:

а) площа перерізу нетто враховує від'ємники для отворів, а також для зон зниження міцності матеріалу у безпосередній близькості до зварних швів, для врахування знеміцнення зони термічного впливу за наявності зварювання;

б) ефективна площа перерізу враховує поправки на знеміцнення зони термічного впливу і місцеву втрату стійкості, проте не враховує поправки на отвори (див. рисунок 8.9).

(2) У вищенаведених пунктах а) і б) параграфу (1) поправки на

знеміцнення матеріалу в різних частинах перерізу рекомендовано приймати так:

а) Для частин 4 класу, в яких відсутні ефекти зони термічного впливу, значення $t_{\text{eff}} = \rho_c t$ рекомендовано приймати для стиснутого фрагмента частини поперечного перерізу, де ρ_c визначають як зазначено у 8.1.5. У випадку використання ефективної площі перерізу може знадобитися застосування ітерації. Для зварних двотаврових балок див. 8.8

б) Для частин 1, 2 або 3 класу, у яких мають місце ефекти зони термічного впливу, значення $\rho_{o,haz} t$ рекомендовано приймати для фрагментів частин перерізу з ослабленим матеріалом, де $\rho_{o,haz}$ та розміри знеміщеної ділянки наведено у 8.1.6.2 та 8.1.6.3.

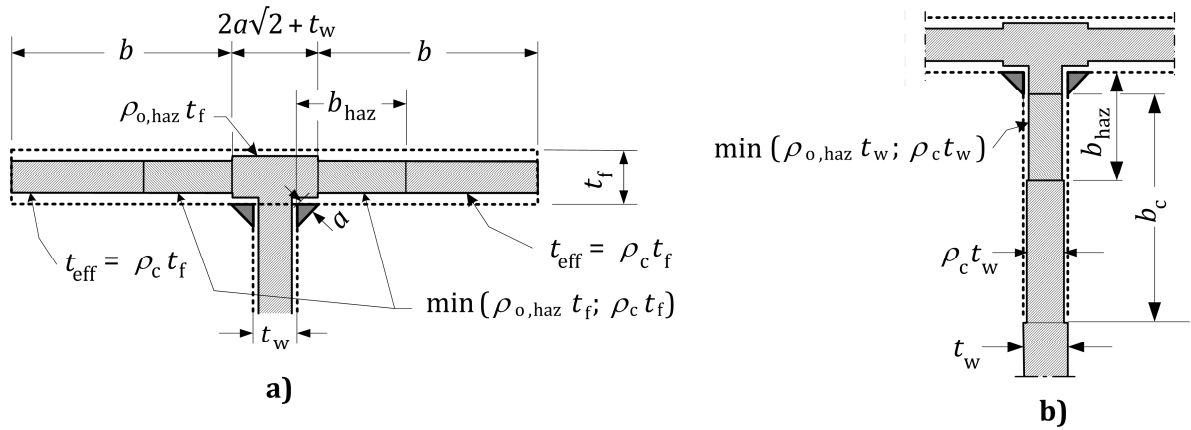
с) Для частин 4 класу, з ефектами зони термічного впливу, ефективну товщину рекомендовано приймати як менше з двох наступних значень: перше відповідає приведеній товщині t_{eff} , друге відповідає приведеній товщині знеміщеної частини $\rho_{o,haz} t$, і як t_{eff} для решти стиснутого фрагменту поперечного перерізу (див. Рисунок 8.9). На ділянці з поперечним зварним швом $\rho_{o,haz} t$ потрібно замінити на $\rho_{u,haz} t$.

д) У разі наявності підкріплених частин поперечного перерізу (див. 8.1.4.3(2)), ρ_c рекомендовано застосовувати до області підкріплення так само, як і до основної товщини пластини.

е) Для зварних частин перерізів класу 3 або 4 дозволено взяти більш вигідну припущену товщину:

— знеміцнення зони термічного впливу не враховують для будь-якого матеріалу на відстані, меншій ніж $\rho_{o,haz} z_1$ від пружної нейтральної осі перерізу бруто, де z_1 — відстань від неї до найбільш віддалених крайніх волокон перерізу;

— для матеріалу зони термічного впливу, на відстані $z (> \rho_{o,haz} z_1)$ від нейтральної осі, величину $\rho_{o,haz}$ дозволено замінити значенням ρ_{zy} обчисленим як $\rho_{zy} = \rho_{o,haz} + 1 - z/z_1$.



Умовні позначки:

a) полиця;

b) стиснена стінка балки.

Рисунок 8.9 — Ефективна товщина у перерізі класу 4 за наявності зварних швів

8.2.6 Зсув

(1) Розрахункове значення зсувного зусилля V_{Ed} , у будь-якому поперечному перерізі має задовольняти формулу(8.33):

$$V_{Ed}/V_{Rd} \leq 1,0 \quad (8.33)$$

де

V_{Rd} — розрахунковий опір зсуву поперечного перерізу.

(2) Для нетонкостінних перерізів $h_w/t_w < 39\varepsilon$ згідно з 8.6.5, V_{Rd} рекомендовано приймати як наведено у формулі (8.34):

$$V_{Rd} = A_v \frac{f_0}{\sqrt{3}\gamma_{M1}} \quad (8.34)$$

де

A_v — є площею зсуву, яку обчислюють за формулами (8.35) і (8.36) у

a) та b):

a) Для перерізів зі стінками, що працюють на зсув:

$$A_v = \sum_{i=1}^n \left[(h_w - \sum d_0) (t_w)_i - (1 - \rho_{o,haz}) b_{haz} (t_w)_i \right], \quad (8.35)$$

де

h_w — висота стінки між полицями;

b_{haz} — повна висота матеріалу зони термічного впливу між габаритами стінки в проміжку між полицями. Для перерізів, що не мають зварних швів, значення $\rho_{0,\text{haz}} = 1$. Якщо зона термічного впливу простирається на всю висоту панелі стінки балки, $b_{\text{haz}} = h_w - \sum d_0$;

t_w — товщина стінки;

d_0 — діаметр отворів уздовж площини зсуву;

n — кількість стінок;

b) Для суцільних стрижнів і круглих труб:

$$A_v = \eta_v A_e \quad (8.36)$$

де

η_v — для суцільного стрижня дорівнює 0,8 і для круглої труби дорівнює 0,6;

A_e — повна площа перерізу у перерізі без зварних швів або ефективна площа перерізу, отримана із застосуванням приведеної товщини $\rho_{0,\text{haz}} t$ для матеріалу зони термічного впливу зварного профілю.

Примітка. Рекомендовані формули площі зсуву для інших типів перерізів наведено у G.9.

(3) Для гнучких і підкріплених стінок V_{Rd} рекомендовано обчислювати за 8.8.4 — 8.8.6.

(4) У випадку спільної дії зсувного зусилля та крутного моменту, розрахунковий опір зсуву V_{Rd} має бути зменшено, як зазначено в пункті 8.2.7(7).

8.2.7 Кручення

(1) Сумарний крутний момент T_{Ed} у будь-якому поперечному перерізі рекомендовано представляти як суму двох внутрішніх чинників, заданих формулою (8.37):

$$T_{\text{Ed}} = T_{\text{t,Ed}} + T_{\text{w,Ed}} \quad (8.37)$$

де

$T_{t,Ed}$ — розрахункове значення внутрішнього крутного моменту за Сен-Венаном;

$T_{w,Ed}$ — розрахункове значення внутрішнього крутного депланаційного моменту.

(2) Значення $T_{t,Ed}$ і $T_{w,Ed}$ у будь-якому поперечному перерізі дозволено визначати за допомогою сумарного моменту T_{Ed} , з пружного розрахунку, знаючи характеристики перерізу елемента, умови затиснення в опорах і розподіл дій вздовж елемента.

(3) Для пружного розрахунку елементів, що знаходяться під дією крутного моменту, дозволено застосовувати критерій, зазначений в пункті 8.2.1(4), якщо деформаціями при вигині можна знехтувати. Рекомендовано врахувати наступні напруження, обумовлені крученням:

- нормальні напруження, $\sigma_{w,Ed}$, обумовлені бімоментом B_{Ed} ;
- зсувні напруження, $\tau_{t,Ed}$, обумовлені крутним моментом за Сен-Венаном $T_{t,Ed}$;
- зсувні напруження, $\tau_{w,Ed}$, обумовлені моментом депланаційного кручення $T_{w,Ed}$.

Примітка. Константи характеристик поперечного перерізу наведено в додатку G.

(4) Для відкритих профілів зсувними напруженнями $\tau_{t,Ed}$, обумовленими крутним моментом за Сен-Венаном $T_{t,Ed}$, можна знехтувати.

(5) Крутий вплив бімоменту B_{Ed} дозволено отримати з пружного розрахунку, див. параграф (2), під час визначення сумарного опору поперечного перерізу вигину і крутного моменту.

(6) Для симетричних двотаврових поперечних перерізів під дією згину відносно основної осі із максимальним моментом інерції, розрахунковий опір згинальному моменту $M_{y,o,B,Rd}$, зменшений на бімомент B_{Ed} , дозволено приймати згідно з формулою (8.38):

$$M_{y,o,B,Rd} = \left(1 - \frac{B_{Ed}}{B_{Rd}}\right)^{\frac{1}{\gamma_B}} M_{y,Rd} \quad (8.38)$$

де

$M_{y,Ed}$ — розрахунковий момент для згину відносно осі у-у;

$M_{y,Rd}$ — розрахунковий момент опору згідно з 8.2.5 для вигину відносно осі у-у;

B_{Ed} — розрахунковий бімомент, обумовлений крученням;

$B_{Rd} = \alpha_z h_t t_f b_f^2 f_o / (6\gamma_1)$ — розрахунковий опір бімоменту

де

α_z — коефіцієнти форми для згину відносно осі z-z згідно з 8.2.5.1;

$\gamma_B = \alpha_z^2$ але $1 \leq \gamma_B \leq 2$

(7) Якщо крутний момент діє спільно із зусиллям зсуву, опір зсуву має бути зменшено з V_{Rd} до $V_{T,Rd}$, а розрахункове зусилля зсуву повинно задовольняти формулу (8.39):

$$\frac{V_{Ed}}{V_{T,Rd}} \leq 1,0 \quad (8.39)$$

де $V_{T,Rd}$ рекомендовано приймати за формулами (8.40), (8.41) та (8.42):

— для двотаврів:

$$V_{T,Rd} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{t,Ed}}{1,5f_{vo,d}}} V_{Rd}; \quad (8.40)$$

— для швелерів:

$$V_{T,Rd} = \left(\sqrt{1 - \frac{\tau_{t,Ed}}{1,5f_{vo,d}}} - \frac{\tau_{w,Ed}}{f_{vo,d}} \right) V_{Rd}; \quad (8.41)$$

— для порожнистих профілів:

$$V_{T,Rd} = \left(1 - \frac{\tau_{t,Ed}}{f_{vo,d}} \right) V_{Rd}, \quad (8.42)$$

де

$$f_{vo,d} = \frac{f_o}{\sqrt{3}\gamma_{M1}}$$

8.2.8 Одночасний згин і зсув

(1) За наявності зсувного зусилля рекомендовано враховувати її вплив на момент опору.

(2) Якщо зусилля зсуву V_{Ed} менше половини опору зсуву V_{Rd} , його впливом на опір моменту можна знехтувати, за винятком зварних двотаврових балок, де вигин під час зсуву понижує опір перерізу згідно з 8.8.6.

(3) Якщо зусилля зсуву V_{Ed} перевищує половину опору зсуву V_{Ed} , то приведений опір моменту рекомендовано приймати як розрахунковий опір поперечного перерізу, обчислений із використанням приведеної міцності, заданої за формулою (8.43):

$$f_{o,V} = f_o(1 - (2V_{Ed}/V_{Rd} - 1)^2) \quad (8.43)$$

де

V_{Rd} береться із 8.2.6.

(4) Для рівнополічного двотаврового перерізу 1-го або 2-го класу у стані згину результат обчислення приведенного моменту опору $M_{V,Rd}$ рекомендовано приймати за формулою (8.44):

$$M_{V,Rd} = t_f b_f (h - t_f) f_o / \gamma_{M1} + t_w h_w^2 f_{o,V} / (4 \gamma_{M1}), \quad (8.44)$$

де

h — загальна висота перерізу;

h_w — чиста висота між полицями.

(5) У випадку рівнополічного двотаврового перерізу 3-го класу у стані згину результат обчислення $M_{V,Rd}$ рекомендовано брати із формули (8.44), але знаменник 4 у другому члені потрібно замінити на 6.

(6) Для перерізів 4-го класу у стані згину, або таких, що мають ефект знеміцнення зони термічного впливу, див. 8.2.5.

(7) За наявності кручення величину V_{Rd} у формулі (8.43)

рекомендовано замінити на $V_{T,Rd}$, див. 8.2.7, при цьому $f_{o,v} = f_o$ для $V_{Ed} \leq 0,5 V_{T,Rd}$.

(8) Взаємодію згинального моменту та зсувного зусилля рекомендовано перевіряти за 8.8.6.1.

8.2.9 Одночасний згин та осьове зусилля

8.2.9.1 Відкриті перерізи

(1) Для елементів з відкритими перерізами див. 8.3.3.2(1) та (2) з $\chi_y = 1$ та $\chi_z = 1$.

8.2.9.2 Порожнисті та суцільні перерізи

(1) Для елементів з порожнистими та суцільними перерізами див. 8.3.3.2(3) - (6) з χ_y та $\chi_z = 1..2$

8.2.9.3 Елементи, що містять локалізовані зварні шви

(1) Якщо елемент знеміцнено зони термічного впливу у певному місці по довжині, причому знеміцнення простягається по довжині на відстань, не більшу за найменшу ширину елемента, то граничне допустиме напруження має дорівнювати розрахунковій границі міцності $\rho_{u,haz} f_u / \gamma_{M2}$ для зниженої міцності матеріалу, і t_{eff} рекомендовано приймати згідно з формулою (8.45):

$$t_{eff} = \rho_{u,haz} t \quad (8.45)$$

Примітка. Це стосується також і зони термічного впливу біля приварених тимчасових деталей.

(2) Якщо зона знеміцнення простягається у поздовжньому напрямку на відстань, що перевищує найменшу ширину елемента, то граничне допустиме напруження рекомендовано приймати за розрахункову міцність $\rho_{o,haz} f_o / \gamma_{M1}$ для стану текучості матеріалу зі зниженою міцністю, тобто t_{eff} потрібно обчислювати за формулою (8.46):

$$t_{eff} = \rho_{o,haz} t \quad (8.46)$$

8.2.9.4 Альтернативний розрахунок для перерізів 1-го та 2-го класів

(1) Комбінації M_{Ed} та N_{Ed} , що можуть бути сприйняті поперечними перерізами 1-го та 2-го класів без отворів або поперечних зварних швів, дозволено отримувати за умови, що зусилля, яке дорівнює f_o/γ_{M1} передбачено на одній частині перерізу, а зусилля, що дорівнює мінус f_o/γ_{M1} — на іншій частині, причому ці частини розділено прямою лінією (нейтральна вісь). Сумарний момент та сумарне осьове зусилля в цьому напруженому стані будуть комбінацією M_{Ed} та N_{Ed} , яку може сприйняти переріз.

Примітка. Рекомендації наведено у G.10.

8.2.10 Одночасний згин, зсув та осьове зусилля

(1) У випадку спільної дії зсувного та осьового зусиль рекомендовано внести поправку до показника згинального опору перерізу на вплив цих зусиль.

(2) За умови, що розрахункове значення сили зсуву V_{Ed} не перевищує 50% від опору зсуву V_{Rd} , можна знехтувати зменшенням опорів, встановлених для згинальної і осьової сили у 8.2.9, за винятком випадків, коли деформація під час зсуву знижує опір перерізу, див. 8.8.6.

(3) Там, де величина V_{Ed} перевищує 50 % від V_{Rd} розрахунковий опір поперечного перерізу спільній дії моменту і осьового зусилля рекомендовано зменшити, використовуючи приведену границю текучості, як обчислено за формулою (8.47):

$$(1 - \rho_v)f_o \quad (8.47)$$

для площі зсуву, де: ρ_v обчислено за формулою (8.48):

$$\rho_v = (2V_{Ed}/V_{Rd} - 1)^2 \quad (8.48)$$

і V_{Rd} обчислюють за 8.2.6(2).

Примітка. Замість приведеної границі текучості у розрахунку можливо виходити з розрахункової товщини пластини.

8.2.11 Зминання стінки балки

(1) Розрахунок непідкріплених та поздовжньо підкріплених стінок балок, під дією місцевих зусиль, що викликані зосередженими навантаженнями або реакціями, прикладеними до балки, дозволено перевірити згідно з 8.8.5.

(2) Для поперечно підкріпленої стінки балки несний елемент жорсткості має бути 1 або 2 класу перерізу, за умови, що його можливо встановити. Елемент жорсткості дозволено запроєктувати консервативно, виходячи з припущення, що він повністю приймає на себе зусилля без допомоги самої стінки балки. При цьому його потрібно розраховувати як розпірку (див. 8.3.1) на втрату стійкості з площини та локальне зминання, з урахуванням поперечного згину у разі потреби (див. 8.3.2). Див. також 8.8.8.

8.3 Опір елементів втраті стійкості

8.3.1 Елементи у стані стиску

8.3.1.1 Загальні положення

Рекомендовано розглядати такі основні форми втрати стійкості елементів у стані осьового стиску:

- а) згинальна (див. 8.3.1.2 — 8.3.1.4);
- б) крутильна або згинально-крутильна (див. 8.3.1.2 та 8.3.1.5);
- с) місцеве руйнування (див. 8.2.4).

8.3.1.2 Опір втраті стійкості

(1) Стиснутий елемент потрібно перевірити як на згинальну, так і на крутильну втрату стійкості, а також на комбіновану згинально-крутильну, як наведено у формулі (8.49):

$$N_{Ed}/N_{b,Rd} \leq 1,0 , \quad (8.49)$$

де

N_{Ed} — розрахункове значення стискувального зусилля;

$N_{b,Rd}$ — розрахунковий опір втраті стійкості стиснутого елемента.

(2) Розрахунковий опір втраті стійкості стиснутого елемента, $N_{b,Rd}$, рекомендовано приймати як менше зі значень, обчислених за формулами (8.50) і (8.51):

$$N_{b,Rd} = \chi A_{eff} f_o / (\omega_x \gamma_{M1}) \quad (8.50)$$

$N_{b,Rd} = \chi_{haz} A_{u,eff} f_u / (\omega_{x,haz} \gamma_{M2})$ у перерізі з поперечним зварним швом, якщо довжина зони термічного впливу менша за мінімальну ширину перерізу (8.51).

де

χ — понижувальний коефіцієнт для відповідної форми втрати стійкості, наведений у 8.3.1.3; χ_{haz} — понижувальний коефіцієнт, що залежить від $\bar{\lambda}_{haz}$ згідно з 8.3.3.4(3). Для $\bar{\lambda}_{haz}$ рекомендовано застосовувати криві втрати стійкості а, б або с;

A_{eff} — ефективна площа перерізу з урахуванням втрати стійкості та знеміцнення матеріалу зони термічного впливу обумовленими поздовжніми зварними швами. Для втрати стійкості за крутильною або згинально-крутильною формою див. Таблицю 8.6 (для перерізів класів 1, 2 та 3 без поздовжніх зварних швів $A_{eff} = A_g$);

$A_{u,eff}$ — ефективна площа перерізу з урахуванням місцевої втрати стійкості та знеміцнення матеріалу зони термічного впливу згідно з 8.2.4(2);

ω_x — коефіцієнт для врахування розташування розрахункового перерізу на елементі, див. 8.3.3.6. Якщо є лише осьове зусилля, то $\omega_x = 1$;

$\omega_{x,haz}$ — коефіцієнт для врахування розташування локалізованого зварного шва на елементі, див. 8.3.3.4.

(3) Для елементів, що мають локалізоване зменшення поперечного перерізу, наприклад незаповнені болтові отвори або вирізи у полицях, $A_{u,eff}$ — ефективна площа перерізу з урахуванням місцевої втрати стійкості та

зменшення площі нетто згідно з 8.2.4(2) заміною $\rho_{u,haz}$ на A_{net}/A_g для різних частин поперечного перерізу. Якщо локалізоване зменшення поперечного перерізу відбувається ближче до країв прогону, тоді $\omega_{x,haz} = 1/\chi_{haz}$. В противному випадку $\omega_{x,haz}$ рекомендовано приймати так, як зазначено в 8.3.3.5. В межах консервативного підходу дозволено застосовувати $\omega_{x,haz} = 1$.

8.3.1.3 Криві втрати стійкості

(1) У випадку осьового стиску значення χ для заданого значення $\bar{\lambda}$ рекомендовано визначати на основі відповідної кривої стійкості за формулами (8.52) та (8.53):

$$\chi = \frac{1}{\varphi + \sqrt{\varphi^2 - \bar{\lambda}^2}}, \text{ але } \chi \leq 1,0 \quad (8.52)$$

де

$$\varphi = 0,5(1 + \alpha(\bar{\lambda} - \bar{\lambda}_0) + \bar{\lambda}^2)$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{eff} f_0}{N_{cr}}} = \frac{L_{cr}}{i} \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{A_{eff} f_0}{A E}} \quad (8.53)$$

де

α — коефіцієнт недосконалості (див (2));

$\bar{\lambda}_0$ — довжина горизонтальної ділянки кривої втрати стійкості (див (2));

N_{cr} — пружне критичне зусилля для відповідної форми втрати стійкості, на основі показників бруто поперечного перерізу;

Однак для елементів з локалізованими зварними швами застосовний пункт 8.3.3.4, за винятком випадків, коли довжина зони знеміцнення перевищує мінімальну ширину перерізу.

(2) Криві втрати стійкості обумовлені початковою дуговою недосконалістю $L/1000$. Якщо допуск або вимірний вигин перевищує $L/1000$, то елемент рекомендовано перевірити на наявність додаткового згинального моменту, ґрунтуючись на різниці між більшим значенням і $L/1$

000. В якості альтернативи дозволено використовувати криві вигину, обумовлені початковим прогином $L/500$, наведені в додатку V.

(3) Коефіцієнт недосконалості α і довжина горизонтальної ділянки кривих втрати стійкості $\bar{\lambda}_0$, що відповідають кривій втрати стійкості, рекомендовано приймати за таблицею 8.8 у випадку згинальної форми втрати стійкості і, відповідно, з таблиці 8.6 у випадку крутильної або крутильно-згинальної форми.

Примітка. Критичне навантаження для згинально-крутильної форми втрати стійкості, отримана з використанням значень з таблиці 8.6, може бути вище, ніж критичне навантаження для втрати стійкості на згин навколо осі мінімальної жорсткості, отримана за значеннями з таблиці 8.5. Отже, необхідно дослідити обидві форми відмови.

(4) Значення понижувального коефіцієнта χ для відповідної відносної гнучкості $\bar{\lambda}$, дозволено отримати з рисунка 8.10 для згинальної форми втрати стійкості та з рисунка 8.11 для крутильної або крутильно-згинальної форми втрати стійкості.

(5) Для гнучкості $\bar{\lambda} \leq \bar{\lambda}_0$ або для $N_{Ed} \leq \bar{\lambda}_0^2 N_{cr}$ явищами втрати стійкості можна знехтувати і виконувати лише перевірку опору поперечного перерізу.

(6) Для елементів з поздовжніми і поперечними зварними швами рекомендовано використовувати криву для поздовжніх зварних швів.

Таблиця 8.5 — Значення α та $\bar{\lambda}_0$ для крутильної форми втрати стійкості

	Клас втрати стійкості згідно з таблицею 5.3 та 5.4	Крива	α	$\bar{\lambda}_0$
Без зварного шва	A	a	0,18	0,10
	B	b	0,30	0,15
	C	c	0,56	0,14
Поздовжній шов	A	aw	0,36	0,16
	B	bw	0,54	0,22
	C	cw	0,92	0,24

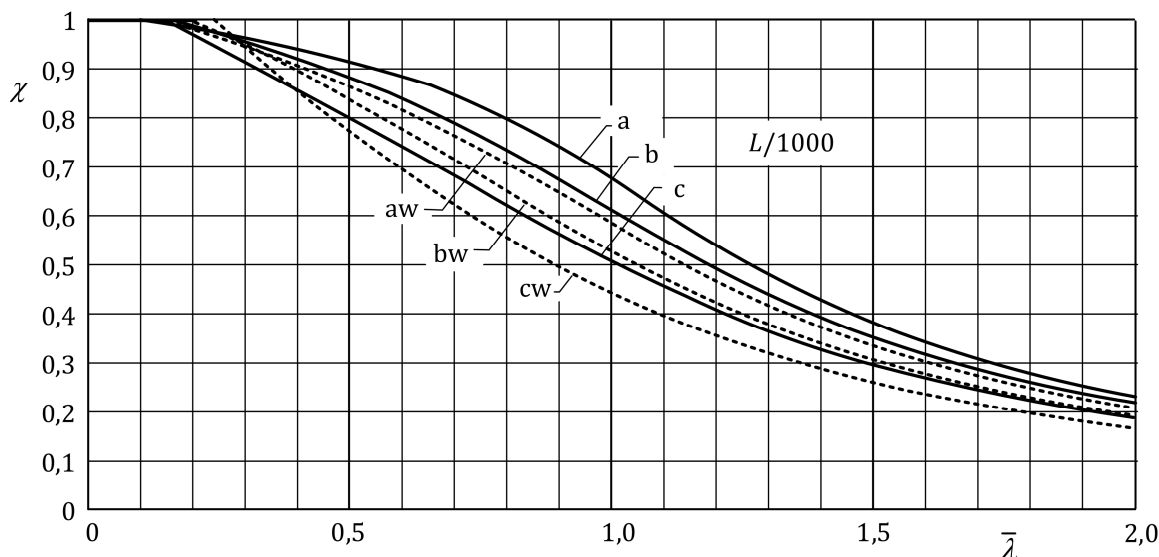


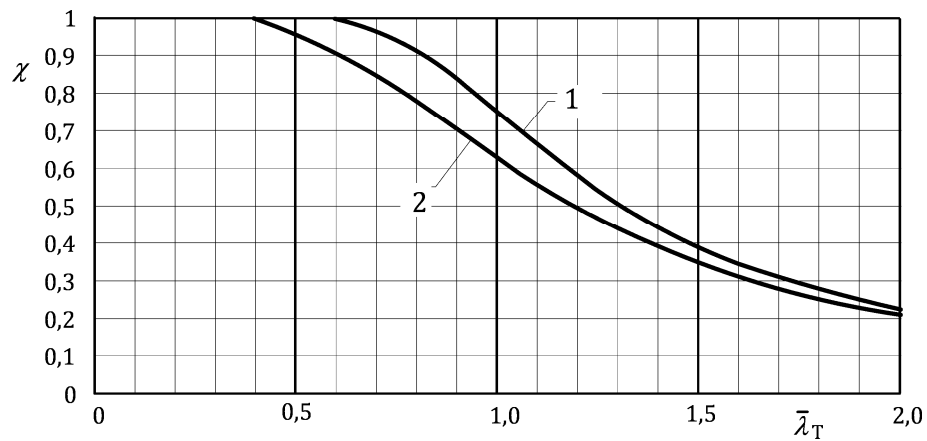
Рисунок 8.10 — Понижувальний коефіцієнт χ для згинальної форми втрати стійкості

Таблиця 8.6 — Значення α , $\bar{\lambda}_0$ та A_{eff} для крутильної та згинально-крутильної форми втрати стійкості

Поперечний переріз	α	$\bar{\lambda}_0$	A_{eff}
Загальний а	0,35	0,4	A_{eff}^a
Складений цілком з консольних фрагментів б	0,20	0,6	A^b

^a Якщо переріз містить підкріплені консольні фрагменти, так що у локальній втраті стійкості критичною є форма 1 (див.8.1.4.3(2)), то даний елемент рекомендовано вважати «загальним», а значення A_{eff} визначати з урахуванням можливості місцевої втрати стійкості та/або матеріалу зони термічного впливу.

^b Для таких видів перерізів, як кутики, таври або хрестоподібні, складені цілком з консольних фрагментів, місцева та крутильна форми втрата стійкості тісно пов'язані. Для визначення A_{eff} , де необхідно, рекомендовано внести поправку на наявність матеріалу зони термічного впливу, а поправки на місцеву втрату стійкості, тобто $\rho_c = 1$ робити не рекомендовано.



Умовні позначки:

- 1 — складений з консольних частин переріз;
- 2 — загальний поперечний переріз.

Рисунок 8.11 — Понижувальний коефіцієнт χ для згинально-крутильної форми втрати стійкості

8.3.1.4 Гнучкість під впливом згинальної форми втрати стійкості

(1) Відносну гнучкість $\bar{\lambda}$ рекомендовано обчислювати за формулою (8.54):

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{\text{eff}} f_o}{N_{\text{cr}}}} = \frac{L_{\text{cr}}}{i} \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{A_{\text{eff}} f_o}{A E}} \quad (8.54)$$

де

L_{cr} — розрахункова довжина у розгляданій площині згину;

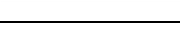
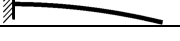
i — радіус інерції відносно відповідної осі, який визначають за характеристиками поперечного перерізу бруто.

(2) Розрахункову довжину L_{cr} , рекомендовано приймати як kL , де L — довжина елемента (прогону жорсткого елемента). Значення коефіцієнту розрахункової довжини для елементів k рекомендовано встановлювати на основі граничних умов закріплення. За відсутності більш точного розрахунку, дозволено використовувати значення k із таблиці 8.7.

(3) Стики і кінцеві з'єднання елементів, що працюють на стиск, рекомендовано проектувати згідно з 10.1.2.

Примітка. Коефіцієнти розрахункової довжини k , наведені у таблиці 8.7, мають більші значення у порівнянні з теоретичними для закріплених кінців, для врахування різних деформацій у з'єднанні між різними конструкційними елементами.

Таблиця 8.7 — Коефіцієнт розрахункової довжини k для елементів

Умови закріплення на кінцях		k
1. Закріплено від повороту та переміщення на обох кінцях		0,7
2. Закріплено від повороту на одному кінці, від переміщення на обох кінцях		0,85
3. Не закріплено від повороту на обох кінцях, закріплено від переміщення на обох кінцях (не має значення)		1,0
4. Закріплено від повороту на обох кінцях, та закріплено від переміщення на одному кінці		1,25
5. Закріплено від повороту та від переміщення на одному кінці, частково закріплено від повороту, але не від переміщення на іншому кінці		1,5
6. Не закріплено від повороту на обох кінцях, та закріплено від переміщення на одному кінці (консоль)		2,1
7. Не закріплено від повороту та закріплено від переміщення на одному кінці і закріплено пружно від повороту та не закріплено від переміщення на другому		$\geq 2,1^a$
^a Залежно від жорсткості на затиснутому кінці.		

8.3.1.5 Гнучкість у разі втрати стійкості за крутильною або згинально-крутильною формою

(1) Для елементів з відкритим поперечним перерізом рекомендовано враховувати можливість того, що опір елемента крутильній або крутильно-згинальній втраті стійкості буде меншим ніж його опір втраті стійкості за згинальною формою.

Можливість втрати стійкості за крутильною або крутильно-згинальною формою дозволено не враховувати для таких перерізів:

- а) порожнисті перерізи
- б) двотаври з двома осями симетрії;
- с) перерізи, складені цілком із консольних частин, наприклад, кутиків, таврів, хрестоподібних, які згідно з пунктом 8.1.4 відносяться до 1-го та 2-го класів .

(2) Відносна гнучкість $\bar{\lambda} = \bar{\lambda}_T$ для крутильної та крутильно-згинальної втрати стійкості рекомендовано визначити за формулою (8.55):

$$\bar{\lambda}_T = \sqrt{\frac{A_{\text{eff}} f_o}{N_{\text{cr}}}} \quad (8.55)$$

де

A_{eff} — площа поперечного перерізу згідно з таблицею 8.6;

N_{cr} — пружне критичне навантаження для крутильної втрати стійкості, з урахуванням -взаємодії зі згинальною втратою стійкості за необхідності (крутильно-згинальна втрата стійкості)

Примітка. Рекомендовані значення N_{cr} та $\bar{\lambda}_T$ наведено у додатку I.

8.3.1.1 Загальні положення

Позацентрово приєднані однопрогонні стиснуті елементи

(1) Якщо кінці елементів закріплені від повороту у площині приєднаної частини і до них не прикладено зовнішніх згинальних зусиль, то замість наведеного у 8.3.3 розрахунку системи у цілому на поздовжньо-поперечний згин, дозволено скористатися спрощеним підходом, наведеним у цьому пункті для проєктування наступних видів позацентрово з'єднаних розпірок:

- а) одиночний кутик, приєднаний однією полицею;
- б) кутики, у яких дві зовнішні грані з'єднані між собою, а дві інші приєднані до фасонки;
- с) одиночний швелер, приєднаний лише стінкою;
- д) одиночний тавр, приєднаний лише полицею.

(2) Якщо виконується перевірка однієї або кількох приєднаних частин на втрату стійкості з площини за згинальною формою згідно з 8.3.1.2, ексцентриситет навантаження не потрібно враховувати, а значення $N_{b,Rd}$ рекомендовано приймати рівним 40 % від величини концентричного навантаження.

(3) Значення $N_{b,Rd}$ для а) у параграфі (1) рекомендовано обчислювати

відносно осі, паралельної до з'єднаної частини (частин). Для крутильної форми втрати стійкості застосовують методику розрахунку з 8.3.1.2 та 8.3.1.5

8.3.1.7 Гнучкість елементів в конструкціях з триангульованих та решітчастих конструкціях

(1) Якщо розрахунком не забезпечено менше значення, розрахункову довжину елемента поясу kL дозволено прийняти рівною $0,9L$ як для втрати стійкості у площині так і поза нею. Геометричну довжину у площині L рекомендовано приймати рівною відстані між вузлами, а за геометричну довжину поза площиною — рівною відстані між бічними опорами.

(2) Для в'язевих елементів (елементів стінки), в місцях, де з'єднання з поясами і самі пояси мають достатню жорсткість (наприклад болтове з'єднання щонайменше за допомогою двох болтів), розрахункову довжину дозволено прийняти рівною $0,9L$ як для втрати стійкості в площині, так і поза нею. Менші значення дозволено використовувати, якщо це підтверджено розрахунком.

(3) Якщо пояси забезпечують достатнє обмеження для виготовлених з кутиків елементів стінки, і з'єднання з поясами має достатню жорсткість (щонайменше два болта з болтовими з'єднаннями), то ексцентриситетами під час розрахунку елементів стінки можна знехтувати, а обмеження дозволено врахувати під час розрахунку на втрату стійкості. Для кутиків без потовщень, ефективну гнучкість λ_{eff} дозволено обчислювати за формулами (8.56), (8.57) та (8.58):

$$\lambda_{v,\text{eff}} = 0,35 + 0,7\lambda_v \text{ — для втрати стійкості навколо осі } v-v \quad (8.56)$$

$$\lambda_{y,\text{eff}} = 0,5 + 0,7\lambda_y \text{ — для втрати стійкості навколо осі } y-y \quad (8.57)$$

$$\lambda_{z,\text{eff}} = 0,5 + 0,7\lambda_z \text{ для втрати стійкості навколо осі } z-z \quad (8.58)$$

(4) Кутики з потовщеннями та кутовими швами рекомендовано перевіряти на згинальна втрата стійкості навколо осі $v-v$ та на згинально-крутильну втрату стійкості. Якщо для з'єднання з поясом використано лише

один болт, то рекомендовано враховувати ексцентриситет згідно з 8.2.9, а розрахункову довжину рекомендовано приймати за геометричну довжину L .

Примітка. Рекомендації щодо гнучкості для поперечно-крутильної втрати стійкості наведено у І.4.

(5) Для решітчатих ферм розрахункова довжина $L_{cr} = kL$ в'язевого елемента порожнистого перерізу без обрізки або сплющування, привареного по периметру до поясів порожнистого перерізу, дозволено прийняти рівною $0,75L$ як для втрати стійкості у площині, так і поза площиною.

8.3.2 Елементи у стані згину

8.3.1.1 Опір втраті стійкості за поперечно-крутильною формою

(1) Втратою стійкості за поперечно-крутильною формою можна знехтувати у будь-якому з наступних випадків:

а) вигин відбувається навколо головної осі мінімального моменту інерції;

б) елемент повністю закріплено від бічного переміщення по всій довжині;

с) Відносна гнучкість для втрати стійкості за поперечно-крутильною формою, $\bar{\lambda}_{LT}$, (див. 8.3.2.3), між точками закріплення від поперечного зміщення не перевищує 0,4,

(2) Незафіксований у поперечному напрямку елементу стані згину відносно головної осі інерції необхідно перевірити на крутильно-згинальну втрату стійкості згідно з формулою (8.59):

$$M_{Ed}/M_{b,Rd} \leq 1,0 \quad (8.59)$$

де

M_{Ed} — розрахункове значення згинального моменту;

$M_{b,Rd}$ — розрахунковий момент опору з урахуванням поперечної

втрати стійкості.

(3) Розрахунковий момент опору втраті стійкості для незакріпленого у поперечному напрямку елемента рекомендовано приймати як менше значення з наведених у формулах (8.60) та (8.61):

$$M_{b,Rd} = \frac{\chi_{LT}}{\omega_{x,LT}} \alpha_i W_{el,y} \frac{f_o}{\gamma_{M1}} \quad (8.60)$$

$$M_{b,Rd} = \frac{\chi_{LT,haz}}{\omega_{x,LT,haz}} W_{u,eff} \frac{f_u}{\gamma_{M2}} \quad (8.61)$$

у перерізі з поперечними зварними швами, якщо зона термічного впливу коротша за мінімальну ширину перерізу,

де

$W_{el,y}$ — момент пружного опору перерізу брутто, без поправок на знеміцнення у зоні термічного впливу, місцеву втрату стійкості та отвори;

α_i приймають за таблицею 8.4 згідно з обмеженням $\alpha_i \leq \frac{W_{pl,y}}{W_{el,y}}$

$W_{u,eff}$ — момент опору з урахуванням місцевої втрати стійкості та знеміцнення зони термічного впливу згідно з 8.2.5.1(2);

χ_{LT} — понижувальний коефіцієнт для втрати стійкості за поперечно-крутильною формою (див. 8.3.2.2);

$\omega_{x,LT,haz}$ — понижувальний коефіцієнт для втрати стійкості за поперечно-крутильною формою, що залежить від $\bar{\lambda}_{LT,haz}$ згідно 8.3.3.4(3);

$\omega_{x,LT}$ — коефіцієнт для врахування розташування розрахункового перерізу на елементі, див. 8.3.3.6. Консервативно дозволено застосовувати $\omega_{x,LT} = 1$.

$\omega_{x,LT,haz}$ — коефіцієнт для врахування розташування локалізованого зварного шва на елементі, див. 8.3.3.4.

(4) Для елементів, що містять локалізоване зменшення поперечного перерізу, наприклад незаповнені отвори для болтів або вирізи у фланцях, $W_{u,eff}$ — ефективний момент опору, що враховує місцеву втрату стійкості та зменшення площі перерізу нетто згідно з 8.2.5.1(2) заміною $\rho_{u,haz}$ на A_{net}/A_g

для різних частини поперечного перерізу. Якщо локалізоване зменшення поперечного перерізу відбувається ближче до країв прогону, тоді $\omega_{x,LT,haz} = 1/\chi_{x,LT,haz}$. В протилежному випадку $\omega_{x,LT,haz}$ рекомендовано приймати так, як зазначено в 8.3.3.5. В межах консервативного підходу дозволено застосовувати $\omega_{x,LT,haz} = 1$.

8.3.2.2 Понижувальний коефіцієнт для втрати стійкості за поперечно-крутильною формою

(1) Понижувальний коефіцієнт для втрати стійкості за поперечно-крутильною формою χ_{LT} рекомендовано визначати за формулами (8.62) та (8.63)

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\varphi_{LT} + \sqrt{\varphi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}}, \text{ але } \chi_{LT} \leq 1 \quad (8.62)$$

$$\varphi_{LT} = 0,5[1 + \alpha_{LT}(\bar{\lambda}_{LT} - \bar{\lambda}_{0,LT}) + \bar{\lambda}_{LT}^2], \quad (8.63)$$

де

α_{LT} — коефіцієнт недосконалості;

$\bar{\lambda}_{LT}$ — відносна гнучкість;

$\bar{\lambda}_{0,LT}$ — довжина горизонтальної ділянки;

M_{cr} — пружний критичний момент для втрати стійкості за поперечно-крутильною формою.

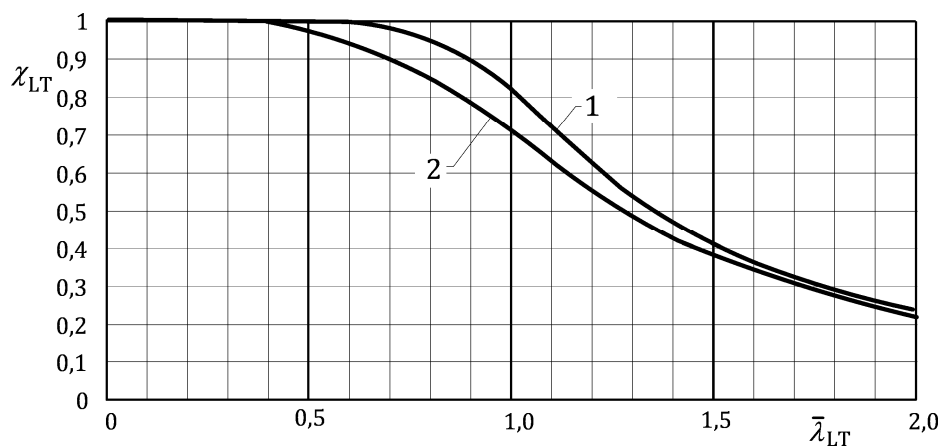
(2) Значення α_{LT} та $\bar{\lambda}_{0,LT}$ рекомендовано приймати наступними:

$\alpha_{LT} = 0,10$ і $\bar{\lambda}_{0,LT} = 0,6$ для перерізів класів 1 і 2;

$\alpha_{LT} = 0,20$ і $\bar{\lambda}_{0,LT} = 0,4$ для перерізів класів 3 і 4.

(3) Значення понижувального коефіцієнта χ_{LT} для заданого $\bar{\lambda}_{LT}$ дозволено обчислити за рисунком 8.12.

(4) Для гнучкості $\bar{\lambda}_{LT} \leq \bar{\lambda}_{0,LT}$ або для $M_{Ed} \leq \bar{\lambda}_{0,LT}^2 M_{cr}$ можливість втрати стійкості дозволено не враховувати і виконувати лише перевірку міцності перерізу.



Умовні позначки:

- 1 Поперечні перерізи класів 1 і 2;
- 2 Поперечні перерізи класів 3 і 4.

Рисунок 8.12 — Понижувальний коефіцієнт для втрати стійкості за поперечно-крутильною формою

8.3.2.3 Гнучкість

(1) Відносну гнучкість $\bar{\lambda}_{LT}$ рекомендовано визначати за формулою (8.64):

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{\alpha_i W_{el,y} f_o}{M_{cr}}} \quad (8.64)$$

однак для елементів з поперечними зварними швами (див. 8.3.3.4), за винятком випадків, коли довжина зони термічного впливу більша за найменшу ширину перерізу, де

α_i — приймають за таблицею 8.4 залежно від обмеження

$$\alpha_i \leq \frac{W_{pl,y}}{W_{el,y}}$$

M_{cr} — пружний критичний момент для втрати стійкості за поперечно-крутильною формою.

(2) M_{cr} рекомендовано обчислювати за характеристиками перерізу бруто з урахуванням умов навантаження, розподілу моментів і закріплень у поперечному напрямку.

Примітка. Формули для обчислення M_{cr} для певних перерізів та граничні умови наведено в додатку І.3. Приблизні значення $\bar{\lambda}_{LT}$ для деяких двотаврів і швелерів наведено у додатку І.4.

8.3.2.4 Закріплення від поперечного зміщення

Системи в'язей, що обмежують можливість поперечного зміщення, рекомендовано розраховувати згідно з рекомендаціями 7.3.3.

Належне обмеження має бути забезпечене кріпленням в'язей до незалежної жорсткої опори, або за допомогою трикутної в'язевої решітки. Щодо кількості паралельних елементів, див. 7.3.

Примітка. Якщо обмеження поперечних переміщень потребують два чи більше паралельних елементів, недостатньо з'єднати в'язями стиснуті полиці, щоб вони стали взаємозалежними.

8.3.3 Елементи у стані згину та осьового стиску

8.3.3.1 Загальні положення

(1) Якщо розрахунок другого порядку виконують з урахуванням недосконалостей, як наведено у 7.3.2, стійкість елементів постійного перерізу рекомендовано перевіряти:

— лише на згинальну втрату стійкості; за умови, що вони не схильні до крутильних деформацій, наприклад, круглі порожнисті перерізи або перерізи, закріплені від кручення;

— на втрату стійкості як за поперечно-крутильною формою так і за згинальною формою, для елементів, схильних до крутильних деформацій, наприклад — з відкритим перерізом, незакріплених від кручення.

(2) Для обчислення опорів N_{Rd} , $M_{y,Rd}$ та $M_{z,Rd}$, рекомендовано належним чином врахувати наявність ослаблених зон термічного впливу вздовж поздовжніх зварних швів (див. 8.2.4 та 8.2.5). Також необхідно враховувати наявність локалізованого знеміцнення від поперечних швів та

від наявності отворів згідно з 8.3.3.4 та, відповідно, 8.3.3.5. Усі величини у розрахунковому критерії рекомендовано вважати додатними.

Примітка 1. Класифікацію перерізів для елементів у стані поздовжньо-поперечного згину потрібно виконувати окремо по кожній зі складових навантаження згідно з 8.1.4. Для комбінованого напруженого стану класифікація не передбачена.

Примітка 2. Поперечний переріз може належати до різних класів за осьовими зусиллями, згином відносно першої та другої головної осей інерції. Комбінований напружений стан враховують за допомогою рівнянь взаємодії. Ці рівняння взаємодії застосовні до усіх класів поперечних перерізів. Вплив місцевої втрати стійкості і текучості на опір комбінованому навантаженню враховують величинами опорів у знаменниках і показниках ступеня, які є функціями показника гнучкості перерізу.

Примітка 3. Перевірку перерізу вже включено до перевірки на втрату стійкості за згинальною та поперечно-крутильною формами, за умови використання методів, наведених у 8.3.3.2 і 8.3.3.6.

8.3.3.2 Згинальна форма втрати стійкості

(1) Елементи із відкритими поперечними перерізами, з двома осями симетрії, мають задовольняти один із критеріїв з наведених у формулах (8.65) та (8.66):

— для згину навколо основної осі з максимальним моментом інерції (вісь у-у):

$$\left(\frac{N_{Ed}}{N_{y,b,Rd}} \right)^{\eta_y} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} \leq 1,00 \quad (8.65)$$

— для згину відносно другої головної осі (вісь z-z):

$$\left(\frac{N_{Ed}}{N_{z,b,Rd}} \right)^{\eta_z} + \left(\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} \right)^{\delta_z} \leq 1,00, \quad (8.66)$$

де застосовні визначення, наведені у параграфі (7) та формулах (8.67) — (8.72):

$\eta_y = 0,8$, або дозволено альтернативно прийняти як

$$\frac{\eta_{y0}\chi_y}{\omega_{x,y}} \geq 0,8 \quad (8.67)$$

$\eta_z = 0,8$, або дозволено альтернативно прийняти як

$$\frac{\eta_{z0}\chi_z}{\omega_{x,z}} \geq 0,8 \quad (8.68)$$

$\delta_z = 1,0$, або дозволено альтернативно прийняти як

$$\frac{\delta_{z0}\chi_z}{\omega_{x,z}} \geq 1,0 \quad (8.69)$$

$\eta_{y0} = 1,0$, або дозволено альтернативно прийняти як

$$1 \leq 2\alpha_y^2 \leq 1,56 \quad (8.70)$$

$\eta_{z0} = 1,0$, або дозволено альтернативно прийняти як

$$1 \leq \alpha_z^2 \leq 1,56 \quad (8.71)$$

$\delta_{z0} = 1,0$, або дозволено альтернативно прийняти як

$$1 \leq \alpha_z^2 \leq 1,56 \quad (8.72)$$

$\omega_{x,y}$ та $\omega_{x,z}$ — коефіцієнти згідно з 8.3.3.6 для осей y та z відповідно. У перерізі з поперечним зварним швом рекомендовано застосовувати $\omega_{x,y,haz}$ та $\omega_{x,z,haz}$.

(2) Критерій (8.66) також дозволено застосовувати до поперечних перерізів з однією віссю симетрії з $\eta_{z0} = \alpha_y^2$ (але $1 \leq \eta_{z0} \leq 2$) і $\eta_{y0} = \beta_{z0} = 1$, де $\alpha_y = \max(\alpha_{y1}, \alpha_{y2})$, див. рисунок 8.13(b), якщо осьове зусилля і згинальний момент дають напруження з тим самим знаком у довшій полиці балки. Якщо осьове зусилля і згинальний момент дають напруження одного знака у коротшій полиці балки, то $\alpha_y = \min(\alpha_{y1}, \alpha_{y2})$.

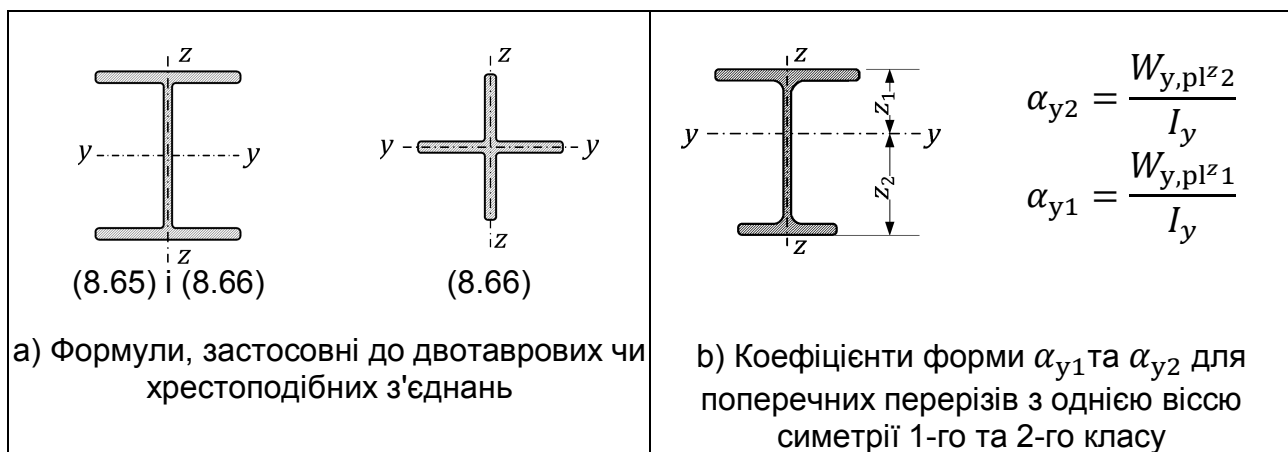


Рисунок 8.13 — Рівняння для двотаврових та хрестоподібних перерізів

(3) Порожністі поперечні перерізи та труби мають задовільняти умови, наведені у формулах (8.73) і (8.74):

$$\left(\frac{N_{Ed}}{N_{y,b,Rd}} \right)^{\psi_{cy}} + \left[\left(\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} \right)^{1,7} + \left(\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} \right)^{1,7/\chi_y^2} \right]^{0,588} \leq 1,00 \quad (8.73)$$

$$\left(\frac{N_{Ed}}{N_{z,b,Rd}} \right)^{\psi_{cz}} + \left[\left(\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} \right)^{1,7/\chi_z^2} + \left(\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} \right)^{1,7} \right]^{0,588} \leq 1,00, \quad (8.74)$$

де визначення наведено у параграфі (7).

(4) Для прямокутних і квадратних порожнистих профілів:

$$\psi_{cy} = \frac{\psi_0 \chi_y}{\omega_{x,y}}, \text{ але } \psi_{cy} \geq 0,8 \text{ і } \psi_{cz} = \frac{\psi_0 \chi_z}{\omega_{x,z}}, \text{ але } \psi_{cz} \geq 0,8, \text{ де } \psi_0 = 1 \leq \alpha_y \alpha_z \leq 1,3$$

(5) Для круглих порожнистих профілів $\psi_c = 1,75\chi$ для поперечних перерізів класів 1 і 2 та $\psi_c = \chi$ для поперечних перерізів класів 3 і 4, або замість вищевказаних значень для всіх класів поперечних перерізів ψ_c дозволено приймати як $\alpha^{2,4}\chi$, але $1 \leq \psi_c \leq 1,75$, де α встановлено у параграфі (7). Показники 1,7 та 0,588 рекомендовано замінити на 2,0 та 0,5 відповідно.

(6) Для суцільних квадратних і прямокутних та круглих профілів $\psi_{cy} = 2\chi_y$ і $\psi_{cz} = 2\chi_z$, але $\psi_{cy} \geq 0,8$ і $\psi_{cz} \geq 0,8$.

(7) Позначення у (8.65) — (8.74):

N_{Ed} — розрахункове значення осевого стискувального зусилля;

$M_{y,Ed}$ і $M_{z,Ed}$ — розрахункові значення згинальних моментів відносно осей у-у та z-z, згідно з теорією першого порядку;

$N_{y,b,Rd}$ і $N_{z,b,Rd}$ — розрахунковий опір втраті стійкості під дією осьового зусилля відносно осей у-у і z-z, згідно з 8.3.1;

$M_{y,Rd}$ і $M_{z,Rd}$ — розрахунковий опір втраті стійкості під дією згинального моменту відносно осей у-у і z-z, згідно з 8.2.5;

α_y і α_z — коефіцієнти форми для вигину по осях у-у і z-z згідно з 8.5.2.1;

α — коефіцієнт форми для круглих поперечних перерізів;

χ_y і χ_z — понижувальні коефіцієнти для втрати стійкості по осях у-у та z-z.

8.3.3.3 Поперечно-крутильна втрата стійкості

(1) Елементи з відкритим поперечним перерізом, симетричні відносно осі із максимальним моментом інерції, з однією або двома осями симетрії, мають відповідати умові, наведеній у формулі (8.75):

$$\left(\frac{N_{Ed}}{N_{z,b,Rd}} \right)^{\eta_z} + \left(\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,b,Rd}} \right)^{\beta_z} + \left(\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} \right)^{\delta_z} \leq 1,00 \quad (8.75)$$

N_{Ed} — розрахункове значення осьового стискувального зусилля;

$M_{y,Ed}$ — розрахункове значення згинального моменту навколо осі у-у. У випадку балки-колони з шарнірно закріпленими кінцями, або елементів рам з незміщуваними вузлами, $M_{y,Ed}$ — момент першого порядку. Для елементів рам зі зміщуваними вузлами $M_{y,Ed}$ — момент другого порядку.

$M_{z,Ed}$ — розрахункове значення згинального моменту першого порядку відносно осі z-z;

$N_{z,b,Rd}$ — розрахункове значення опору втраті стійкості осьового зусилля z-z;

$M_{y,b,Rd}$ — розрахунковий опір втраті стійкості за поперечно-крутильною формою згідно 8.3.2;

$M_{z,Rd}$ — розрахункове значення опору згинального моменту згідно з 8.2.5;

$$\eta_{z0} = 0,8, \text{ або, як альтернатива } \frac{\eta_{z0}\chi_z}{\omega_{x,z}} \geq 0,8 ;$$

$$\beta_z = \delta_{z0};$$

$$\delta_z = 0,8, \text{ або, як альтернатива } \frac{\delta_{z0}\chi_z}{\omega_{x,z}} \geq 0,8 .$$

де η_{z0} і δ_{z0} визначено згідно з 8.3.3.2.

χ_z — понижувальний коефіцієнт для згинальної та -крутильно-згинальної втрати стійкості навколо осі z-z, за необхідності;

$\omega_{x,z}$ — коефіцієнт урахування втрати стійкості навколо осі z, згідно з

8.3.3.6 У перерізі з поперечним зварним швом рекомендовано застосовувати $\omega_{x,z,haz}$.

(2) Для елементів з перерізами, відмінними від наведених у параграфі (1), див. додаток I.

(3) Рекомендовано також задовольнити критерій для згинальної втрати стійкості відповідно 8.3.3.2.

8.3.3.4 Елементи, що містять локалізовані зварні шви

(1) Як правило, міцність зони термічного впливу в перерізі з локалізованими поперечними зварними швами має залежати від граничної міцності знеміцненого матеріалу зони термічного впливу, якщо таке знеміцнення локалізовано по довжині. Рекомендовано перевірити найбільш несприятливий переріз розгляданого прогону. Понижувальний коефіцієнт дозволено приймати за формулою (8.76).

$$\omega_{x,haz} = 1 \text{ і } \omega_{x,LT,haz} = 1 \quad (8.76)$$

(2) У випадку знеміцнення зони термічного впливу у безпосередній близькості до кінців прогону чи лише до точки згину, $\omega_{x,haz}$ і $\omega_{x,LT,haz}$ дозволено збільшити під час перевірки згинальної та поперечно-крутильної форми втрати стійкості, за умови, що зона знеміцнення не простягається

вздовж елемента на відстань більшу ніж мінімальна ширина (наприклад, ширина полиці) перерізу. Довжина зони знеміцнення не має включати ділянки зі збільшеним поперечним перерізом (A-A на рис. 8.14).

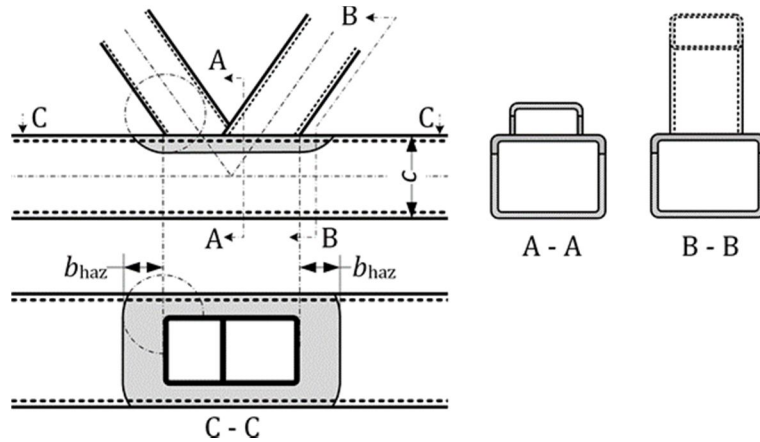


Рисунок 8.14 — Приклад довжини ефективної знеміцненої ділянки
($= 2b_{\text{haz}}$) і найменшого розміру елемента (с)

(4) Якщо довжина знеміцненої ділянки по довжині елемента перевищує мінімальну ширину перерізу (наприклад, ширину полиці), то опір місцевому руйнуванню рекомендовано замінити опором для стану текучості матеріалу, де f_u замінюють на f_o , а γ_{M2} на γ_{M1} і застосовують формули (8.77) і (8.78):

$$\omega_{x,\text{haz}} = \chi_{\text{haz}} + (1 - \chi_{\text{haz}}) \sin \frac{\pi \chi_{s,\text{haz}}}{L_{\text{cr}}} \quad (8.77)$$

$$\omega_{xLT,\text{haz}} = \chi_{LT,\text{haz}} + (1 - \chi_{LT,\text{haz}}) \sin \frac{\pi \chi_{s,\text{haz}}}{L_{\text{cr}}}, \quad (8.78)$$

де

$\chi_{\text{haz}} = \chi_{y,\text{haz}}$ або $\chi_{z,\text{haz}}$ залежно від напрямку втрати стійкості;

$\chi_{LT,\text{haz}}$ — понижувальний коефіцієнт для поперечно-крутильної форми втрати стійкості балки — колони у стані згину;

$\chi_{s,\text{haz}}$ — відстань від локалізованого зварного шва до опори або до точки перегину на кривій прогину для випадку втраті стійкості під дією лише осової сили, див. рисунок 8.15;

L_{cr} — розрахункова довжина, див. приклад на рисунку 8.15.

(3) Обчислення χ_{haz} ($\chi_{y,\text{haz}}$ або $\chi_{z,\text{haz}}$) і $\chi_{LT,\text{haz}}$ у розрахунковому

перерізі з локалізованим зварним швом має базуватися на границі міцності матеріалу, що зазнав термічного впливу, для гнучкості, обчисленої за формулами (8.79) та (8.80):

$$\bar{\lambda}_{\text{haz}} = \sqrt{\frac{A_{\text{u,eff}} f_u \gamma_{\text{M1}}}{N_{\text{cr}} \gamma_{\text{M2}}}} = \bar{\lambda} \sqrt{\frac{A_{\text{u,eff}} f_u \gamma_{\text{M1}}}{A_{\text{eff}} f_o \gamma_{\text{M2}}}} \quad (8.79)$$

$$\bar{\lambda}_{\text{LT,haz}} = \sqrt{\frac{W_{\text{u,eff}} f_u \gamma_{\text{M1}}}{M_{\text{cr}} \gamma_{\text{M2}}}} = \bar{\lambda}_{\text{LT}} \sqrt{\frac{W_{\text{u,eff}} f_u \gamma_{\text{M1}}}{\alpha W_{\text{el}} f_o \gamma_{\text{M2}}}} \quad (8.80)$$

(4) Якщо довжина знеміцненої зони більша за мінімальну ширину перерізу (наприклад, ширину полиці), то опір місцевому руйнуванню в формулах для $A_{\text{u,eff}}$ і $W_{\text{u,eff}}$ рекомендовано замінювати на опір для стану текучості, що призводить до $A_{\text{u,eff}} = A_{\text{eff}}$, $W_{\text{u,eff}} = \alpha W_{\text{eff}}$, $\bar{\lambda}_{\text{haz}} = \bar{\lambda}$ і $\bar{\lambda}_{\text{LT,haz}} = \bar{\lambda}_{\text{LT}}$.

8.3.3.5 Елементи з локалізованим зменшенням поперечного перерізу

Елементи з локалізованим звуженням поперечного перерізу, наприклад, із болтовими отворами або вирізами у полицях, рекомендовано розраховувати згідно 8.3.3.4 із застосуванням $A_{\text{u,eff}}$ згідно з 8.3.1.2(2), $W_{\text{u,eff}}$ згідно з 8.3.2.1(3) та χ_{haz} ($\chi_{\text{y,haz}}$ або $\chi_{\text{z,haz}}$) і $\chi_{\text{LT,haz}}$, обумовлених $\bar{\lambda}_{\text{haz}}$ і $\bar{\lambda}_{\text{haz,LT}}$, обчисленого з використанням значень $A_{\text{u,eff}}$ і $W_{\text{u,eff}}$ наведених у цьому розділі.

8.3.3.6 Нерівні кінцеві моменти і/або поперечні навантаження

(1) Для елементів, підданих комбінації осьового зусилля і нерівних кінцевих моментів та/або поперечних навантажень, рекомендовано перевіряти декілька різних перерізів уздовж балки-колони. У рівняннях взаємодії рекомендовано використовувати фактичний згинальний момент у розгляданому перерізі. ω_x і ω_{xLT} потрібно приймати за формулами (8.81) і (8.82):

$$\omega_x = \chi + (1 - \chi) \sin \frac{\pi x_s}{L_{cr}} \quad (8.81)$$

$$\omega_{xLT} = \chi_{LT} + (1 - \chi_{LT}) \sin \frac{\pi x_s}{L_{cr}}, \quad (8.82)$$

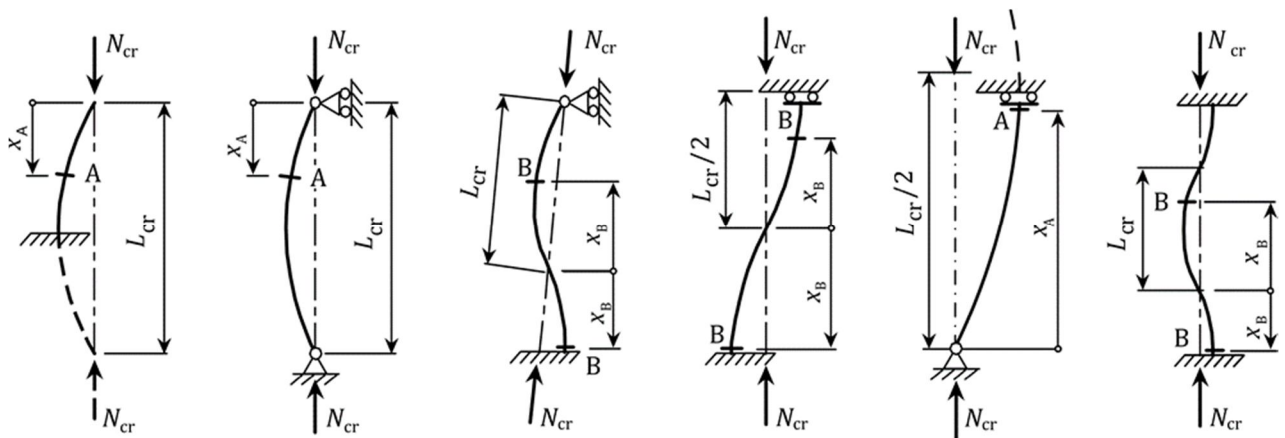
де

x_s — відстань від даного перерізу до шарнірної опори (x_A на рисунку 8.15) або точка перегину на кривій деформації (x_B на рисунку 8.15) для втрати стійкості від одного осового навантаження.

(2) Лише для кінцевих моментів $M_{Ed,1} > M_{Ed,2}$, відстань x_s рекомендовано обчислювати за формулою (8.83):

$$\cos\left(\frac{x_s \pi}{L_{cr}}\right) = RS, \text{ де } RS = \frac{(M_{Ed,1} - M_{Ed,2})}{M_{Rd}} \cdot \frac{N_{Rd}}{N_{Ed}} \cdot \frac{1}{\pi\left(\frac{1}{\chi} - 1\right)}, \text{ але } RS \leq 1 \quad (8.83)$$

(якщо $RS = 1$, то $x_s = 0$)



A і B позначають перерізи, що відносяться до формули (8.81).

У таблиці 8.7 наведено розрахункові значення розрахункової довжини $L_{cr} = kL$.

Рисунок 8.15 — Розрахункова довжина L_{cr} , та визначення x_s ($= x_A$ або x_B)

8.4 Спрощений розрахунок опору

(1) В якості альтернативи загальній процедурі, описаній у 8.1, 8.2 і 8.3, для розрахунку опорів поперечних перерізів і елементів дозволено використовувати спрощені формули, наведені в цьому розділі.

(2) Опір поперечного перерізу під дією осового стиску і згинального

моменту дозволено задавати формулами (8.84) і (8.85):

$$N_{Rd} = \frac{\rho_{\min} A_g f_o}{\gamma_{M1}} \quad (8.84)$$

$$M_{Rd} = \frac{\rho_{\min} W_{el} f_o}{\gamma_{M1}}, \quad (8.85)$$

де

$\rho_{\min}$ — понижувальний коефіцієнт ρ_c згідно з 8.1.5 для найтоншої частини перерізу, наприклад частини з найбільшим значенням $(\beta_3 - \beta)/(\beta_3 - \beta_2)$, де

β — показник гнучкості для найбільш критичної частини перерізу, див. 8.1.4.3;

β_2 і β_3 — граничні значення для цієї ж ділянки згідно з таблицею 8.1.

A_g — площа перерізу брутто;

W_{el} — момент опору поперечного перерізу брутто;

f_o — характеристичне значення міцності згідно з 8.1.2;

γ_{M1} — частковий коефіцієнт згідно з пунктом 8.1.3.

(3) Якщо $\beta < \beta_3$ для всіх частин перерізу, то значення $\rho_{\min}$ рекомендовано приймати рівним 1.

(4) Для перерізів з отворами рекомендовано використовувати переріз нетто згідно з пунктом 8.2.2.2.

(5) Якщо $\rho_{o,haz} < \rho_{\min}$, то $\rho_{\min}$ рекомендовано приймати як $\rho_{o,haz}$.

(6) Ефективний поперечний переріз для перевірки на втрату стійкості згідно з 8.3.1 дозволено прийняти за формулою (8.86):

$$A_{eff} = \rho_{\min} A_{gr} \quad (8.86)$$

(7) Для елементів під дією вигину і осьового стиску дозволено застосовувати умову формули (8.87)

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} + \frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} \leq 1,00, \quad (8.87)$$

де

N_{Rd} — розрахунковий опір осьовому зусиллю, згідно з 8.2.4 або 8.3.1,

якщо має бути виконано перевірку на втрату стійкості;

M_{Rd} — опори згинальному моменту згідно 8.2.5 або 8.3.2, якщо має бути виконано перевірку на поперечно-крутильну втрату стійкості.

8.5 Складені елементи з постійним перерізом

8.5.1 Загальні положення

(1) Стиснуті складені елементи постійного перерізу з шарнірно обпертими, закріпленими від поперечного переміщення кінцями рекомендовано розраховувати на основі наступної моделі, див. рисунок 8.16.

1) Елемент дозволено розглядати як колону з дуговою недосконалістю $e_0 = L/500$;

2) Пружні деформації решіток та з'єднувальних накладок (рисунок 8.16) дозволено враховувати за допомогою усередненої (розподіленої) зсувної жорсткості S_v колони.

Для інших кінцевих умов обпирання дозволено внести відповідні зміни.

(2) Модель складеного елемента постійного перерізу може бути застосовувана у випадках, коли:

- 1) пояси збірного елемента мають бути паралельними;
- 2) кількість блоків у елементі має бути не менше трьох.

Примітка. За таких допущень конструкцію можна вважати достатньо постійною, щоб замінити її дискретну модель континуальною.

(3) Дана методика розрахунку є застосовною до складених елементів із фермовою з'єднувальною решіткою у двох напрямках (див. рисунок 8.17)

(4) Пояси можуть бути не складеними елементами, або можуть мати розкісні решітки чи накладки у перпендикулярній площині.

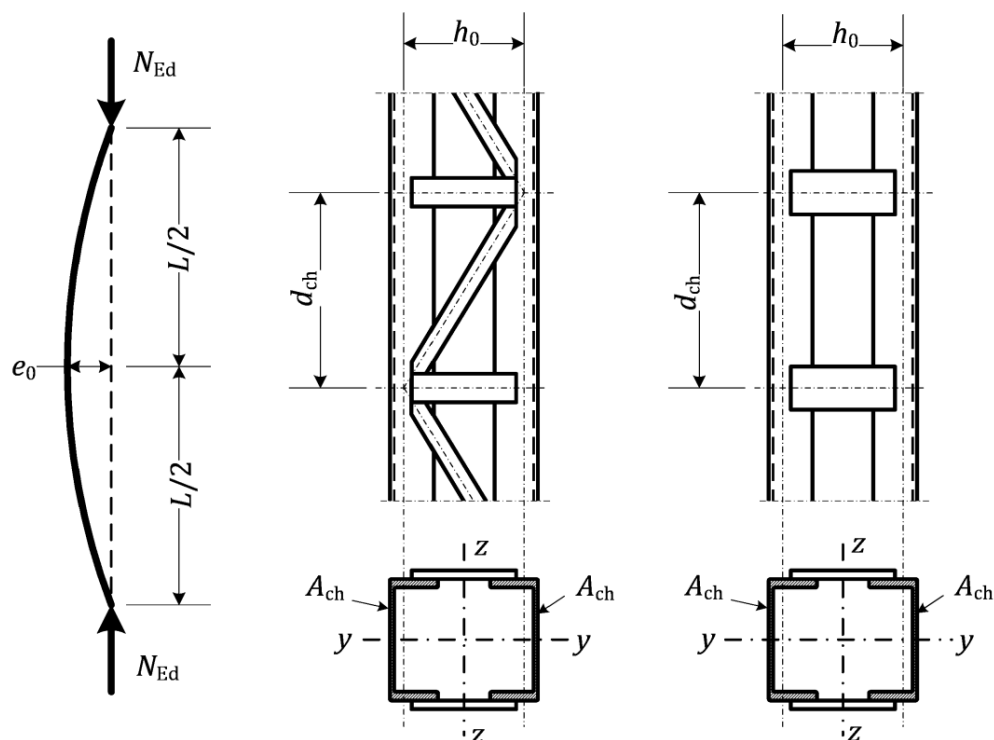


Рисунок 8.16 — Складені колони постійного перерізу з решітками та накладками

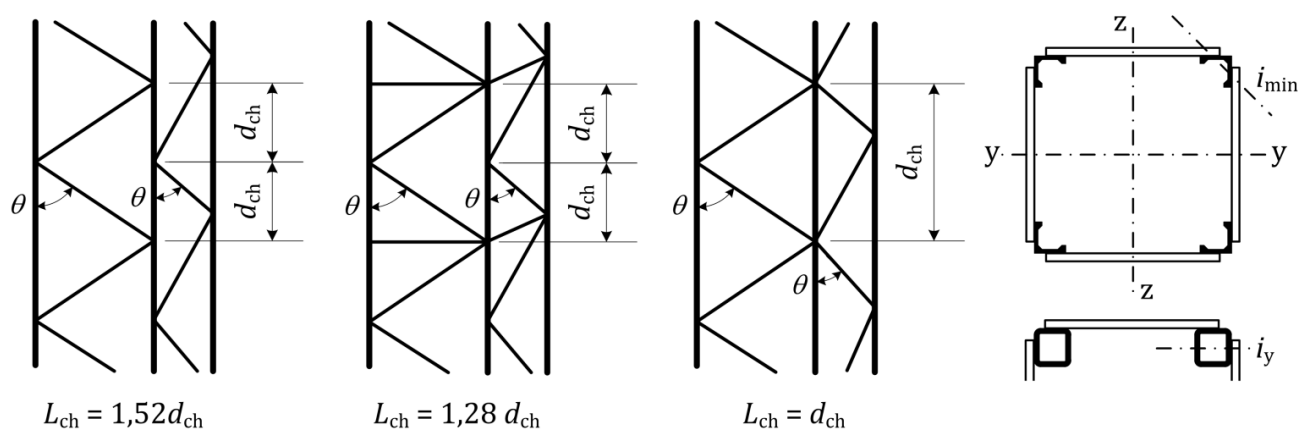


Рисунок 8.17 — З'єднувальна решітка по чотирьох сторонах і розрахункова довжина поясів L_{ch}

(5) Пояси рекомендовано перевіряти із застосуванням розрахункових навантажень у поясі $N_{ch,Ed}$ від стискальних зусиль N_{Ed} і моментів M_{Ed}^{II} у центрі прогону складеного елемента.

(6) Для елемента з двома однаковими поясами розрахункове зусилля $N_{ch,Ed}$ рекомендовано визначати за формулою (8.88):

$$N_{ch,Ed} = 0,5N_{Ed} + \frac{M_{Ed}^{II} h_0 A_{ch}}{2I_{eff}}, \quad (8.88)$$

де

$$M_{Ed}^{II} = \frac{N_{Ed} e_0 + M_{Ed}^I}{1 - N_{Ed}/N_{cr} - N_{Ed}/S_v}$$

N_{cr} — критичне зусилля ефективного складеного елемента;

$LL2$

N_{Ed} — розрахункове значення стискального зусилля для складеного елемента;

M_{Ed}^{II} — розрахункове значення максимального моменту всередині складеного елемента з урахуванням ефектів другого порядку;

M_{Ed}^I — розрахункове значення максимального моменту першого порядку у центрі складеного елемента;

h_0 — відстань між центрами ваги перерізів поясів;

A_{ch} — площа поперечного перерізу одного поясу;

I_{eff} — ефективний момент інерції складеного елемента, див. 8.5.2 і 8.5.3;

S_v — зсувна жорсткість решітки або з'єднувальних накладок, див. 8.5.2 і 8.5.3.

(7) Перевірки кріплень складених решітчастих елементів або рамних моментів та зсувних зусиль у з'єднувальних накладках складених елементів з накладками рекомендовано виконувати також для крайніх накладок із урахуванням зсувного зусилля у складеному елементі, як наведено у формулі (8.89):

$$V_{Ed} = V_{Ed}^1 + \frac{\pi}{L} (M_{Ed} - M_{Ed}^1), \quad (8.89)$$

де

V_{Ed}^1 — розрахункове значення зсувного зусилля на кінці, обумовлене поперечними навантаженнями, без урахування ефектів другого порядку.

8.5.2 Стиснуті решітчасті елементи

8.5.2.1 Опір складових частин елементів стиснутих розкісних решіток

(1) Пояси і діагональні решітки, під дією стиску, рекомендовано розраховувати на втрату стійкості. Вторинними моментами можна знехтувати.

(2) Для поясів перевірку на стійкість виконують за формулою (8.90):

$$\frac{N_{ch,Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1,0, \quad (8.90)$$

де

$N_{ch,Ed}$ — розрахункове стискальне зусилля у поясі, на середині довжини складеного елемента згідно з 8.5.1(6);

$N_{b,Rd}$ — розрахункове значення опору втраті стійкості для поясу, з розрахунковою довжиною L_{ch} за рисунком 8.17.

(3) Жорсткість решітки на зсув S_v рекомендовано приймати за рисунком 8.18.

(4) Ефективний момент інерції у ґратчастих складених елементах дозволено отримати за формулою (8.91).

$$I_{eff} = 0,5h_0^2 A_{ch}, \quad (8.91)$$

де

A_{ch} — наведено на рисунку 8.16.

h_0 — наведено на рисунку 8.18.

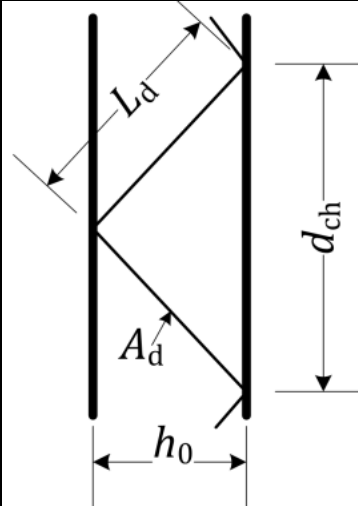
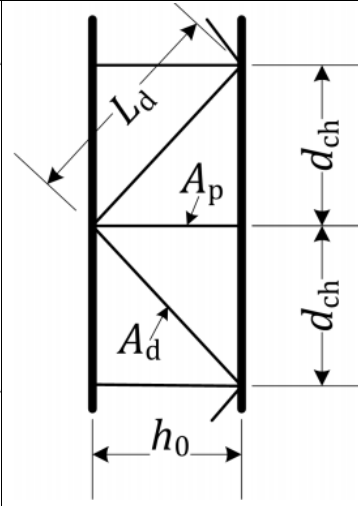
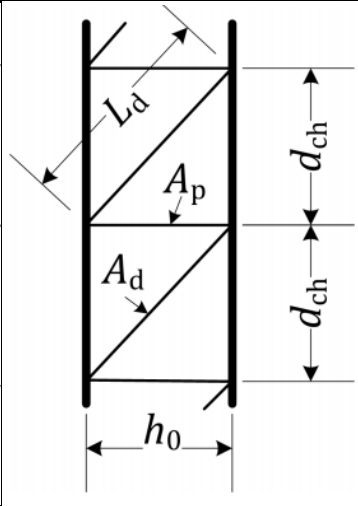
			
	$\frac{n_p E A d_{ch} h_0^2}{2 L_d^3}$	$\frac{n_p E A d_{ch} h_0^2}{2 L_d^3}$	$\frac{n_p E A d_{ch} h_0^2}{L_d^3 \left(1 + \frac{A_d h_0^3}{A_p L_d^3} \right)}$
n_p — кількість площин решітки A_d і A_p відносяться до площі поперечного перерізу в'язей в одній площині.			

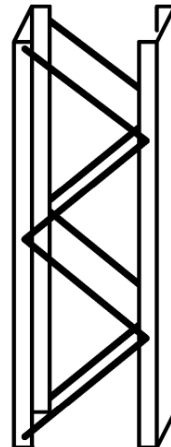
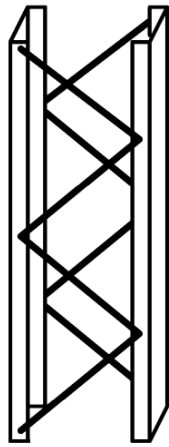
Рисунок 8.18 — Зсувні жорсткості у розкосах складених елементів

8.5.2.1 Елементи конструкції

(1) Одиночні розкісні решітки на протилежних поверхнях складених елементів з двома паралельними розкісними площинами, мають бути розташовані, як показано на рисунку 8.19(a), щоб решітки були дзеркальним відображенням одна одної.

(2) Якщо одиночні розкісні решітки на протилежних поверхнях складених елементів з двома паралельними розкісними площинами, розташовані кососиметрично, як показано на рисунку 8.19(b), то рекомендовано брати до уваги крутильні ефекти, що виникають в елементі.

(3) На кінцях розкісних решіток, у місцях де решітка переривається, та у вузлах з іншими елементами рекомендовано передбачити підсилювальні накладки.



а) паралельна розкісна
решітка(рекомендована система);

б) кососиметрична розкісна решітка
(не рекомендована система)

Рисунок 8.19 — Одиночні розкісні решітки на протилежних поверхнях складених елементів з двома паралельними розкісними площинами

8.5.3 Стиснуті елементи зі з'єднувальними накладками

8.3.1.1 *Опір складових частин елементів стиснутих безрозкісних решіток*

(1) Пояси і накладки, а також вузли їх прикріплення до поясів рекомендовано перевіряти на фактичні моменти і зусилля у кінцевій накладці та посередині прогону, як показано на рисунку 8.20.

Примітка. Для спрощення розрахунку максимальне зусилля в поясі $N_{ch,Ed}$ можливо об'єднувати з максимальним зсувним зусиллям V_{Ed} .

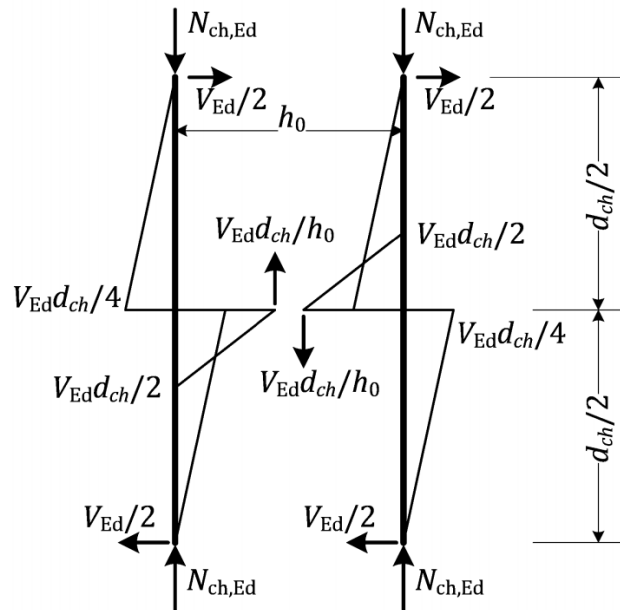


Рисунок 8.20 — Моменти і зусилля в кінцевій накладці складеного елемента з накладками

(2) Зсувну жорсткість S_v рекомендовано приймати за формулою (8.92). див. рисунок 8.20:

$$S_v = \frac{24EI_{ch}}{d_{ch}^2 \left(1 + \frac{2I_{ch}}{n_p I_b} \frac{h_0}{d_{ch}} \right)} \leq \frac{2\pi^2 EI_{ch}}{d_{ch}^2} \quad (8.92)$$

(3) Ефективний момент інерції складених елементів з безрозкісними накладками дозволено приймати за формулою (8.93), див. рисунок 8.20:

$$I_{eff} = 0,5h_0^2 A_{ch} + 2\mu I_{ch} , \quad (8.93)$$

де

I_{ch} — момент інерції одного поясу у площині;

I_b — момент інерції однієї накладки у площині;

μ — коефіцієнт ефективності згідно з таблицею 8.8;

n_p — кількість площин безрозкісної решітки.

Таблиця 8.8 — Коефіцієнт ефективності

Критерій	Коефіцієнт ефективності, μ
$\lambda \leq 75$	0
$75 < \lambda < 150$	$2 - \lambda/75$
$\lambda \geq 150$	1,0
де $\lambda = \frac{L}{i_0}$; $i_0 = \sqrt{\frac{I_1}{2A_{ch}}}$; $I_1 = 0,5h_0^2 A_{ch} + 2I_{ch}$	
Примітка. Позначення наведено на рисунку 8.16	

8.5.3.2 Елементи конструкції

(1) На кожному кінці елемента мають бути встановлені накладки.

(2) Там, де площини накладок паралельні одна одній, з'єднувальні накладки у кожній площині рекомендовано розташовувати навпроти одна одної.

(3) Також рекомендовано встановлювати накладки у проміжних точках, де прикладено навантаження або має місце закріплення від поперечного зміщення.

8.5.4 Складені елементи з близькорозташованими поясами

(1) Стиснуті складені елементи, з розташованими впритул або близько один до одного і з'єднаними між собою прокладками поясами (рисунок 8.21), чи зіркоподібні за профілем елементи з кутиків, з'єднані парами накладок у двох перпендикулярних площинах (рисунок 8.22), рекомендовано перевіряти на втрату стійкості як єдине ціле, нехтуючи наявністю зсувної жорсткості ($S_v = \infty$), якщо виконуються умови таблиці 8.9. Якщо умови, наведені в таблиці 8.9, не виконано, рекомендовано перевірити близькорозташовані складені стиснуті елементи з урахуванням впливу жорсткості на зсув згідно з пунктами 8.5.3.1(2) і 8.5.3.1(3).

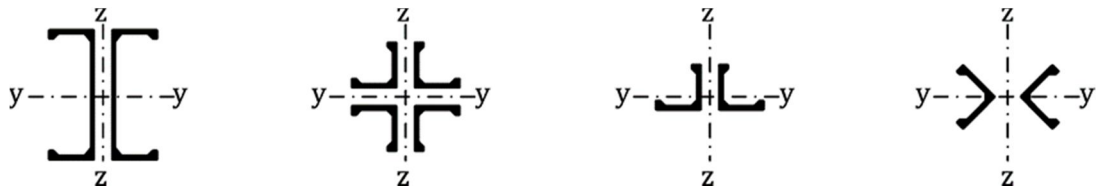


Рисунок 8.21 — Складені елементи з близькорозташованими поясами

Таблиця 8.9 — Максимальний проміжок у з'єднаннях між частинами складених елементів або у зіркоподібних профілях з кутиків, з'єднаних накладками

Тип складеного елемента	Максимальний проміжок у з'єднаннях а
Елементи з рисунка 8.21 — розташовані впритул або з'єднані через прокладки болтами чи зварюванням .	$15i_{\min}$
Елементи з рисунка 8.22 — приєднані парою з'єднувальних накладок, а також болтами і зварюванням.	$70i_{\min}^b$
^a Відстань між центрами у з'єднаннях. ^b $i_{\min}$ — мінімальний радіус інерції одного поясу чи одного кутика.	

(2) Зсувні зусилля, що передаються через з'єднувальні накладки, рекомендовано визначати за 8.5.3.1(1).

(3) У випадку нерівнополичкових кутиків (див. рисунок 8.22), дозволено перевіряти втрату стійкості навколо осі у-у за формулою (8.94)

$$i_y \cong 0,87i_0 \quad (8.94)$$

де

i_0 — радіус інерції складеного елемента навколо осі 0-0.

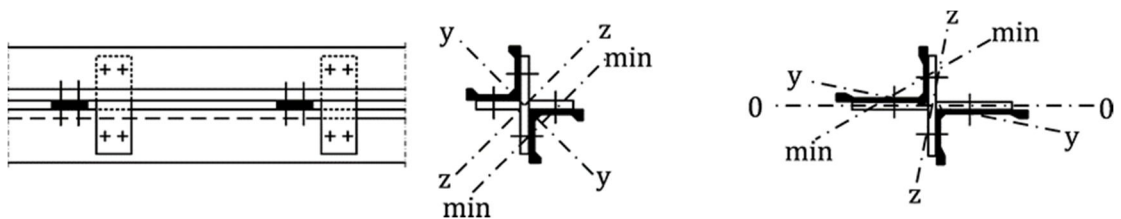


Рисунок 8.22 — Елементи із зіркоподібним профілем, складені з кутиків

8.6 Непідкріплені пластини під навантаженням у площині

8.6.1 Загальні положення

(1) Непідкріплені пластини, як окремі компоненти під окремою або спільною дією нормальних та зсувних напружень, з'єднані з несною конструкцією зварними, заклепковими, болтовими або клейовими з'єднаннями. Спосіб з'єднання рекомендовано перевіряти на граничний стан за несною здатністю на згин під дією поперечного навантаження, на втрату стійкості під крайовими зусиллями у площині пластини, а також на комбінації згину та втрати стійкості.

(2) Вказівки, наведені у 8.6 стосуються лише прямокутних пластин з умовами навантаження, показаними на рисунку 8.23.

(3) Для розрахунку тонких стінок балок потрібно користуватися 8.8.

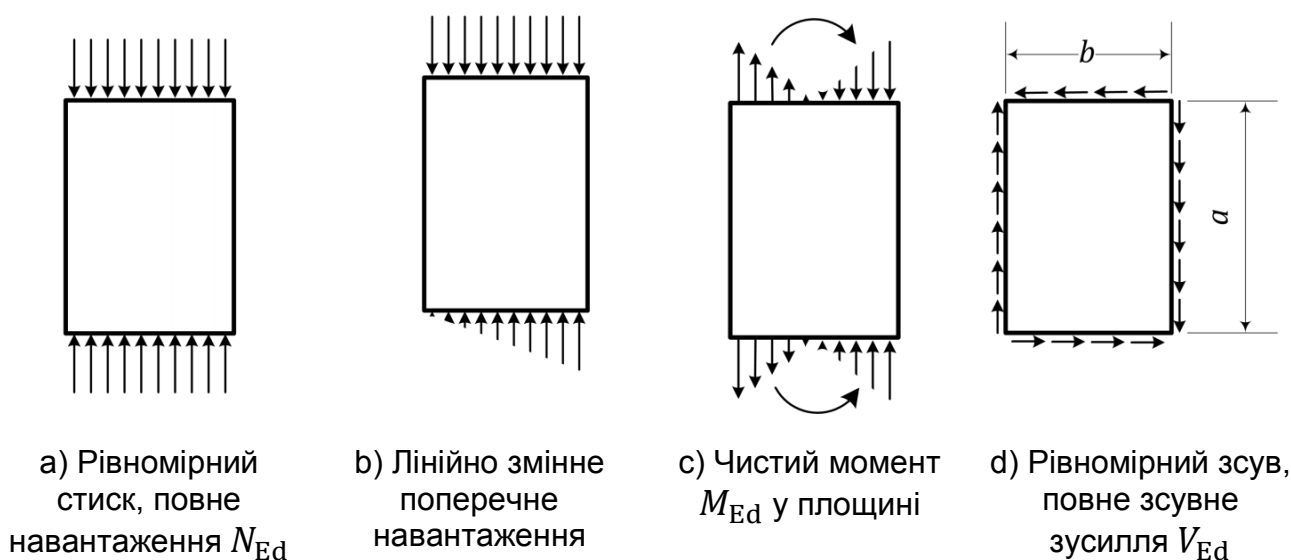


Рисунок 8.23 — Непідкріплені пластини

8.6.2 Опір під дією рівномірного стиску

(1) На рисунку 8.23 показано прямокутну пластину у стані рівномірного стиску з країв; довжина пластини у напрямку стиску a , ширина поперек пластини b і товщиною t . Пластина може бути жорстко або пружно защемленою чи шарнірно обпертою на контурі, або ж бути вільною по одній поздовжній стороні.

(2) Залежно від параметру β , де для рівномірного стиску $\beta = \frac{b}{t}$, поперечний переріз пластини рекомендовано класифікувати згідно з 8.1.4, згідно якого пластини з шарнірно обпертими, пружно або жорстко

защемленими поздовжніми краями вважають внутрішніми частинами, а листи з одним поздовжнім вільним краєм — консольними. Таким чином, пластини з:

$\beta \leq \beta_2$ належать до класу 1 або 2;

$\beta_2 < \beta \leq \beta_3$ належать до класу 1 або 2 належать до класу 3;

$\beta_3 < \beta$ належать до класу 4,

де значення β_2 та β_3 наведено у таблиці 8.1.

(3) Розрахункове значення стискального зусилля N_{Ed} , має відповідати формулам (8.95), (8.96) та (8.97):

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} \leq 1,0 \quad (8.95)$$

де N_{Rd} менше з

$$N_{o,Rd} = \frac{A_{eff} f_o}{\gamma_{M1}} \text{ (стан текучості або місцеве руйнування)} \quad (8.96)$$

$$N_{u,Rd} = \frac{A_{net} f_u}{\gamma_{M2}} \quad (8.97)$$

де

A_{eff} — ефективна площа поперечного перерізу з урахуванням втрати стійкості для перерізів 4-го класу і знеміцнення матеріалу зони термічного впливу поздовжніх зварних швів;

A_{net} — площа найменш сприятливого поперечного перерізу з урахуванням, за необхідності, незаповнених отворів і знеміцнення зони термічного впливу навколо поперечних або поздовжніх зварних швів.

(4) A_{eff} для перерізів класу 4 рекомендовано отримувати на основі приведеної товщини, в якій враховано можливість втрати стійкості та знеміцнення матеріалу зони термічного впливу, але можна знехтувати наявністю отворів. A_{eff} як правило, рекомендовано приймати для найменш сприятливого поперечного перерізу, при цьому товщину приймають такою, що дорівнює меншому зі значень $\rho_c t$ і $\rho_{o,haz} t$ на ділянці зони термічного впливу та $\rho_c t$ на інших ділянках. У цій перевірці знеміцненням зони

термічного впливу через наявність зварних швів на навантажених краях можна знехтувати.

(5) Коефіцієнт ρ_c приймають на основі одного з двох нижченаведених розрахунків:

а) ρ_c рекомендовано обчислювати за 8.1.5(2) або приймати за рисунком 8.5 із використанням формул для внутрішніх частин у випадку шарнірно обпертих, жорстко або пружно защемлених на поздовжніх краях пластин, або формул для консольних частин у випадку пластин з одним вільним поздовжнім краєм.

б) ρ_c рекомендовано приймати рівним χ , де χ — понижувальний коефіцієнт для згинальної втрати стійкості колони за 8.3.1, обчислений через L/i , що дорівнює $3,5a/t$, що відповідає шарнірному обпиранню на навантажених краях. Для защемлених навантажених країв дозволено використовувати менше із значень L/i .

8.6.3 Опір під дією моменту у площині

(1) Якщо на кінцях прямокутної непідкріпленої пластини шириною b (рисунок 8.23) у її площині діє чистий момент, то для класифікації поперечного перерізу згідно з 8.23 рекомендовано використовувати значення $\beta = 0,40b/t$.

(2) Розрахункове значення згинального моменту M_{Ed} має відповідати формулі (8.98):

$$M_{Ed}/M_{Rd} \leq 1,0, \quad (8.98)$$

де розрахунковий опір згинального моменту M_{Rd} , є меншим з двох величин $M_{o,Rd}$ та $M_{u,Rd}$ згідно з параграфами (3) і (4).

(3) Розрахунковий опір згинальному моменту $M_{o,Rd}$ для стану текучості та місцевого руйнування рекомендовано обчислювати за формулою (8.99):

$$M_{o,Rd} = \frac{\alpha W_{el} f_o}{\gamma_{M1}} \quad (8.99)$$

де

α — коефіцієнт форми згідно з 8.2.5.1(2).

(4) Розрахунковий опір згинальному моменту $M_{u,Rd}$ для місцевого руйнування на ділянках із отворами або поперечними швами, який рекомендовано приймати за формулою (8.100):

$$M_{u,Rd} = \frac{W_{net} f_u}{\gamma_{M2}} \quad (8.100)$$

W_{net} — момент опору перерізу з урахуванням отворів і застосуванням приведеної товщини $\rho_{u,haz} t$, на будь-якій ділянці, де має місце знеміцнення зони термічного впливу, див. 8.2.5.1(2).

8.6.4 Опір під дією поперечного або поздовжнього лінійно-змінного напруження

(1) Якщо дії, прикладені на кінцях прямокутної пластини, викликають поперечні лінійнозмінні напруження, то напруження рекомендовано розкласти на осьове зусилля та згинальний момент і обчислювати окремо за 8.6.2 і 8.6.3, і потім — з поєднанням зусиль, як наведено у 8.6.7.1.

(2) Якщо прикладене стискальне зусилля або згинальний момент у площині міняються вздовж пластини (тобто у напрямку розміру a , рисунок 8.23), то рекомендовано перевіряти розрахунковий момент опору для перерізів класів 1, 2 або 3 у будь-якому перерізі.

(3) Для перерізів класу 4 у кожному перерізі рекомендовано виконати перевірку на пластичне руйнування, а перевірку на втрату стійкості дозволено виконувати для найбільш навантаженого кінця пластини, що знаходиться на відстані 0,4 довжини хвилі пружного вигину пластини.

8.6.5 Опір зсуву

(1) Прямокутна пластина під рівномірно розподіленим зсувним навантаженням, показана на рисунку 8.23, має бути обпертою на контурі (шарнірно, жорстко або пружно защемленою).

(2) Чутливість до втрати стійкості під час зсуву для всіх крайових умов пластини рекомендовано визначати за параметром β , де для зсуву $\beta = b/t$, а b — коротша сторона пластини.

(3) Розрахункове значення перерізувальної сили V_{Ed} у будь-якому поперечному перерізі має задовольняти формулу (8.101):

$$V_{Ed} \leq V_{Rd}, \quad (8.101)$$

де

V_{Rd} — розрахунковий опір зсуву поперечного перерізу для найменш сприятливого поперечного перерізу, як зазначено в формулах (8.102) і (8.103) у а) і б):

а) $\beta \leq 39\varepsilon$:

$$V_{Rd} = A_{net}f_o/(\sqrt{3}\gamma_{M1}) \quad (8.102)$$

A_{net} — ефективна площа нетто з урахуванням отворів та використанням приведеної товщини $\rho_{o,haz}t$ на будь-якій ділянці, де має місце знеміцнення зони термічного впливу. Якщо зона термічного впливу проходить по всьому периметру пластини, то приведену товщину рекомендовано приймати для розрахунку для усього поперечного перерізу. Роблячи поправку на наявність отворів, присутність малих отворів можна ігнорувати, якщо їх загальна площа менша від 20 % повної площі перерізу bt .

б) $\beta > 39\varepsilon$:

Значення V_{Rd} як на досягнення стану пластичної деформації, так і на втрату стійкості рекомендовано перевіряти за формулою (8.102) для перевірки на пластичне деформування, і за формулою (8.103) для перевірки на втрату стійкості:

$$V_{Rd} = v_1 b t f_o / (\sqrt{3} \gamma_{M1}) \quad (8.103)$$

де

$$v_1 = 17t\varepsilon\sqrt{k_\tau}/b, \text{ але не більше ніж } v_1 = k_\tau \frac{430t^2\varepsilon^2}{b^2} \text{ і } v_1 \leq 1,0$$

$$k_{\tau} = 5,34 + 4,00(b/a)^2, \text{ якщо } a/b \geq 1$$

$$k_{\tau} = 4,00 + 5,34(b/a)^2, \text{ якщо } a/b < 1$$

У цих формулах ніяк не враховано можливу дію поля розтягувальних зусиль, проте якщо відомо, що крайове обпирання пластини здатне сприймати поле розтягувальних зусиль, то дозволено застосувати методику 8.8.4.

8.6.6 Елементи у стані стиску

8.6.6.1 Загальні положення

(1) Напруження у прямокутній пластині, навантаженій поза площиною, показано на рис. 8.24. Результуючі напруження виникають внаслідок спільної дії осьової сили у площині, момента в площині і зсувних зусиль (див. 8.6.7).

(2) Розрахунок пластини, підданої навантаженню з площини, може бути виконаний за допомогою умови пластичного руйнування (8.6.6.2) або теорії великих прогинів (8.6.6.3).

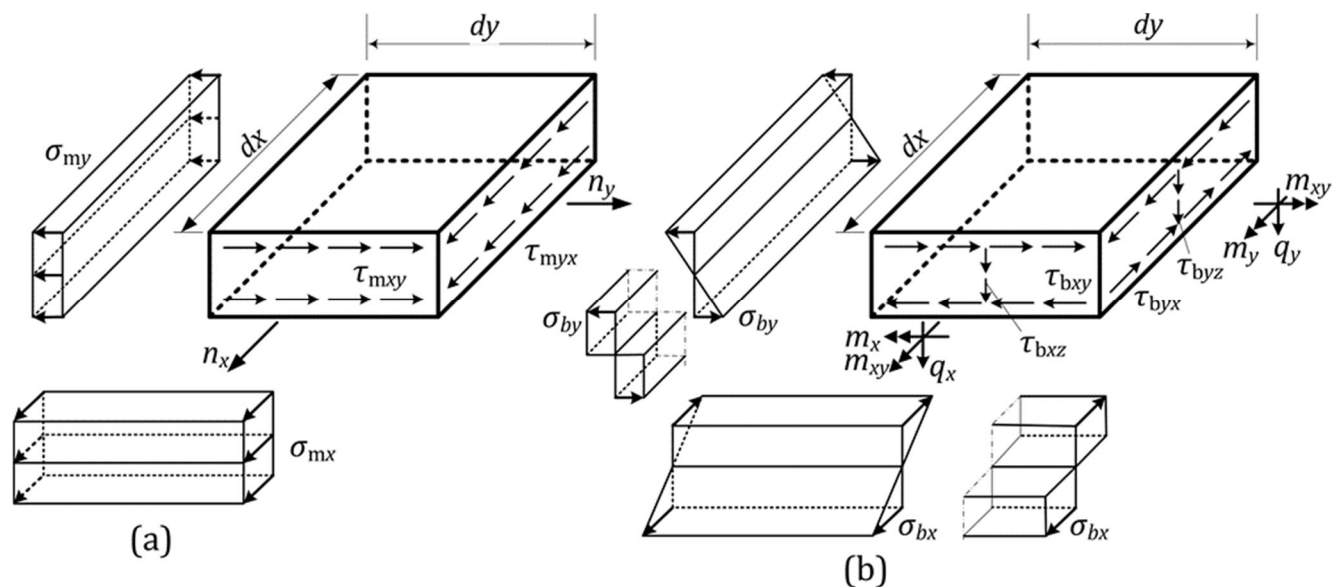


Рисунок 8.24 — (а) мембранне напруження, (б) нормальне та зсувне напруження, обумовлені згином

8.6.6.2 Стан пластичного руйнування

(1) Пластичне руйнування — це стан у якому частина конструкції

зазнає надмірних пластичних деформацій, пов'язаних з розвитком пластичного механізму. Навантаження для пластичного руйнування зазвичай визначають за допомогою механізму, який ґрунтується на теорії малих деформацій.

(2) Розрахунок за поличкою плинності дозволено застосовувати в якості методу пластичного руйнування в граничному стані, коли опір розтягу, стиску або зсуву в площині становить менше 10% від їх опорів. Опір згину у стані досягнення площадки текучості рекомендовано приймати за формулою (8.104):

$$m_{Rd} = 0,25t^2f_o/\gamma_{M1} \quad (8.104)$$

8.6.6.3 Стан пластичного руйнування

(1) Рекомендовано використовувати геометрично нелінійний аналіз, заснований на припущеннях про великі деформації і враховує вплив деформації на рівновагу.

Примітка. Теорія великих деформацій враховує, що серединна поверхня зазнає розтягу через бічні прогини, що створюють мембранні зусилля.

(2) Цей метод дозволено використовувати для пластин з великим співвідношенням ширини до товщини, наприклад, фасадних плит з переважно позаплощинним вітровим навантаженням. Деформації у граничному стані експлуатаційної придатності також дозволено розраховувати з використанням теорії великих деформацій.

Розрахункове значення напружень, обумовлених згинальним моментом на одиницю ширини, і нормальних мембранних напружень, обумовлених результуючою нормальних мембранних напружень на одиницю ширини (див. рис. 8.24), має відповідати формулі (8.17), де $\sigma_{x,Ed}$, і $\sigma_{z,Ed}$ і $\tau_{x,Ed}$, задані формулою (8.105):

$$\sigma_{x,Ed} = \frac{n_{x,Ed}}{t} \pm \frac{m_{x,Ed}}{\frac{t^2}{4}}, \sigma_{z,Ed} = \frac{n_{y,Ed}}{t} \pm \frac{m_{y,Ed}}{\frac{t^2}{4}}, \tau_{x,Ed} = \tau_{mxy,Ed} \quad (8.105)$$

де

$n_{x,Ed}$ і $n_{y,Ed}$ — розрахункове значення осьового зусилля на одиницю ширини;

$m_{x,Ed}$ і $m_{y,Ed}$ — розрахункове значення згинального моменту на одиницю ширини;

$\tau_{mxy,Ed}$ — розрахункове значення мембранного зсувного зусилля.

8.6.7 Опір комбінованим діям

8.3.1.1 Опір під дією осьового зусилля, зсуву чи моменту у площині

(1) Пластину, що зазнає одночасної дії осьового зусилля та моменту в її площині за відповідних комбінацій дій, рекомендовано окремо класифікувати для окремих результуючих напружень згідно з 8.6.2 або 8.6.3. У цих перевірках величину β рекомендовано обчислювати на основі такого розподілу крайових напружень, за якого зусилля N_{Ed} і момент M_{Ed} діють окремо.

(2) Якщо пластина належить до класу 4, то кожний окремий опір $N_{o,Rd}$ і $M_{o,Rd}$ рекомендовано обчислювати на основі розгляду відповідної окремої дії.

(3) Якщо сукупними наслідками дій є осьова сила і момент в площині, то має бути виконана умова, задана формулою (8.106):

$$\frac{N_{Ed}}{N_{o,Rd}} + \frac{M_{Ed}}{M_{o,Rd}} \leq 1,00 \quad (8.106)$$

(4) Якщо до сукупних наслідків дій входить зсувне зусилля, V_{Ed} , то V_{Ed} дозволено не враховувати за умови, що воно не перевищує $0,5V_{Rd}$ (див. 8.6.5). Якщо $V_{Ed} > 0,5V_{Rd}$, то має бути виконана умова, наведена у формулі (8.107):

$$\frac{N_{Ed}}{N_{o,Rd}} + \frac{M_{Ed}}{M_{o,Rd}} + \left(\frac{2V_{Ed}}{V_{Rd}} - 1 \right)^2 \leq 1,00 \quad (8.107)$$

8.6.7.2 Опір осьовому зусиллю, зсуву і позаплощинному навантаженню

Методи, описані в пункті 8.6.6.1, дозволено застосовувати в граничному стані за несною здатністю, коли стиснення або зсув у площині становить менше 10% від відповідного опору. Методи, описані в пунктах 8.6.2 — 8.6.5, дозволено застосовувати, якщо позаплощинне навантаження становить менше 10 % від відповідного опору.

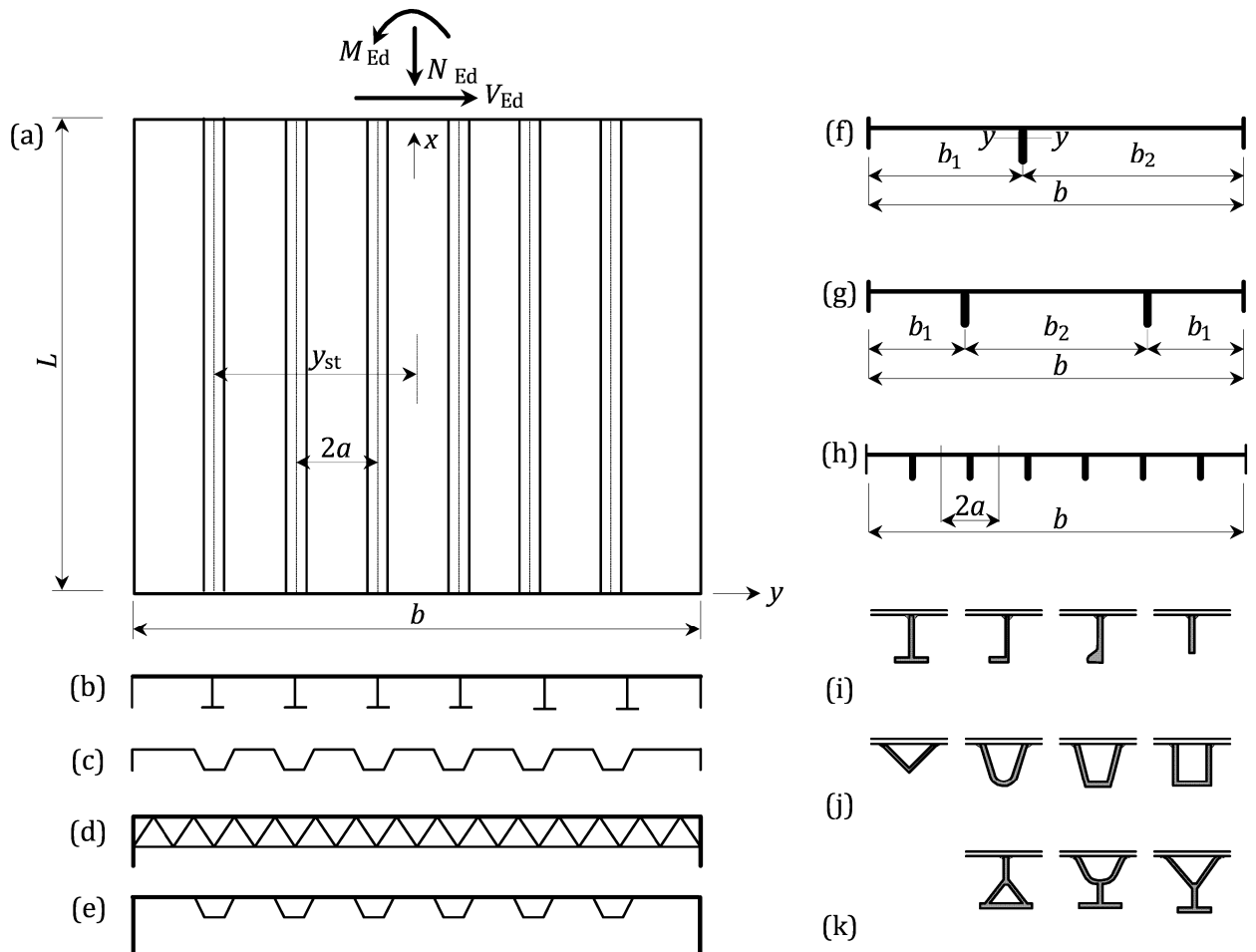
8.7 Підкріплені пластини під навантаженням у площині

8.7.1 Загальні положення

(1) 8.7 рекомендовано застосовувати для пластин обпертих на контурі і підкріплених одним або двома центрально або позацентрово розташованими поздовжніми елементами жорсткості, або трьома чи більше рівномірно розташованими поздовжніми елементами жорсткості або гофрами (див. рисунок 8.25). Це положення також рекомендовано використовувати для ортотропних плит (див. рисунок 8.25 (b) — (e) і 8.7.6) та для пресованих профілів з одним або двома відкритими елементами жорсткості, див. 8.1.4.3.

(2) Елементи жорсткості дозволено не обпірати по всій довжині або підкріплювати проміжними поперечними елементами жорсткості. Розмір L рекомендовано приймати як відстань між опорами. Поздовжнє (але не поперечне) підкріплення розглядають як докритичне, тобто воно може деформуватися разом із основною пластиною у випадку втрати нею стійкості.

(3) Опір підкріплених пластин поздовжньому нормальному навантаженню у напрямку елементів жорсткості рекомендовано обчислювати за 8.7.2 — 8.7.4, а опір зсуву — за 6.6.5. Спільну дію різних чинників дозволено враховувати таким самим чином, як для непідкріплених пластин (див. 8.8.7). Ці положення дійсні також у випадках, коли поперечний переріз містить частини, які можна класифікувати як гнучкі.



Умовні позначки:

- (i) — відкриті елементи жорсткості;
- (j) — закриті елементи жорсткості;
- (k) — частково закриті елементи жорсткості.

Рисунок 8.25 — Підкріплені пластини та види елементів жорсткості

(4) Якщо конструкція складена з плоских пластин з елементами жорсткості, то опір нормальному поперечному навантаженню, перпендикулярному до напрямку елементів жорсткості дозволено вважати таким самим, як для непідкріпленої пластини. У гофрованій конструкції опором поперечному нормальному напруженню можна знехтувати.

Примітка. Ортотропні пластини, зокрема пластини з подвійною обшивкою, можуть мати суттєвий опір поперечному нормальному навантаженню у площині.

8.7.2 Підкріплені пластини під дією рівномірного стиску

(1) Поперечний переріз потрібно класифікувати як компактний або тонкостінний згідно з 8.1.4, розглядаючи всі його складові частини перед початком будь-якої перевірки.

Розрахункове значення стискувальної сили N_{Ed} має відповідати формулі (8.108):

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} \leq 1,0, \quad (8.108)$$

де

N_{Rd} — менше з $N_{net,Rd}$, $N_{u,Rd}$ та $N_{b,Rd}$ згідно з (2) і (3).

(2) $N_{net,Rd}$ і $N_{u,Rd}$ рекомендовано обчислювати за 8.2.4.

(3) У підкріплених пластинах під дією рівномірного стиску пластину рекомендовано розглядати як сукупність ідентичних піделементів — колон, кожен з яких містить один центральний елемент жорсткості або гофру шириною, рівною кроку $2a$, див. рисунок 8.25. Розрахунковий осьовий опір, $N_{b,Rd}$ рекомендовано приймати згідно з формулою (8.109):

$$N_{b,Rd} = A_{eff} \chi f_o / \gamma_{M1}, \quad (8.109)$$

де

χ — понижувальний коефіцієнт для згинальної втрати стійкості піделементу.

A_{eff} — ефективна площа поперечного перерізу пластини з урахуванням місцевої втрати стійкості і знеміцнення матеріалу зони термічного впливу поздовжніх зварних швів; знеміцнення зони термічного впливу через зварні шви на навантажених краях або на поперечних елементах жорсткості, а також незаповнених отворах дозволено не враховувати для обчислення A_{eff} .

Понижувальний коефіцієнт χ рекомендовано обчислювати за відповідною кривою втрати стійкості, що відповідає вигину колони піделементу, як простої розпірки поза площиною пластини.

(4) Відносну гнучкість $\bar{\lambda}$ для обчислення χ наведено у формулі (8.110):

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{\text{eff}} f_o}{N_{\text{cr}}}}, \quad (8.110)$$

де

N_{cr} — пружне ортотропне критичне навантаження, що ґрунтується на поперечному перерізі бруто

(5) Для пластини з відкритими елементами жорсткості N_{cr} має відповідати формулам (8.111) і (8.112):

$$N_{\text{cr}} = \frac{\pi^2 E I_y}{L^2} + \frac{L^2 c_e}{\pi^2}, \text{ якщо } L < \pi \cdot \sqrt[4]{\frac{E I_y}{c_e}} \quad (8.111)$$

$$N_{\text{cr}} = 2 \sqrt{c_e E I_y} \text{ if } L \geq \pi \cdot \sqrt[4]{\frac{E I_y}{c_e}}, \quad (8.112)$$

де

c_e — жорсткість пружної опори від пластини на одиницю ширини пластини, згідно з формулами (8.113), (8.114) або (8.115);

I_y — момент інерції усіх елементів жорсткості та пластин в границях ширини b відносно осі y на рисунку 8.25(f).

(6) Для пластини з одним поздовжнім елементом жорсткості, де елемент жорсткості може бути розташований або в центрі пластини (рівній ширини частини пластини по боках елемента жорсткості), або розташований ближче до одного з поздовжніх країв, жорсткість пружної опори від пластини на одиницю ширини пластини дозволено розраховувати за формулою (8.113) (рисунк 8.25 (f)):

$$c_e = \frac{0,27 E t^3 b}{b_1^2 b_2^2}, \quad (8.113)$$

де

t — товщина пластини;

b — загальна ширина пластини;

b_1 і b_2 — відповідно ширина частин пластини по боках від елемента жорсткості.

(7) Для частини поперечного перерізу з двома симетричними елементами жорсткості на відстані b_1 від поздовжніх опор (див. рисунок 8.25 (g)) жорсткість пружної опори від пластини на одиницю ширини пластини дозволено розраховувати за формулою (8.114):

$$c_e = \frac{1,1Et^3}{b_1^2(3b - 4b_1)} \quad (8.114)$$

(8) Для пластини з багатьма відкритими елементами жорсткості (рисунок 8.25 з (b), (c), (h) та (i)) з малою крутильною жорсткістю пружну опорну жорсткість пластини на одиницю ширини пластини дозволено розраховувати за формулою (8.115):

$$c_e = \frac{8,9Et^3}{b^3} \quad (8.115)$$

(9) Для пластини з багатьма закритими або частково закритими елементами жорсткості (рисунок 8.25 (e) та (j)) пружне ортотропне критичне навантаження дозволено обчислювати за допомогою формул у 8.7.6.

(10) Довжину півхвилі у стані пружного згину, яку застосовують якщо прикладена дія змінюється у напрямку елементів жорсткості або гофр (8.7.4(3)), рекомендовано обчислювати за формулою (8.116)

$$I_w = \sqrt[4]{\frac{EI_y}{c_e}} \quad (8.116)$$

8.7.3 Підкріплені пластини під дією моменту у площині

(1) Рекомендовано здійснити дві перевірки: на пластичне руйнування за 8.7.3(3) і на втрату стійкості за стрижньовою моделлю за 8.7.3(4).

(2) Під час виконання будь-якої з двох перевірок параграфу (1) поперечні перерізи рекомендовано відносити до класів 2, 3 і 4 (див. 8.1.4). Для класифікації окремих частин, а також для визначення ефективної

довжини гнучких частин, рекомендовано допустити, що кожна частина знаходиться під рівномірним стиском, прийнявши $\eta = 1$ у 8.1.4.3. Проте у разі виконання лише перевірки на пластичне руйнування дозволяється обчислювати η за фактичним розподілом напружень у частинах, що складають найбільш віддалені зовнішні ділянки пластини, а тоді дублювати це значення для відповідних частин у подальшому.

Примітка. Для частин пластини, розташованих далі від краю, значення η , засноване на фактичному характері напружень найвіддаленішій області пластини, може бути сприятливим, за умови невеликої кількості елементів жорсткості або гофр.

(3) Для перевірки на пластичне руйнування весь поперечний переріз пластини рекомендовано розглядати як балку, що знаходиться у стані згину у площині (8.2.5). Розрахунковий момент опору M_{Rd} рекомендовано обчислювати для найменш сприятливого поперечного перерізу, за необхідності — з урахуванням місцевої втрати стійкості, будь-яких отворів та знеміцнення матеріалу у зоні термічного впливу.

(4) Для перевірки за стрижньовою моделлю пластину рекомендовано розглядати як сукупність стрижньових піделементів у такий же спосіб, як і для осьового стиску (див. 8.7.2(3)). Розрахунковий момент опору, $M_{b,Rd}$ рекомендовано приймати згідно з формулою (8.11 7):

$$M_{b,Rd} = \frac{\chi I_{eff} f_o}{\gamma_{st} \gamma_{M1}}, \quad (8.117)$$

χ — понижувальний коефіцієнт для згинальної втрати стійкості піделементу, яку визначають так само, як і для рівномірного стиску (див. 8.7.2(3));

I_{eff} — момент інерції ефективного поперечного перерізу пластини для вигину у площині;

γ_{st} — відстань від центру пластини до найвіддаленішого елемента жорсткості, див. рисунок 8.25.

8.7.4 Пластини з багатьма елементами жорсткості під

поздовжнім лінійно-змінним навантаженням

(1) Положень цього пункту рекомендовано дотримуватися у випадках, коли наслідки прикладеної дії N_{Ed} або M_{Ed} для пластини з багатьма елементами жорсткості змінюються у напрямку ребер жорсткості або гофр.

(2) Для перевірки на пластичне руйнування розрахунковий опір в будь-якому поперечному перерізі має бути не менший за розрахунковий наслідок дії в цьому перерізі.

(3) Для перевірки за стрижньовою моделлю розрахунковий опір рекомендовано порівнювати з розрахунковим наслідком дії на відстані $0,4l_w$ від найбільш навантаженого краю панелі,

де

l_w — довжина півхвилі у стані пружного згину згідно з 8.7.2(10).

8.7.5 Пластина з багатьма елементами жорсткості під дією зсуву

(1) Рекомендовано виконувати перевірку на пластичне руйнування, за параграфом (2) та перевірку на втрату стійкості за параграфом (3). Методи, наведені в (2) та (3) дійсні за умови, що елементи жорсткості або гофри і сама пластина:

а) дійсно приєднані до поперечного розкріплення на обох кінцях;

б) є безперервними у точках, де проходять поперечні елементи жорсткості.

(2) Для перевірки на пластичне руйнування розрахунковий опір зсувному зусиллю V_{Rd} рекомендовано приймати таким же, як і для плоскої непідкріпленої пластини того ж габаритного розміру ($L \times b$) згідно з 8.6.5(2), враховуючи що $L = a$.

(3) Для перевірки на втрату стійкості розрахунковий опір зсуву рекомендовано обчислювати за методикою 8.9.3, використовуючи наступні значення жорсткості пластини на одиницю її ширини. (Слід зазначити різницю у системі координат, x та y на рисунку 8.25 відповідають z та x на

рисунку 8.36):

$B_y = Et^3/10,9$ для плоскої пластини з елементами жорсткості, у інших випадках див. 8.7.6(1);

$B_x = EI_y/b$, де I_y — момент інерції площі перерізу елемента жорсткості та пластини у границях ширини b відносно центральної осі, паралельної площині пластини;

h_w — розрахункова довжина l , що може бути консервативно прийнята як вільна довжина L (див. рисунок 8.25). Якщо L суттєво перевищує b , менш консервативний результат дозволено отримати прирівнявши $\tau_{cr,g}$ до пружного ортотропного критичного зсувного зусилля, заданого формулою (8.129), яку рекомендовано змінити якщо $\phi > 1$ (див. 8.6.6(2)). Для аналізу на втрату стійкості знеміцнення зони термічного впливу можна не приймати до уваги.

8.7.6 Критичне навантаження для ортотропних пластин

Формули для B_x , B_y та H для різних поперечних перерізів наведено у таблиці 8.10 або формулах (8.120), (8.121), (8.122), (8.123), (8.124), (8.125), (8.126), (8.127) та (8.128). Індеси x та y позначають жорсткість відповідно у перерізі $x = \text{const}$ і $y = \text{const}$).

Таблиця 8.10, Сценарій № 2:

$$B_y = \frac{2B a}{2a_4 + \frac{2a_1 a_3 t_1^3 (4a_2 t_3^3 + a_3 t_2^3)}{a_3 t_1^3 (4a_2 t_3^3 + a_3 t_2^3) + a_1 t_3^3 (12a_2 t_3^3 + 4a_3 t_2^3)}} \quad (8.120)$$

$$H = 2B + \frac{GI_t}{2a} \frac{1}{2 + \frac{8GI_t}{L a b} [\varphi_{\text{plt}} + \varphi_{\text{dis}}]}, \quad (8.121)$$

де

$$\varphi_{\text{plt}} = \frac{2a_4^2}{aEt_1^3} \left[a_4 + \frac{a_1 (3\alpha_3 + 4\alpha_2)}{3\alpha_3 + 4\alpha_2 + 4\alpha_1 + 4\alpha_1 \alpha_2 / \alpha_3} \right] \quad (8.122)$$

$$\varphi_{\text{dis}} = \frac{ha_2 (3\alpha_3^2 + 4\alpha_1 \alpha_2 + 4\alpha_1 \alpha_3 + 4\alpha_2 \alpha_2)}{2\alpha_2 \alpha_2 + f2\alpha_1 \alpha_1 + (2 + f)\alpha_2 \alpha_3 + (1 + 2f)\alpha_1 \alpha_3} \quad (8.123)$$

$$B = \frac{Et_1^3}{12(1 - \nu^2)} \quad (8.124)$$

$$\alpha_1 = \frac{2\alpha_1}{Et_1^3}, \alpha_2 = \frac{2\alpha_2}{Et_2^3}, \alpha_3 = \frac{\alpha^3}{Et_3^3}, f = 1 + \frac{(\alpha_1 - \alpha_2)\alpha_3}{h\alpha_2} \quad (8.125)$$

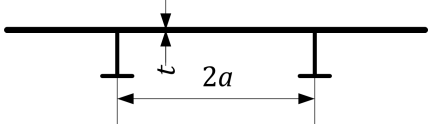
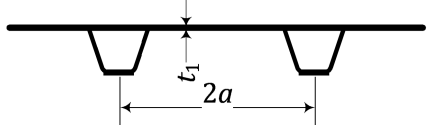
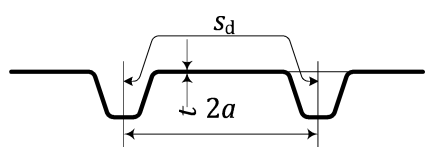
Таблиця 8.10, Сценарій № 5:

$$B_y = \frac{1}{\frac{1}{D_{em}} + \frac{t_1 + t_2}{Et_1 t_2 h^2}} \quad (8.126)$$

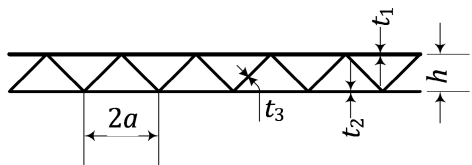
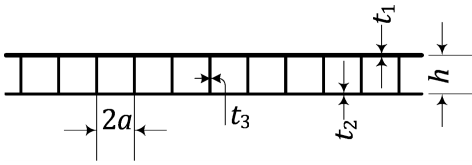
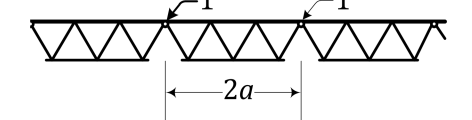
$$D_{em} = \frac{Et_1^3}{12(1 - \nu^2)} \frac{10b^2}{32a^2} \frac{at_3^3 + at_2^3 t_3^3 / t_1^3 + 6ht_2^3}{at_3^3 + 2h(t_1^3 + t_2^3) + 3h^2 t_1^3 t_2^3 / (at_3^3)} \quad (8.127)$$

$$H = \frac{2E}{3 \left(1 - \frac{t_3}{2a}\right)^3} \left[\frac{t_1^3}{1 + \frac{6t_1}{2a - t_3}} + \frac{t_2^3}{1 + \frac{6t_2}{2a - t_3}} \right] \quad (8.128)$$

Таблиця 8.10 — Жорсткість ортотропних пластин на згин та кручення

Сценарій №	Поперечний переріз	B_x (відповідає EI_y)	B_y (відповідає EI_x)	H
1		$\bullet \frac{EI_L}{2a}$	$\frac{Et^3}{12(1 - \nu^2)}$	$\frac{Gt^3}{4,2}$
2	 Більш детальну інформацію див. на рисунку 8.26	$\frac{EI_L}{2a}$	Eq. (8.120)	Eq. (8.121)
3		$\frac{EI_L}{2a}$	$\frac{s_d}{2a} \frac{Et^3}{12(1 - \nu^2)}$	$\frac{(s_d + 2a) Gt^3}{4a} \frac{1}{4,2}$

Кінець таблиці 8.10

4		$\frac{EI_L}{2a}$	$\frac{Et_1t_2h^2}{t_1+t_2}$	$\frac{GI_t}{4a}$
5		$\frac{EI_L}{2a}$	Eq. (8.126)	Eq. (8.128)
6		$\frac{EI_L}{2a}$	0	$\frac{GI_t}{4a}$

Умовні позначки:

h — відстань між осьовими лініями пластин;

I_L — момент інерції одного елемента жорсткості та прилеглої пластини в границях $2a$; I_t — стала кручення того ж поперечного перерізу;

1 — паз і шпунт.

Примітка. Формули для H є приблизними.

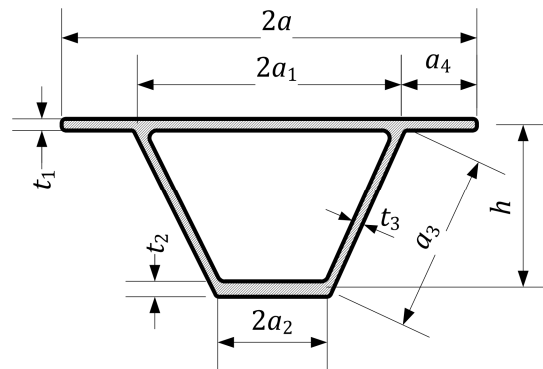


Рисунок 8.26 — Позначки для поперечного перерізу закритого елемента жорсткості

(2) Опір зсувному зусиллю для ортотропної пластини відносно загальної втрати стійкості для $\varphi \leq 1$, дозволено розраховувати згідно 8.9.3(3) за формулами (8.129) — (8.132):

$$\tau_{cr,g} = \frac{k_\tau \pi^2}{LA} \sqrt[4]{B_y B_x^3} \quad (8.129)$$

$$k_\tau = 3,25 - 0,567\varphi + 1,92\varphi^2 + (1,95 + 0,1\varphi + 2,75\varphi^2)\eta_h \quad (8.130)$$

$$\varphi = \frac{L}{b} \sqrt{\frac{B_y}{B_x}} \quad (8.131)$$

$$\eta_h = \frac{H}{\sqrt{B_x B_y}} \quad (\text{Чинний для } \eta_h < 1,5) \quad (8.132)$$

B_x , B_y та H наведено у таблиці 8.10 і A — площа поперечного перерізу у найвужчому місці для $y = \text{const}$.

$A = Lt$ для сценаріїв 1, 2 і 3 у таблиці 8.10 та $A = L(t_1 + t_2)$ для класів 4 і 5. Формули до сценарію 6 не застосовні.

(3) Опір зсувному зусиллю для ортотропної пластини з урахуванням загальної втрати стійкості для $\varphi > 1$, дозволено обчислити згідно з 8.9.3(3), за допомогою формул (8.129) — (8.132) з нижніми індексами x та y , а також шириною b і довжиною L поміняними місцями, та з $A = b\Sigma t$.

8.7.7 Навантаження з площини

8.7.7.1 Загальні положення

Для ортотропної пластини під дією позаплощинного навантаження, згинальні моменти $m_{x,Ed}$ і $m_{y,Ed}$ мають бути меншими за опори пластини на одиницю ширини. Опори залежать від напрямку навантаження, для пластини $m_{x,p,Rd}$ та $m_{y,p,Rd}$, або для підкріпленої сторони $m_{x,s,Rd}$ і $m_{y,s,Rd}$, див. 8.2.5 та рисунок 8.27, задані формулами (8.133) і (8.134):

$$m_{x,p,Rd} = m_{x,s,Rd} = \frac{a_y W_{y,el}}{2a} \frac{f_o}{\gamma_{M1}} \quad (8.133)$$

$$m_{y,p,Rd} = m_{y,s,Rd} = \frac{a_x W_{x,el}}{L} \frac{f_o}{\gamma_{M1}}, \quad (8.144)$$

де

$W_{x,el}$ — момент опору для згину відносно осі x - x на всю довжину пластини L ;

$W_{y,el}$ — момент опору для згину відносно осі y - y одного елементу жорсткості разом з прилеглою пластиною в границях $2a$;

a_x — коефіцієнт форми згідно з 8.2.5.1(2);

$2a$ — довжина між елементами жорсткості;

L — довжина підкріпленої пластини.

— для сценаріїв 1, 2 та 3 у таблиці 8.10: $a_x W_{x,el} = Lt^2/4$;

— для сценаріїв 4 і 5 у таблиці 8.10 $W_{x,el}$ — момент опору для згину відносно осі x - x усієї підкріпленої пластини (для пластин з подвійною обшивкою) довжиною L .

Примітка. Підкріплені пластини з подвійною обшивкою не мають відповідного коефіцієнта форми a_x у пластичному режимі. Тож $a_x = 1$.

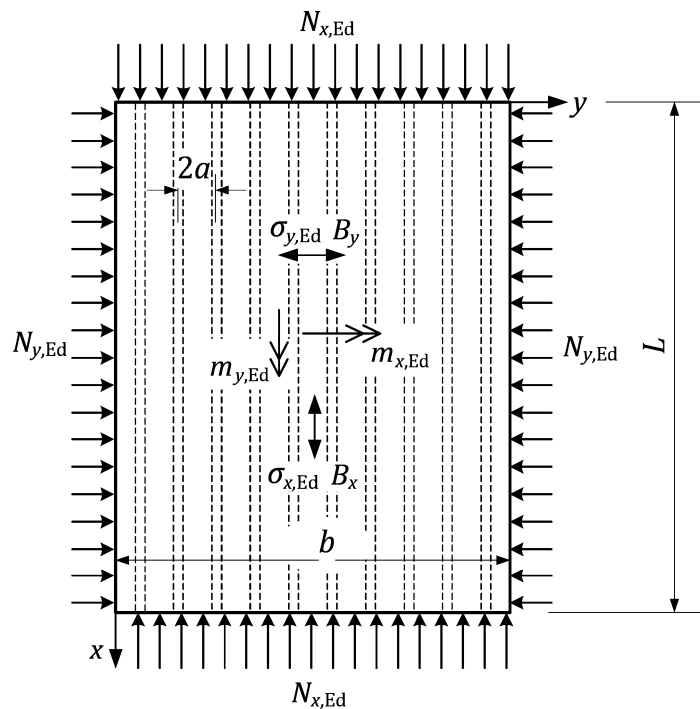


Рисунок 8.27 — Позначення для підкріпленої пластини. де $N_{x,Ed}$ та

$N_{y,Ed}$ — сумарні навантаження

8.7.7.2 Рівномірно розподілене навантаження

Прогин w та моменти $m_{x,Ed}$ і $m_{y,Ed}$, дозволено обчислити з використанням числових методів, наприклад, методу скінченних елементів (див. додаток В), або, для шарнірно обпертої пластини, за формулами (8.135) — (8.137):

$$m_{x,Ed} = B_x \frac{16q_{Ed}}{\pi^6} \sum_{m=1,3,5}^{\infty} \sum_{n=1,3,5}^{\infty} \left(\frac{\left(\frac{m\pi}{L}\right)^2 \cdot \sin\left(\frac{m\pi x}{L}\right) \sin\left(\frac{n\pi y}{b}\right)}{mn \left(\frac{m^4}{L^4} B_x + \frac{2m^2 n^2}{L^2 b^2} H + \frac{n^4}{b^4} B_y\right)} \right) \quad (8.135)$$

$$m_{y,Ed} = B_y \frac{16q_{Ed}}{\pi^6} \sum_{m=1,3,5}^{\infty} \sum_{n=1,3,5}^{\infty} \left(\frac{\left(\frac{n\pi}{b}\right)^2 \cdot \sin\left(\frac{m\pi x}{L}\right) \sin\left(\frac{n\pi y}{b}\right)}{mn \left(\frac{m^4}{L^4} B_x + \frac{2m^2 n^2}{L^2 b^2} H + \frac{n^4}{b^4} B_y\right)} \right) \quad (8.136)$$

$$w = \frac{16q_{Ed}}{\pi^6} \sum_{m=1,3,5}^{\infty} \sum_{n=1,3,5}^{\infty} \left(\frac{\sin\left(\frac{m\pi x}{L}\right) \sin\left(\frac{n\pi y}{b}\right)}{mn \left(\frac{m^4}{L^4} B_x + \frac{2m^2 n^2}{L^2 b^2} H + \frac{n^4}{b^4} B_y\right)} \right) \quad (8.137)$$

Примітка 1. Для обчислення згинальних моментів для сценаріїв 1 і 3, наведених в таблиці 8.10, впливом жорсткості під дією поперечного згину можна знехтувати. Це означає, що підкріплена пластина працює як ряд балок.

Примітка 2. Зазвичай достатньо трьох членів ряду в (8.135) — (8.137).

8.7.7.3 Місцеве розподілене навантаження

(1) Для визначення прогинів та моментів під дією місцевого розподіленого навантаження дозволено застосовувати числові методи.

8.7.8 Опір під дією комбінованого навантаження

8.7.8.1 Загальні положення

(1) Для перевірки стійкості підкріпленої пластини під дією комбінованого навантаження дозволено використовувати два методи:

1) Метод проєктування з урахуванням роботи обшивки згідно з 8.7.8.2;

2) Спосіб взаємодії згідно з 8.7.8.3.

8.7.8.2 Метод проєктування з урахуванням роботи обшивки

(1) Цей метод проєктування дозволено використовувати для листових панелей, основна функція яких — витримувати навантаження зсуву в

площині. Прилеглий каркас має витримувати усі осьові мембранні напруження і має бути перевірений на наявність таких напружень. Під час розрахунку пластинчасті панелі дозволено моделювати з урахуванням лише жорсткості на зсув.

(2) Взаємодію між зсувним зусиллям V_{Ed} , і згинальними моментами $m_{x,Ed}$ і $m_{y,Ed}$, обумовленими позаплощинним навантаженням, дозволено не враховувати, якщо $V_{Ed}/V_{Rd} \leq 0,32$ або $\eta_m \leq 0,32$. В іншому випадку має бути виконана умова, задана формулам и (8.138) і (8.139):

$$U = \sqrt{0,9 \left(\frac{V_{Ed}}{V_{Rd}} \right)^2 + 0,9 \eta_m^2} \leq 1 \quad (8.138)$$

де

U — ступінь використання,

$$\eta_m = \sqrt{\left(\frac{m_{x,Ed}}{m_{x,Rd}} \right)^2 + \left(\frac{m_{y,Ed}}{m_{y,Rd}} \right)^2 - \left(\frac{m_{x,Ed}}{m_{x,Rd}} \right) \left(\frac{m_{y,Ed}}{m_{y,Rd}} \right)}, \quad (8.139)$$

де

$m_{x,Rd}$ і $m_{y,Rd}$ — розрахункові опори згинальному моменту, засновані на напруженнях у пластині.

(3) Для профілів поперечного перерізу, що відповідають сценаріям № 1 або 2 у таблиці 8.10, опір згинального моменту, заснований на напруженнях у полиці профілю, має бути перевірений без взаємодії з зсувним зусиллям.

8.7.8.3 Спосіб взаємодії

(1) Для комбінованого наслідку дії осьових зусиль $N_{x,Ed}$ та $N_{y,Ed}$, зсувне зусилля V_{Ed} (виражене через формулу (8.142)) та згинальний момент, обумовлений позаплощинним навантаженням, вираженим через η_m з формули (8.139), має бути задоволена формула (8.140):

$$U = \sqrt{\eta_N^2 + 0,9 \eta_V^2 + 0,9 \eta_m^2 - k_{Nm} \eta_N \eta_m} \leq 1, \quad (8.140)$$

де

$$\eta_N = \sqrt{\left(\frac{N_{x,Ed}}{N_{x,b,Rd}}\right)^2 + \left(\frac{N_{y,Ed}}{N_{y,b,Rd}}\right)^2 - k_{xy} \left(\frac{N_{x,Ed}}{N_{x,b,Rd}}\right) \left(\frac{N_{y,Ed}}{N_{y,b,Rd}}\right)} \quad (8.141)$$

$$\eta_V = \frac{V_{Ed}}{V_{Rd}} \quad (8.142)$$

$k_{xy} = 2\chi_x\chi_y - 1$ якщо $N_{x,Ed}$ і $N_{y,Ed}$ обидва є стискальними, в іншому випадку

$$k_{xy} = 1 \quad (8.143)$$

$k_{Nm} = 1$, якщо згинальний момент $m_{x,Ed}$, призводить до стиснення в досліджуваному шарі, в іншому випадку

$$k_{Nm} = -1 \quad (8.144)$$

Опори $N_{x,b,Rd}$ та $N_{y,b,Rd}$ є розрахунковими осьовими опорами для втрати стійкості відносно осей у-у та х-х, відповідно. Коефіцієнти втрати стійкості χ_x та χ_y є понижувальними коефіцієнтами для втрати стійкості за згинальною формою відносно осей у-у та х-х відповідно. Опори втрати стійкості та понижувальні коефіцієнти дозволено визначати розглядаючи стрижневий піделемент, як вказано у 8.7.2(3), із застосуванням однакового підходу для обох напрямків (х і у) підкріпленої пластини, окремо.

Примітка. Для осьового стискального зусилля, направлено впоперек (поздовжнього) напрямку елемента жорсткості $N_{y,Ed}$ можна використовувати типову ширину піделементу. Пластини з подвійною обшивкою (рисунки 8.25 (d)) можуть чинити значний опір поперечному осьовому зусиллю. Такі панелі можуть проявляти як загальні вили втрати стійкості, так і локалізовані деформації пластин обшивки. Інформацію про плоску обшивку з поздовжніми елементами жорсткості наведено в 8.7.1(4) і примітці до нього.

8.8 Матеріали

8.8.1 Загальні положення

(1) Цей розділ містить положення щодо зварних двотаврових балок,

складених із полиць і стінок. Положення цього розділу також застосовні до стінок коробчастих балок.

Примітка. Зварна двотаврова балка являє собою балку-стінку з полицею, яка працює на розтяг, полицею, яка працює на стиск та стінкою у формі пластини. Стінка такої балки зазвичай є гнучкою і може бути підкріплена у поперечному напрямку за допомогою несних і проміжних елементів жорсткості та/або поздовжніх елементів жорсткості. Стінки втрачають стійкість за зсувною формою у випадку відносно невеликих прикладених навантажень, проте вже після втрати стійкості балка може зберегти значну несну здатність за рахунок дії поля розтягувальних зусиль. Зварні двотаврові балки часто конструюють з поперечним підкріпленням стінки у формі гофрів або близькорозташованих поперечних ребер жорсткості. Зварні двотаврові балки можуть зазнавати одночасного моментного, зсувного і осьового навантаження, а також місцевого навантаження на полицях. Внаслідок їх тонкостінності та гнучкості у них може виникати поперечно-крутильна втрата стійкості, якщо відсутнє належне розкріплення по довжині.

(2) Форми відмови для зварних двотаврових балок та посилання на розділи з виразами опору наведено в таблиці 8.11.

Таблиця 8.11 — Форми втрати стійкості та відповідні розділи з виразами опору

Форми втрати стійкості	Розділи
Втрата стійкості стінки балки під дією стиску	8.8.2 і 8.8.3
Зсувна втрата стійкості	8.8.4 і 8.9
Взаємодія зсувного зусилля і згинального моменту	8.8.6
Втрата стійкості стінкою через місцеві навантаження на полицях	8.8.5
Втрата стійкості стінкою, спричинена впливом полиць	8.8.7
Крутильна втрата стійкості полиць (місцева втрата стійкості)	8.1.5
Поперечно-крутильна втрата стійкості	8.3.2

8.8.2 Опір зварних двотаврових балок під дією вигину в площині

(1) Рекомендовано виконати перевірки на пластичне руйнування та

на втрату стійкості. Для безперервних поздовжніх зварних швів, рекомендовано враховувати вплив зони термічного впливу. Знеміцненням зони термічного впливу внаслідок приварювання поперечних елементів жорсткості можна знехтувати. Також можна знехтувати малими отворами у стінці, за умови, що їх загальна площа не перевищує 20 % площі поперечного перерізу стінки.

Примітка. Чисту висоту стінки балки між полицями позначають як h_w , а відстань між кромками зварних швів на полицях як b_w (див. рисунок 8.28).

(2) Для перевірки на пластичне руйнування розрахункове значення M_{Ed} у кожному поперечному перерізі має задовольняти формулу (8.145):

$$\frac{M_{Ed}}{M_{o,Rd}} \leq 1, \quad (8.145)$$

де $M_{o,Rd}$ для будь-якого класу поперечного перерізу є розрахунковим опором згинальному моменту, обчисленим за формулою (8.146) для перерізу, якби поперечний переріз було віднесено до класу 3:

$$M_{o,Rd} = \frac{W_{net} f_o}{\gamma_{M1}}, \quad (8.146)$$

де W_{net} — пружний момент опору, що враховує поправки на отвори і обчислюється за приведеною товщиною $\rho_{o,haz} t$ на ділянках, сусідніх із полицями балки, на які може вплинути знеміцнення зони термічного впливу (8.1.6.2). Інформацію щодо зварних швів вздовж середини стінки наведено у 8.1.4.4.

(3) Умови достовірності перевірки на втрату стійкості полягають в тому, що поперечні елементи жорсткості відповідають вимогам щодо ефективного елемента жорсткості, наведеним у 8.8.8 і що відстань між сусідніми поперечними елементами жорсткості перевищує половину чистої висоти стінки балки між полицями. У разі невиконання другої умови, застосовують пункт 8.9 для гофрованих або підкріплених великою кількістю елементів жорсткості стінок.

(4) Для кожного прогону балки довжиною a між поперечними елементами жорсткості розрахунковий момент на відстані від найбільш навантаженого краю, рівному меншому з $0,4a$ та $0,5h_w$, не має перевищувати розрахунковий момент опору $M_{o,Rd}$ для цього прогону, заданий формулою (8.147):

$$M_{o,Rd} = \frac{W_{eff} f_o}{\gamma_{M1}}, \quad (8.147)$$

де

W_{eff} — ефективний пружний момент опору, обчислений з використанням приведеної товщини для урахування можливості втрати стійкості та знеміцнення зони термічного впливу, але з нехтуванням отворів. Приведена товщина дорівнює меншому з двох значень $\rho_{o,haz} t$ та $\rho_c t$ на ділянках зони термічного впливу, і $\rho_c t$ у інших зонах, див. 8.2.5.2.

(5) Відношення напружень ψ застосоване у 8.1.4.3 і відповідну ширину b_c , рекомендовано обчислювати на основі ефективної площі перерізу стиснутої полиці балки і площі бруто перерізу стінки; див. рисунок 8.28(с), для центру ваги G_1 .

(6) Якщо стиснутий край стінки балки знаходиться ближче до нейтральної осі балки, ніж розтягнутий (див. рисунок 8.28 (с)), то дозволено застосувати методику з 8.1.4.3. з ітераційним розрахунком, під час якого ψ обчислюють на кожному кроці за напруженнями, розрахованими для ефективного перерізу, встановленого на попередньому кроці.

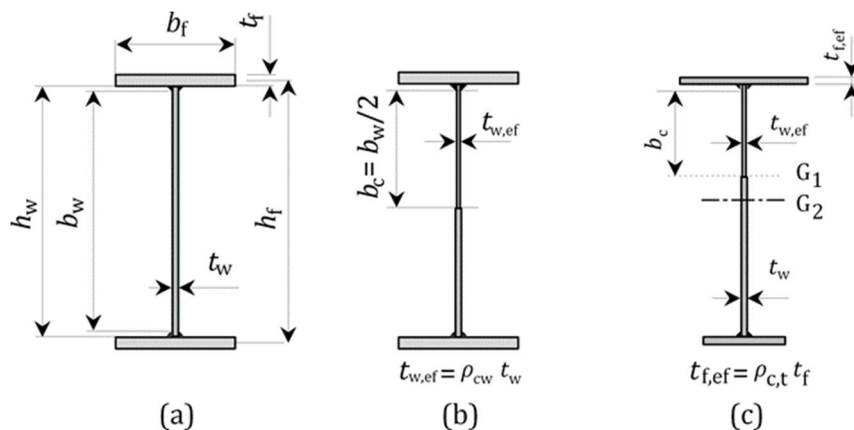


Рисунок 8.28 — Зварна двотаврова балка під дією згину

Умовні позначки:

- (а) умовні позначки для поперечних перерізів;
- (b) ефективний поперечний переріз для симетричної зварної двотаврової балки з полицями класів 1, 2 і 3;
- (с) ефективний поперечний переріз для балки з меншою розтягнутою полицею (нижня) і стиснутою полицею класу 4 (верхня).

Рисунок 8.28 — Аркуш 2

8.8.3 Зварні двотаврові балки з поздовжніми елементами жорсткості

(1) Перевірку пластини на втрату стійкості під дією поздовжніх стискальних зусиль рекомендовано виконувати, використовуючи величину ефективного перерізу, застосованого до перерізів 4-го класу.

(2) Характеристики ефективних поперечних перерізів рекомендовано обчислювати за ефективними площами стиснутих частин перерізу з урахуванням їх розташування у складі ефективного поперечного перерізу.

(3) На першому етапі рекомендовано обчислити ефективні площі плоских стиснутих панелей між елементами жорсткості, з використанням ефективних товщин згідно з 8.1.5, див. рисунок 8.29.

(4) Загальну втрату стійкості пластиною, включаючи втрату стійкості елементами жорсткості, рекомендовано розглядати як згинальну форму втрати стійкості стрижня, складеного з елементів жорсткості та половини прилеглої частини стінки. Якщо у границях панелі напруження міняють знак від стиску до розтягу, то до складу стиснутого стрижня рекомендовано включити одну третину стиснутої частини, див. рисунок 8.29(с).

(5) Ефективні товщини різних частин перерізу стиснутого стрижня рекомендовано знижувати на другому етапі розрахунку за допомогою понижувального коефіцієнта χ , взятого з відповідної кривої втрати стійкості, що відповідає втраті стійкості стрижня як простої стиснутої розпірки з площини стінки.

(6) Відносна гнучкість $\bar{\lambda}$ для обчислення χ має бути такою, як

зазначено у формулах (8.148) — (8.151):

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{st,eff} f_o}{N_{cr}}}, \quad (8.148)$$

де

$A_{st,eff}$ — ефективна площа поперечного перерізу колони з першого етапу розрахунку (див. рисунок 8.29с);

N_{cr} — пружне критичне навантаження, визначене за формулами (8.149) та (8.150).

$$N_{cr} = 1,05E \frac{\sqrt{I_{st} t_w^3 b_w}}{b_1 b_2}, \text{ якщо } a > a_c \quad (8.149)$$

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 E I_{st}}{a^2} + \frac{E t_w^3 b_w a^2}{4\pi^2 (1 - \nu^2) b_1^2 b_2^2}, \text{ якщо } a \leq a_c \quad (8.150)$$

$$a_c = 4,33 \sqrt[4]{\frac{I_{st} b_1^2 b_2^2}{t_w^3 b_w}} \quad (8.151)$$

де

I_{st} — момент інерції поперечного перерізу бруто елемента жорсткості і прилеглої частини стінки балки (див. (7)) відносно осі, яка проходить через її центр ваги і паралельна площині стінки;

b_1 і b_2 — відстані від крамок зварних швів на полицях до елемента жорсткості ($b_1 + b_2 = b_w$);

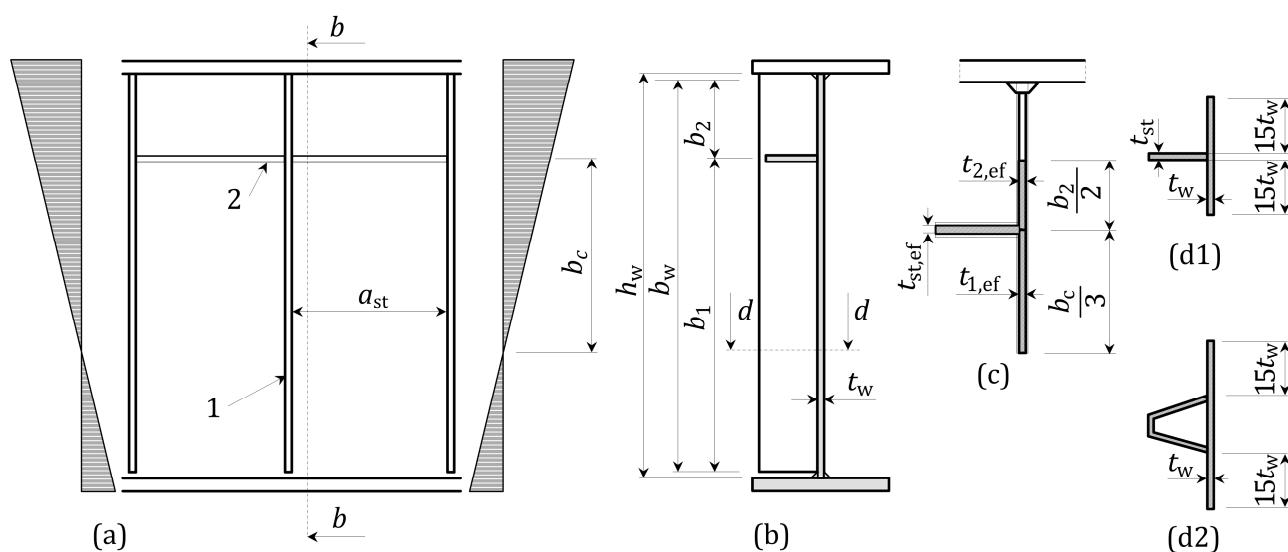
a_c — довжина напівхвилі для пружної втрати стійкості елемента жорсткості.

(7) Для обчислення I_{st} рекомендовано прийняти, що стрижень складений власне з елемента жорсткості та ефективної ширини $15t_w$ пластини стінки балки з обох боків елемента жорсткості (рисунок 8.29(d_1) та (d_2)).

(8) У випадку двох поздовжніх елементів жорсткості, на які діє стиск, їх рекомендовано об'єднати, щоб ефективна площа і момент інерції

перерізу порівнювали сумі відповідних величин окремих елементів жорсткості. Положення об'єднаного елемента жорсткості має відповідати положенням рівнодійної осьових зусиль в окремих елементах жорсткості. Ту ж методику дозволено застосовувати і в тому випадку, якщо один з елементів жорсткості знаходиться в розтягнутому стані.

Примітка. Якщо у одному з елементів жорсткості зусилля розтягуючі, ця методика буде консервативною.



Умовні позначки

1 — поперечний елемент жорсткості;

2 — поздовжній елемент жорсткості.

(a) — підкріплена стінка

(b) — поперечний переріз

(c) — ефективна площа стрижньового елемента жорсткості;

(d1), (d2) — поперечний переріз для розрахунку I_{st}

Рисунок 8.29 — Підкріплена стінка зварної двотаврової балки під дією згину

8.8.4 Опір зсуву

8.8.4.1 Загальні положення

(1) 8.8.4 містить рекомендації щодо розрахунку зсувної втрати стійкості у випадках, коли виконуються всі наступні критерії:

а) панелі є прямокутними, а полиці балок паралельними або нахиленими відносно одне одної на кут, що не перевищує 10° ;

б) елементи жорсткості, встановлені у поздовжньому та/або поперечному напрямках;

с) відкриті отвори або вирізи мають малі розміри, а їх діаметри обмежені величиною d , що задовольняє співвідношення $d/h_w \leq 0,05$;

д) елементи, на відміну від а) є однорідними.

(2) Зварну двотаврову балку у стані зсуву потрібно перевіряти на втрату стійкості, згідно з формулою (8.152):

$$\frac{V_{Ed}}{V_{Rd}} \leq 1,0, \quad (8.152)$$

де

V_{Ed} — розрахункове значення зсувного зусилля;

V_{Rd} — розрахунковий опір під дією зсуву, див. 8.8.4.2 або 8.8.4.3.

8.8.4.2 Зварні двотаврові балки з елементами жорсткості стінки балки на опорах

(1) Пластини з елементами жорсткості стінки балки лише на опорах (див. рисунок 8.30) та $h_w/t_w > (2,37/\eta)\sqrt{E/f_o}$ рекомендовано перевіряти на опір зсувній втраті стійкості.

Національна примітка

У формулі допущено технічну помилку. Замість η має бути η_{sb} .

Примітка 1. Для η_{sb} див. таблицю 8.12, для h_w і t_w див. рисунок 8.30.

Примітка 2. На рисунку 8.30 показано різні кінцеві опори для балок:

а) без кінцевого опорного ребра. див. 8.8.5, тип (а);

б) жорстке кінцеве опорне ребро. див. 8.8.8.1; також застосовне для панелей, розташованих не на кінці балки і на проміжних опорах жорстких балок;

с) нежорсткі кінцеві опорні ребра, див. 8.8.8.2;

д) болтове з'єднання, див. 8.8.8.2, під час розрахунку опору як нежорстке.

(2) Для стінок балок із поперечними елементами жорсткості лише у

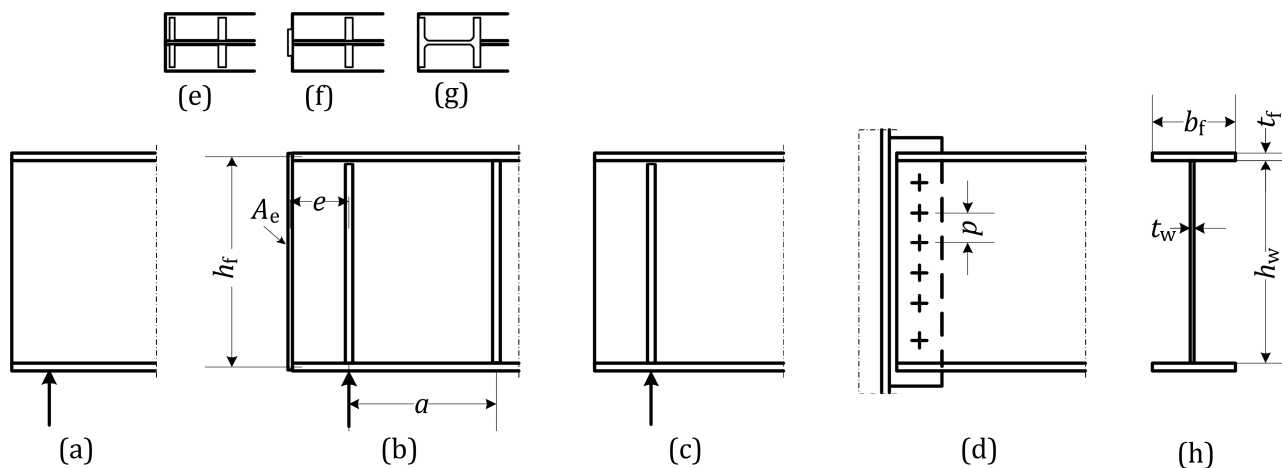
районі опор, розрахунковий опір V_{Rd} для зсувної втрати стійкості рекомендовано приймати згідно з формулою (8.153):

$$V_{Rd} = \rho_v t_w h_w \frac{f_{ow}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}}, \quad (8.153)$$

де ρ_v дозволено отримати із таблиці 8.12 або рисунка 8.31.

Таблиця 8.12 — Коефіцієнт для зсувної втрати стійкості ρ_v

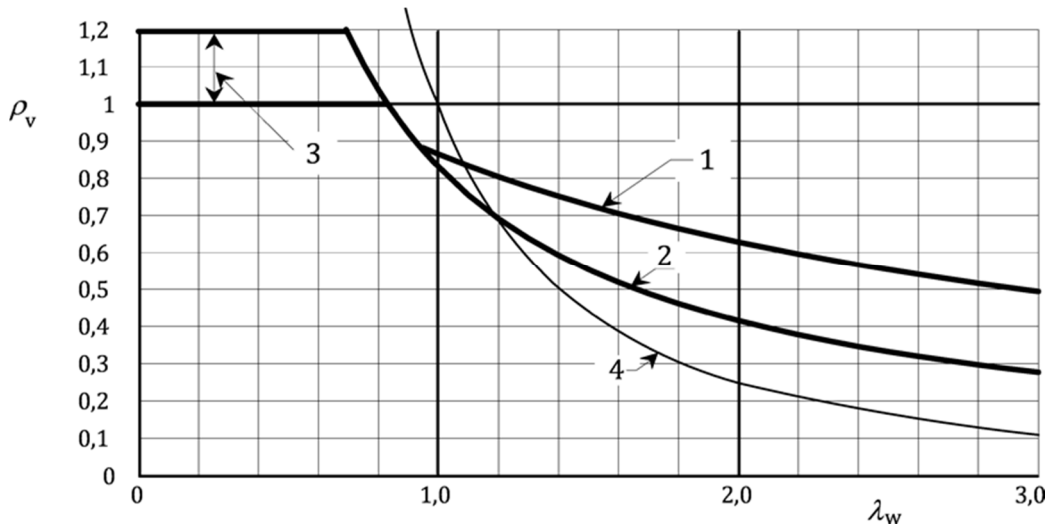
	ρ_v	
Діапазон значень $\bar{\lambda}_w$	Жорстке кінцеве опорне ребро	Нежорстке кінцеве опорне ребро
$\bar{\lambda}_w \leq 0,83/\eta_{sb}^a$	η_{sb}	η_{sb}
$0,83/\eta_{sb} < \bar{\lambda}_w < 0,937$	$0,83\eta_{sb}/\bar{\lambda}_w$	$0,83/\bar{\lambda}_w$
$0,937 \leq \bar{\lambda}_w$	$2,3/(1,66 + \bar{\lambda}_w)$	$0,83/\bar{\lambda}_w$
^a $\eta_{sb} = 0,7 + 0,35 f_{uw}/f_{ow}$, але не більше ніж 1,2, де f_{ow} — 0,2 % умовної границі текучості; f_{uw} — границя міцності матеріалу стінки.		



Умовні позначки:

- (a) — без кінцевого опорного ребра
- (b) — жорстке кінцеве опорне ребро
- (c) — нежорстке кінцеве опорне ребро
- (d) — болтове з'єднання
- (e), (f), (g) — альтернативне жорстке кінцеве опорне ребро
- (h) — поперечний переріз

Рисунок 8.30 — Кінцеві елементи жорсткості



Умовні позначки:

- 1 — жорстке кінцеве опорне ребро;
- 2 — нежорстке кінцеве опорне ребро;
- 3 — діапазон значень η_{sb} ;
- 4 — пружна втрата стійкості.

Рисунок 8.31 — Коефіцієнт для зсувної втрати стійкості ρ_v

(3) Відносна гнучкість $\bar{\lambda}_w$ у таблиці 8.12 і на рисунку 8.31 мають відповідати формулі (8.154):

$$\bar{\lambda}_w = 0,35 \frac{b_w}{t_w} \sqrt{\frac{f_{ow}}{E}} \quad (8.154)$$

8.3.1.1 Зварні двотаврові балки із проміжними елементами жорсткості стінок

Пластини з елементами жорсткості стінки у поздовжньому та/або поперечному напрямку із

$$\frac{h_w}{t_w} > \left(\frac{1,02}{\eta_{sb}} \right) \sqrt{\frac{k_\tau E}{f_o}}$$

мають бути перевірені на опір зсувній втраті стійкості, і такі балки мають бути забезпечені поперечними елементами жорсткості на опорах.

Примітка. Щодо η_{sb} див. таблицю 8.12, для h_w та t_w див. рисунок 8.32 і для k_τ

див. параграф (5).

(2) У балках з поперечними і поздовжніми елементами жорсткості розрахунковий опір зсувній втраті стійкості $V_{b,Rd}$ — є сумою часток $V_{w,Rd}$ стінки і $V_{f,Rd}$ полиць, як наведено у формулі (8.155):

$$V_{b,Rd} = V_{w,Rd} + V_{f,Rd} \quad (8.155)$$

де величина $V_{w,Rd}$ враховує часткову дію поля розтягувальних напружень у стінці згідно з параграфом (3), а $V_{f,Rd}$ — приріст поля розтягувальних напружень, викликаний місцевим опором згину полиць балки згідно з (8).

(3) Внесок від стінки балки у розрахунковий опір зсуву рекомендовано приймати згідно з формулою (8.156):

$$V_{w,Rd} = \rho_v t_w h_w \frac{f_{ow}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}} \quad (8.156)$$

де

(4) Відносна гнучкість $\bar{\lambda}_w$ у таблиці 8.12 або на рисунку 8.31 має бути розрахована згідно з формулою (8.157):

$$\bar{\lambda}_w = \frac{0,81 b_w}{\sqrt{k_\tau} t_w} \sqrt{\frac{f_{ow}}{E}} \quad (8.157)$$

де k_τ — мінімальний коефіцієнт зсувної втрати стійкості для панелі стінки балки. Якщо полиці та поперечні елементи жорсткості достатньо жорсткі, дозволено вважати, що мають місце граничні умови жорсткого защемлення, див. 8.8.8.3, за умови що панель стінки балки — це панель між двома сусідніми поперечними елементами жорсткості.

(5) Для пластин із жорсткими поперечними елементами жорсткості, але без поздовжніх елементів жорсткості, або більше ніж з двома поздовжніми елементами жорсткості, коефіцієнт зсувної втрати стійкості k_τ з параграфу (6) рекомендовано приймати за формулами (8.158) — (8.160):

$$k_\tau = 5,34 + 4,00(b_w/a_{st})^2 + k_{\tau st}, \text{ якщо } a/b_w \geq 1 \quad (8.158)$$

$$k_{\tau} = 4,00 + 5,34(b_w/a_{st})^2 + k_{\tau st}, \text{ якщо } a/b_w < 1 \quad (8.159)$$

$$k_{\tau st} = 20,5 \left(\frac{b_w}{a_{st}} \right)^2 \left(\frac{\beta_{st} I_{st}}{t_w^3 b_w} \right)^{3/4}, \text{ але не менше за } \frac{3,0}{t_w} \left(\frac{\beta_{st} I_{st}}{b_w} \right)^{1/3} \quad (8.160)$$

Де a_{st} — відстань між поперечними елементами жорсткості (див. рисунок 8.32) та I_{st} — момент інерції перерізу поздовжнього елемента жорсткості відносно осі z , див. рисунок 8.32(b). Для стінок балок із двома однаковими елементами жорсткості або більшою їх кількістю, не обов'язково розташованих на рівних відстанях, I_{st} — момент інерції всіх окремих елементів жорсткості. Значення β_{st} рекомендовано приймати рівним 1/3 — для поздовжніх елементів жорсткості відкритого перерізу та 1,0 — для поздовжніх елементів жорсткості закритого/порожнистого перерізу.

(6) Формула (8.160) також застосовна до пластин з одним або двома поздовжніми елементами жорсткості, якщо співвідношення розмірів є $a_{st}/b_w \geq 3$. Для листів із одним або двома поздовжніми елементами жорсткості для співвідношення розмірів $a_{st}/b_w < 3$ коефіцієнт зсувної втрати стійкості рекомендовано приймати за формулою (8.161):

$$k_{\tau} = 4,1 + \frac{6,3 + 0,54\beta_{st}I_{st}/(t_w^3 b_w)}{a_{st}^2} + 3,2 \left(\frac{\beta_{st} I_{st}}{t_w^3 b_w} \right)^{1/3} \quad (8.161)$$

(7) Для стінок балки з поздовжніми елементами жорсткості відносну гнучкість $\bar{\lambda}_w$, рекомендовано приймати не меншою ніж за формулою (8.162):

$$\bar{\lambda}_w = \frac{0,81}{\sqrt{k_{\tau 1}}} \frac{b_{w1}}{t_w} \sqrt{\frac{f_{ow}}{E}} \quad (8.162)$$

Де $k_{\tau 1}$ та b_{w1} відносяться до панелі з найбільшим коефіцієнтом гнучкості $\bar{\lambda}_w$ серед панелей даної стінки. Для $k_{\tau 1}$ дозволено використовувати формули (8.158) і (8.159) з $k_{\tau st} = 0$.

(8) Якщо під час опору згинальному моменту опір полиці вичерпано

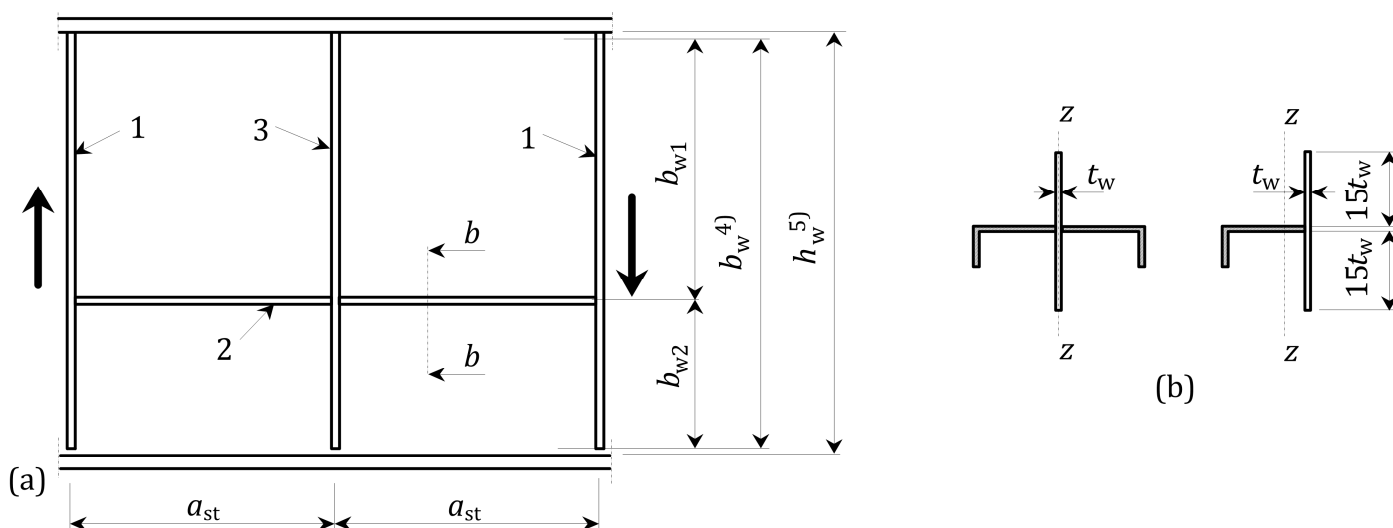
не повністю ($M_{Ed} < M_{f,Rd}$, крива (1) на рисунку 8.35), то до опору зсувній втраті стійкості дозволено включити опір зсуву полиць $V_{f,Rd}$, як наведено у формулі (8.163):

$$V_{f,Rd} = \frac{b_f t_f^2 f_{of}}{c_f \gamma_{M1}} \left(1 - \left(\frac{M_{Ed}}{M_{f,Rd}} \right)^2 \right), \quad (8.163)$$

де b_f та t_f прийняті для полиці балки, що дає найнижчий опір; b_f приймають не більшим ніж $15t_f$ по кожній стороні стінки балки, а $M_{f,Rd}$ — розрахунковий момент опору поперечного перерізу лише ефективних полиць балок, і параметр c_f дозволено прийняти за формулою (8.164):

$$c_f = a_{st} \left(0,08 + \frac{4,4 b_f t_f^2 f_{of}}{t_w b_w^2 f_{ow}} \right) \quad (8.164)$$

Якщо $M_{Ed} \geq M_{f,Rd}$, то $V_{f,Rd} = 0$. Для подальшої взаємодії див. 8.8.6.



Умовні позначки:

- 1 — жорсткий поперечний елемент жорсткості;
- 2 — поздовжній елемент жорсткості;
- 3 — нежорсткий поперечний елемент жорсткості;
- 4 — відстань між кутовими швами;
- 5 — чиста висота стінки балки між полицями.

Рисунок 8.32 — Стінка з поперечними та поздовжніми елементами жорсткості

(9) За наявності осьового зусилля N_{Ed} , величину $M_{f,Rd}$ (див. 8.8.6.1(2))

рекомендовано домножити на коефіцієнт, наведений у формулі (8.165):

$$\left(1 - \frac{N_{Ed}}{(A_{f1} + A_{f2} f_{of}/\gamma_{M1})}\right) \quad (8.165)$$

де

A_{f1} та A_{f2} — є ефективними площами верхньої та нижньої полиць відповідно.

8.8.5 Опір поперечним навантаженням

8.8.5.1 Загальні положення

(1) Опір стінок пресованих і зварних двотаврових балок прикладеним до полиць поперечним силам, рекомендовано визначати за 8.8.5 за умови, що полиці балок закріплено від переміщень у поперечному напрямку або завдяки їх власній жорсткості, або за допомогою в'язей.

Навантаження дозволено прикладати так:

- а) через одну полицю балки і сприймається зсувними зусиллями у стінці балки. Тип (а) на рисунку 8.33;
- б) до однієї полиці балки і передається через стінку балки на іншу полицю. Тип (б) на рисунку 8.33;
- с) через одну полицю балки у безпосередній близькості до непідсиленого кінця. Тип (с) на рисунку 8.33.

(2) Для балок коробчастого перерізу з похилими стінками рекомендовано перевіряти опір як стінок, так і полиць. Внутрішні зусилля, які необхідно враховувати, відповідають складовим зовнішнього навантаження відповідно у площинах стінки та полиці балки.

(3) Опір стінки балки поперечним навантаженням, прикладеним через полиці, потрібно перевіряти за формулою (8.166):

$$F_{Ed}/F_{Rd} \leq 1,0 , \quad (8.166)$$

де

F_{Ed} — розрахункове значення поперечного зусилля;

F_{Rd} — розрахунковий опір поперечній силі, див. 8.8.5.2.

(4) Спільну дію поперечної сили, згинального моменту та осьового зусилля рекомендовано перевіряти згідно з 8.8.6.3.

8.8.5.2 Розрахунковий опір

Для непідкріплених і підкріплених стінок балок розрахунковий опір місцевій втраті стійкості під дією поперечних навантажень F_{Rd} рекомендовано приймати за формулою (8.167):

$$F_{Rd} = L_{eff} t_w f_{ow} / \gamma_{M1}, \quad (8.167)$$

де

f_{ow} — характеристичне значення міцності матеріалу стінки;

L_{eff} — ефективна довжина для опору поперечним навантаженням, яку рекомендовано визначати за формулою (8.168):

$$L_{eff} = \chi_F l_y, \quad (8.168)$$

де

l_y — ефективна навантажена довжина (див. 8.8.5.5), що відповідає довжині жорстких обпирань S_s , див 8.8.5.3;

χ_F — понижувальний коефіцієнт, що враховує можливість місцевої втрати стійкості, див. 8.8.5.4.

8.8.5.3 Довжина жорсткого обпирання

(1) Довжину жорсткого обпирання s_s на полицю балки, тобто відстань, вздовж якої прикладено навантаження, рекомендовано визначати за розподілом навантаження у твердому матеріалі з ухилом 1:1, див. рисунок 8.34. Проте значення s_s не рекомендовано приймати більшим за b_w .

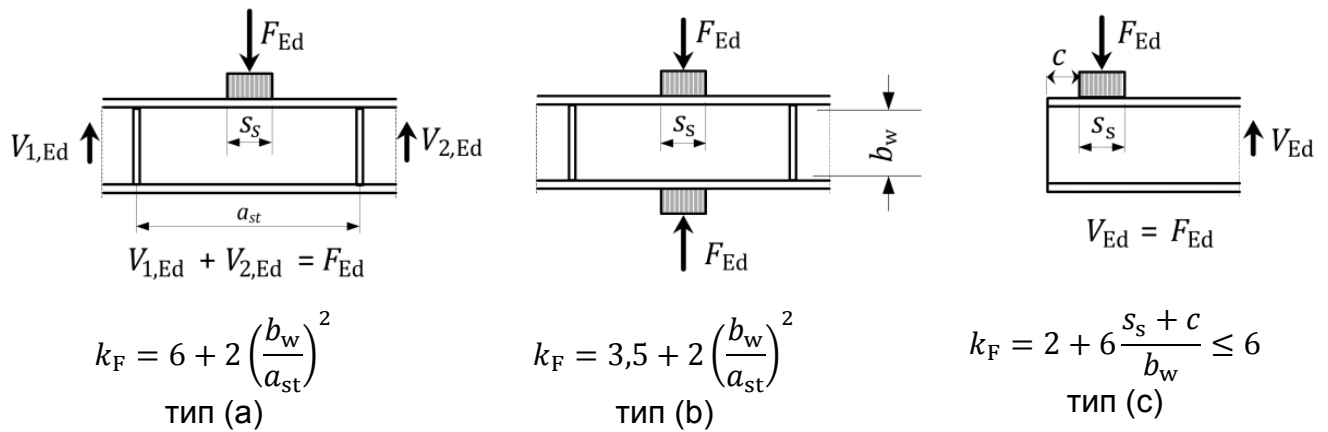


Рисунок 8.33 — Прикладення навантажень та коефіцієнти втрати стійкості

(2) Якщо декілька зосереджених навантажень розташовані поряд (відстань між навантаженнями $< s_s$ для окремих навантажень), опір рекомендовано перевіряти для кожного окремо взятого навантаження, а також для сукупного навантаження з відстанню s_s , взятою як відстань між центрами крайніх навантажень.

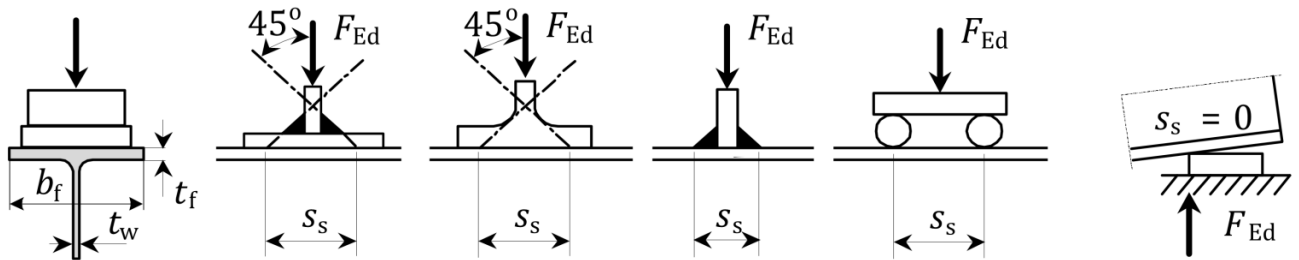


Рисунок 8.34 — Довжина жорсткого обпирання

8.8.5.4 Понижувальний коефіцієнт опору χ_F

(1) Понижувальний коефіцієнт опору χ_F рекомендовано обчислювати за формулами (8.169) — (8.171):

$$\chi_F = \frac{0,5}{\bar{\lambda}_F}, \text{ але не більше } 1,0, \quad (8.169)$$

де

$$\bar{\lambda}_F = \sqrt{\frac{l_y t_w f_{ow}}{F_{cr}}} \quad (8.170)$$

$$F_{cr} = \frac{0,9 k_F E t_w^3}{b_w} \quad (8.171)$$

l_y — ефективна завантажена довжина, отримана згідно 8.8.5.5.

(1) Для стінок без поздовжніх елементів жорсткості коефіцієнт k_F потрібно брати з рисунка 8.33.

(3) Для стінок з поздовжніми елементами жорсткості значення k_F рекомендовано приймати за формулами (8.172) і (8.173):

$$k_F = 6 + 2(h_w/a)^2 + (5,44b_1/a - 0,21)\sqrt{\gamma_s}, \quad (8.172)$$

де

b_1 — висота навантаженої допоміжної панелі, прийнята як чиста відстань між навантаженою полицею балки та елементом жорсткості;

a — наведено на рисунку 8.30.

$$\gamma_s = 10,9I_{sl}/h_w t_w^3 \leq 13(a/h_w)^3 + 210(0,3 - b_1/h_w), \quad (8.173)$$

де

I_{sl} — момент інерції (відносно осі z-z) перерізу найближчого до навантаженої полиці балки елемента жорсткості, включаючи додаткові робочі частини стінки згідно з рисунком 8.32. Формула (8.173) допустима для $0,05 \leq b_1/h_w \leq 0,3$ і навантаження типу (a) на рисунку 8.33.

8.8.5.5 Ефективна навантажена довжина

(1) Ефективну навантажену довжину l_y рекомендовано обчислювати згідно з параграфами (2) або (3), з використанням двох безрозмірних параметрів m_1 та m_2 , отриманих за формулами (8.174) і (8.175):

$$m_1 = f_{of}b_f/f_{ow}t_w \quad (8.174)$$

$$m_2 = 0,02(h_w/t_f)^2 \text{ if } \bar{\lambda}_w > 0,5 \text{ в інших випадках } m_2 = 0, \quad (8.175)$$

де

b_f — ширина полиці (див. рисунок 8.34). Для балок коробчастого профілю b_f , у формулі (8.174) обмежено $15t_f$ на кожній стороні стінки балки.

(2) Для типів (a) і (b) на рисунку 8.33, значення l_y рекомендовано обчислювати за формулою (8.176):

$$l_y = S_s + 2t_f(1 + \sqrt{m_1 + m_2}), l_y \leq a_{st} \quad (8.176)$$

(3) Для типу (с) на рисунку 8.33 l_y рекомендовано брати як меншу з величин, обчислених за формулами (8.177) — (8.179).

8.8.6 Спільна дія навантажень

8.8.6.1 Спільна дія сили зсуву, згинального моменту та осевого зусилля

(1) За умови, що полиці витримують всі розрахункові значення згинального моменту і осевої сили в елементі, для врахування моменту і осевої сили в елементі не потрібно зменшувати розрахунковий опір стінки зсуву, за винятком випадків, зазначених у 8.8.4.3(9).

(2) Якщо $M_{Ed} > M_{f,Rd}$, то рекомендовано задовольнити умову, наведену у формулі (8.180) (згідно з кривими (2) та (3) на рисунку 8.35):

$$\frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}} + \left(1 - \frac{M_{f,Rd}}{M_{pl,Rd}}\right) \left(\frac{2V_{Ed}}{V_{Rd}} - 1\right)^2 \leq 1,0, M_{Ed} \leq M_{o,Rd}, \quad (8.180)$$

де

$M_{o,Rd}$ — розрахунковий опір згинальному моменту згідно з 8.8.2 (4).

$$M_{f,Rd} = \min\left(\frac{A_{f1} h_f f_{of1}}{\gamma_{M1}}, \frac{A_{f2} h_f f_{of2}}{\gamma_{M1}}\right) — \text{розрахунковий опір поперечного}$$

перерізу згинальному моменту, складений лише з ефективної площі фланців.

$$M_{pl,Rd} = W_{pl} f_o / \gamma_{M1},$$

де

W_{pl} — пластичний момент опору перерізу, на основі $f_o = \min(f_{of1}; f_{of2})$.

(3) Якщо також прикладено осеве зусилля N_{Ed} , значення $M_{pl,Rd}$ рекомендовано замінити на $M_{N,Rd}$, заданого формулою (8.181):

$$M_{N,Rd} = M_{pl,Rd} \left(1 - \left(\frac{N_{Ed}}{(A_{f1} + A_{f2}) f_o / \gamma_{M1}}\right)^2\right), \quad (8.181)$$

де

A_{f1} та A_{f2} — площі полиць балки.

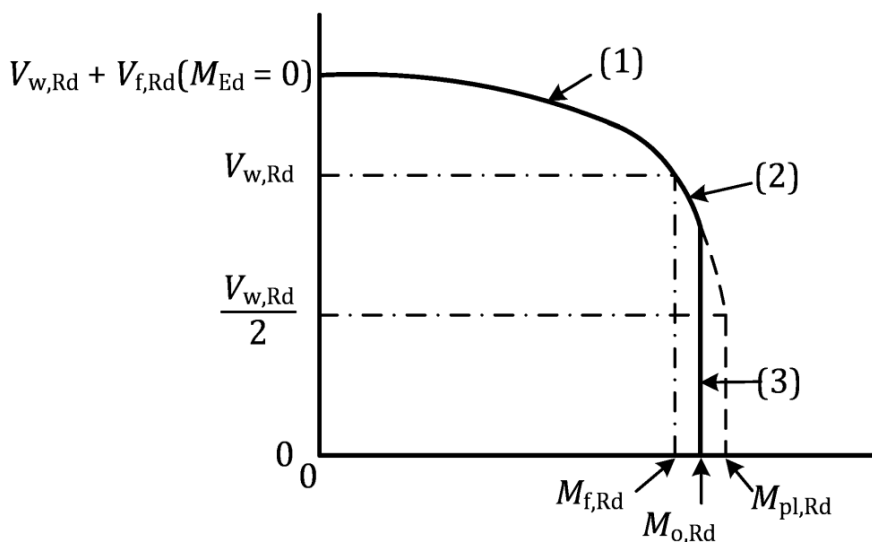


Рисунок 8.35 — Спільна дія опору силі зсуву і опору згинальному моменту

8.6.6.2 Спільна дія поперечного навантаження, згинального моменту та осевого зусилля

(1) Якщо зварна балка зазнає впливу зосередженої сили, прикладеної до стиснутої полиці разом зі згинальним моментом та осевою силою, то опір рекомендовано перевіряти за методиками 8.2.9, 8.8.5.1 і рівнянням взаємодії (8.182):

$$\frac{F_{Ed}}{F_{Rd}} + 0,8 \left(\frac{M_{Ed}}{M_{o,Rd}} + \frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \right) \leq 1,4 \quad (8.182)$$

де

$M_{c,Rd}$ — розрахунковий опір згинальному моменту згідно з 8.8.2(4);

$N_{b,Rd}$ — розрахунковий опір втраті стійкості, див. 8.3.1.2.

Національна примітка.

В символах допущено технічну помилку. Замість $M_{c,Rd}$ має бути $M_{o,Rd}$

(2) Якщо зосереджена сила діє на розтягнуту полицю балки, то рекомендовано перевірити несну здатність згідно з 8.8.5, а також додатково 8.2.1(4).

8.8.6.3 Спільна дія поперечного навантаження, згинального

моменту та зсувного зусилля

(1) Якщо зварна балка зазнає впливу зосередженої сили, прикладеної до стиснутої полиці разом зі згинальним моментом та зсувним зусиллям, рівнянь взаємодії, то опір рекомендовано перевіряти за методиками 8.2.9, 8.8.4.2, 8.8.5.1 і рівнянням взаємодії (8.183):

$$\left(\frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}} \right)^{3,6} + \left(\frac{V_{Ed}}{V_{w,Rd}} \left(1 - \frac{F_{Ed}}{2V_{Ed}} \right) \right)^{1,6} + \frac{F_{Ed}}{F_{Rd}} \leq 1,0, \quad (8.183)$$

де

$M_{pl,Rd} = W_{pl}f_o/\gamma_{M1}$, де W_{pl} — пластичний момент опору;

$V_{w,Rd}$ — внесок від стінки балки у розрахунковий опір зсувному зусиллю потрібно приймати за 8.8.4.3;

F_{Rd} — розрахунковий опір поперечній силі, згідно з 8.8.5.2

8.8.7 Втрата стійкості під навантаженням на полиці

(1) Для запобігання можливості втрати стійкості стиснутої полиці у площині стінки балки, відношення b_w/t_w для стінки має задовольняти наступний критерій (8.184):

$$\frac{b_w}{t_w} \leq \frac{0,55E}{f_{of}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc}}}, \quad (8.184)$$

де

A_w — площа поперечного перерізу стінки балки;

A_{fc} — площа поперечного перерізу стиснутої полиці балки;

(2) Якщо зварна балка вигнута по висоті, причому стиснута полиця знаходиться на увігнутій стороні, то відношення b_w/t_w для стінки балки має задовольняти наступний критерій (8.185):

$$\frac{b_w}{t_w} \leq \frac{kE}{f_{of}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc}}} \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{b_w E}{3r f_{of}}}}, \quad (8.185)$$

де

r — радіус кривини стиснутої полиці балки.

(3) Якщо на стінці балки встановлено поперечні елементи жорсткості, то граничну величину b_w/t_w дозволено домножити на коефіцієнт $1 + (b_w/a)^2$.

8.8.8 Елемент жорсткості стінки балки

8.8.8.1 Жорстке кінцеве опорне ребро

(1) Жорстке кінцеве опорне ребро (див. рисунок 8.30) має працювати як несний елемент жорсткості, що сприймає реакції від опор балки, а також як коротка балка, що сприймає поздовжнє мембранне напруження у площині стінки балки. Воно може містити один елемент жорсткості біля кінця балки та один двосторонній поперечний елемент жорсткості, що разом утворюють полиці короткої балки довжиною h_f (див рисунок 8.30(b)). Відсік стінки балки між двома елементами жорсткості утворює стінку короткої балки-стінки. В інших випадках кінцеве опорне ребро може мати вигляд вставки, приєднаної до кінця стінки балки.

Примітка. Двосторонній поперечний елемент жорсткості може працювати як несний елемент жорсткості, сприймаючи реакції на опори балки (див. 8.2.11).

(2) Рекомендовано, щоб площа поперечного перерізу елемента жорсткості на кінці балки була щонайменше $4h_ft_w^2/e$, де e — відстань між центрами елементів жорсткості і $e > 0,1h_f$, див. рисунок 8.30(b).

(3) Якщо кінцеве опорне ребро є єдиним засобом забезпечення опору крученню на кінці балки, то момент інерції перерізу кінцевого опорного ребра відносно осьової лінії стінки (I_{ep}) має задовольняти формулу (8.186):

$$I_{ep} \geq b_w^3 t_f F_{e,Ed} / 250 F_t, \quad (8.186)$$

де

t_f — максимальне значення товщини полиці вздовж балки;

$F_{e,Ed}$ — реакція на кінці балки під дією розрахункового навантаження;
 F_t — повне розрахункове навантаження, що діє на прилеглий прогін.

8.8.8.2 Нежорстке кінцеве опорне ребро та болтове з'єднання

(1) Нежорстке кінцеве опорне ребро може бути одинарним двостороннім елементом жорсткості, як це показано на рисунку 8.30(с). Воно може працювати як несний елемент жорсткості, сприймаючи реакції на опорі балки (див. 8.2.11).

(2) Опір зсувному зусиллю болтового з'єднання, як показано на рисунку 8.30(d), дозволено приймати таким самим, як для балки з нежорстким кінцевим опорним ребром за умови, що відстань між болтами становить $p < 40t_w$.

8.8.8.3 Проміжні поперечні елементи жорсткості

(1) Проміжні елементи жорсткості, що працюють як жорсткі опори внутрішніх панелей стінки балки, рекомендовано перевіряти на міцність і жорсткість.

(2) Інші проміжні поперечні елементи жорсткості дозволено розглядати як гнучкі; їх жорсткість враховано у розрахунку k_t , 8.8.4.3.

(3) Рекомендовано щоб проміжні поперечні елементи жорсткості, що працюють як жорсткі опори для панелей стінок, мали мінімальний момент інерції I_{st} , як зазначено у формулах (8.187) та (8.188):

$$I_{st} \geq 1,5h_w^3t_w^3/a^2 \text{ для } a/h_w < \sqrt{2} \quad (8.187)$$

$$I_{st} \geq 0,75h_w^3t_w^3 \text{ для } a/h_w \geq \sqrt{2} \quad (8.188)$$

Міцність проміжних жорстких елементів жорсткості рекомендовано перевіряти на дію осьового зусилля, що дорівнює $V_{Ed} - \rho_v b_w t_w f_{ow} / \gamma_{M1}$, де ρ_v обчислюють для панелі стінки балки між сусідніми поперечними елементами жорсткості, вважаючи видаленим розгляданий елемент жорсткості. У випадку змінних зсувних зусиль

рекомендовано виконувати перевірку на зусилля зсуву на відстані $0,5h_w$ від краю панелі з найбільшим зсувним зусиллям.

8.8.8.4 Проміжні поперечні елементи жорсткості

(1) Поздовжні елементи жорсткості можуть бути як жорсткими так і пружними. В обох випадках для визначення відносної гнучкості $\bar{\lambda}_w$ за 8.8.4.3(4) рекомендовано приймати до уваги їх жорсткість. Якщо значення $\bar{\lambda}_w$ залежить від другорядної панелі, то елемент жорсткості дозволено вважати жорстким.

(2) Якщо елементи жорсткості враховують під час розрахунку на опір нормальним навантаженням, рекомендовано перевірити їх на міцність під дією нормальних навантажень.

8.8.8.5 Зварні шви

(1) Зварні шви між стінками та полицями балки дозволено розраховувати на номінальний потік зсувних напружень V_{Ed}/h_w за умови що V_{Ed} не перевищує

$$\frac{\rho_v h_w t_w f_{ow}}{\sqrt{3} \gamma_{M1}}$$

Для більших значень V_{Ed} шви між полицями і стінками балки рекомендовано розраховувати на потік зсувних напружень

$$\frac{\eta t_w f_{ow}}{\sqrt{3} \gamma_{M1}},$$

якщо напружений стан неможливо розрахувати за більш точною моделлю (η_{sb} наведено у 8.8.4.2).

8.9 Елементи з гофрованими стінками

8.9.1 Загальні положення

(1) Для зварних двотаврових балок із трапецієподібними гофрованими стінками, див. рисунок 8.36, опір згинальному моменту

визначають у 8.9.2, а опір зсувному зусиллю — у 8.9.3.

Примітка 1. Не передбачено жодних нормативних вимог щодо вирізів у гофрованих стінках зварних двотаврових балок.

Примітка 2. Для поперечних навантажень можливо скористатися консервативною методикою 8.8.5.

8.9.2 Опір згинальному моменту

Опір згинальному моменту дозволено обчислювати за формулою (8.189):

$$M_{y,Rd} = \min \left\{ \frac{b_2 t_2 h_f f_{of}}{\gamma_{M1}}, \frac{b_1 t_1 h_f \chi_{LT} f_{of}}{\gamma_{M1}} \right\}, \quad (8.189)$$

де

$b_2 t_2 h_f f_{of} / \gamma_{M1}$ — відноситься до розтягнутої полиці;

$b_1 t_1 h_f \chi_{LT} f_{of} / \gamma_{M1}$ — відноситься до поперечно-крутильної втрати стійкості стисненої полиці

χ_{LT} — понижувальний коефіцієнт для втрати стійкості за поперечно-крутильною формою за 8.3.2.

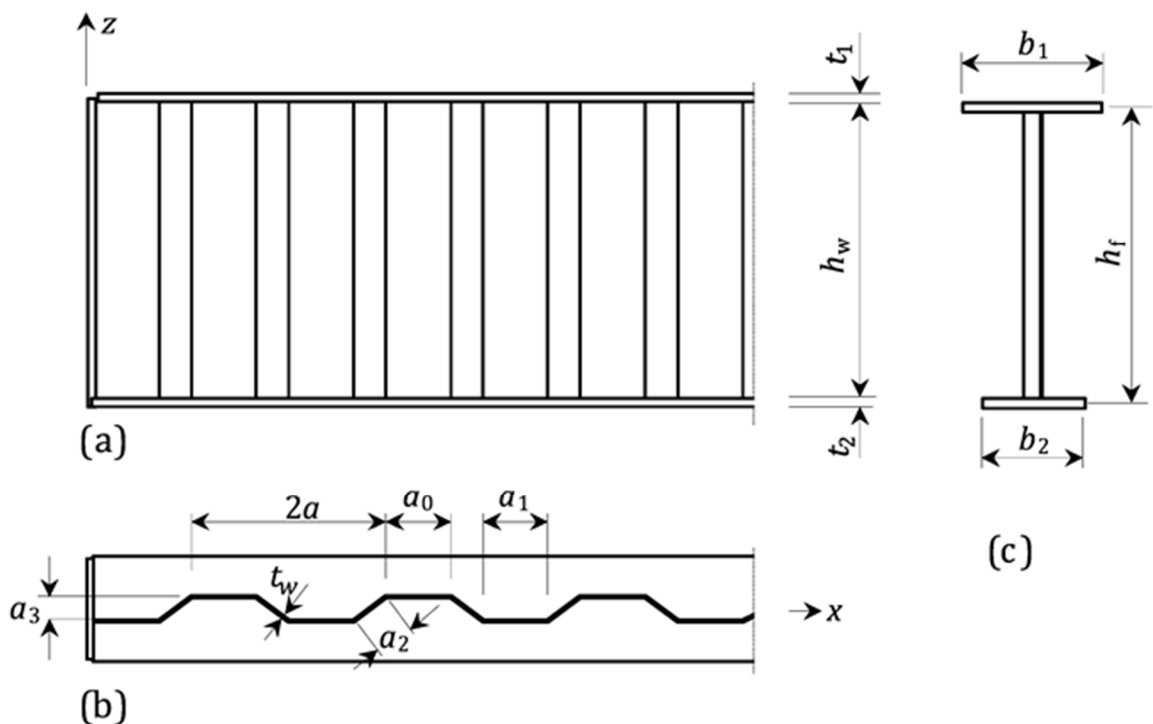


Рисунок 8.36 — Гофрована стінка балки

8.9.3 Опір силі зсуву

(1) Опір зсувному зусиллю V_{Rd} рекомендовано приймати згідно з формулою (8.190):

$$V_{Rd} = \rho_c t_w h_w \frac{f_{ow}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}}, \quad (8.190)$$

де ρ_c — найменший з трьох понижувальних коефіцієнтів

— для місцевої втрати стійкості: $\rho_{c,1}$;

— для загальної втрати стійкості: $\rho_{c,g}$;

— коефіцієнт знеміцнення зони термічного впливу: $\rho_{o,haz}$.

(2) Понижувальний коефіцієнт місцевої втрати стійкості $\rho_{c,1}$ рекомендовано обчислювати за формулою (8.191):

$$\rho_{c,1} = \frac{1,15}{0,9 + \bar{\lambda}_{c,1}} \leq 1,0, \quad (8.191)$$

де відносну гнучкість для трапецієподібних гофрованих стінок балки рекомендовано обчислювати за формулою (8.192):

$$\bar{\lambda}_{c,1} = 0,35 \frac{a_{\max}}{t_w} \sqrt{\frac{f_{ow}}{E}}, \quad (8.192)$$

де $a_{\max}$ — максимальна ширина гофрованих панелей стінки балки, а a_0 , a_1 або a_2 , потрібно приймати згідно з рисунком 8.36.

(3) Понижувальний коефіцієнт для загальної втрати стійкості $\rho_{c,g}$ рекомендовано приймати за формулою (8.193):

$$\rho_{c,g} = \frac{1,5}{0,5 + \bar{\lambda}_{c,g}^2} \leq 1,0, \quad (8.193)$$

де відносну гнучкість рекомендовано приймати за формулою (8.194):

$$\bar{\lambda}_{c,g} = \sqrt{\frac{f_{ow}}{\sqrt{3} \tau_{cr,g}}}, \quad (8.194)$$

де значення $\tau_{cr,g}$, рекомендовано приймати за формулою (8.195):

$$\tau_{cr,g} = \frac{32,4}{t_w h_w^2} \sqrt[4]{B_x B_z^3}, \quad (8.195)$$

$$B_x = \frac{2a}{a_0 + a_1 + 2a_2} \frac{Et_w^3}{10,9}$$

$$B_x = EI_x/2a$$

$2a$ — довжина гофрів, див. рисунок 8.36;

a_0 , a_1 і a_2 , — ширини складчастих панелей стінки балки, див. рисунок 8.36;

I_x — момент інерції одної гофри довжиною $2a$, див. рисунок 8.36.

Примітка. Формула (8.195) відноситься до пластин із шарнірним обпиранням.

(4) Понижувальний коефіцієнт для зони термічного впливу $\rho_{o,haz}$ наведено у 8.1.6.

9 ГРАНИЧНІ СТАНИ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ ПРИДАТНОСТІ

9.1 Загальні положення

(1) EN 1990 визначає основні вимоги щодо граничних станів експлуатаційної придатності, яких потрібно дотримуватися.

(2) Рекомендовано вказувати будь-які граничні стани експлуатаційної придатності та пов'язані з ними навантаження та розрахункові моделі.

Примітка. Мінімальні вимоги до граничних станів експлуатаційної придатності та пов'язаних навантажень і розрахункових моделей можуть бути встановлені в національному додатку.

(3) Додаткові вимоги до граничних станів експлуатаційної придатності та пов'язаних навантажень і розрахункових моделей можуть бути встановлені відповідальним органом або, якщо не зазначено інше, узгоджені для конкретного проекту відповідальними сторонами.

(4) Для перерізів класу 4 момент інерції дозволено розраховувати інтерполяцією між поперечним перерізом бруто і значенням ефективного поперечного перерізу за формулою (9.1):

$$I_{ser} = I_{gr} - \frac{0,8\sigma_{gr,ser}}{\sigma} (I_{gr} - I(\sigma)_{eff}), \quad (9.1),$$

де

I_{gr} — момент інерції поперечного перерізу бруто;

$I(\sigma)_{eff}$ — момент інерції з урахуванням місцевої втрати стійкості, розрахований для максимального напруження $\sigma \geq \sigma_{gr}$, де максимальне напруження є найбільшим абсолютним значенням напруження в границях розглянутої розрахункової довжини;

$\sigma_{gr,ser}$ — максимальне стискальне напруження під дією згину у граничному стані експлуатаційної придатності, обчислене для поперечного перерізу бруто(у формулі додатне).

(5) Застосовуючи загальний пластичний розрахунок до граничного стану експлуатаційної придатності, в останньому рекомендовано враховувати вплив пластичного перерозподілу зусиль і моментів.

Примітка. Зазвичай результати, отримані в результаті загального пружного розрахунку, заснованого на поперечному перерізі елементів бруто, вірні і для граничного стану експлуатаційної придатності. Однак це може бути невірно в тих випадках, коли в граничному стані експлуатаційної придатності має місце нелінійність напівжорстких з'єднань, пластичних шарнірів або місцевої втрати стійкості. Нелінійність у граничному стані експлуатаційної придатності також може виникнути через теорію другого порядку.

9.2 Деформації та динамічні дії для будівель

(1) Потрібно дотримуватися граничних значень вертикальних і горизонтальних відхилень для будівель, вказаних у стандарті EN 1990.

(2) Потрібно дотримуватися положень щодо коливань для будівель, вказаних у EN 1990.

Примітка. Мінімальні вимоги до коливань алюмінієвих конструкцій можуть бути встановлені в національному додатку.

(3) Додаткові вимоги до коливань може бути встановлено

відповідальним органом, або, якщо вони не вказані, узгоджено для конкретного проєкту відповідальними сторонами.

(4) Деформації і динамічні впливи дозволено розраховувати з урахуванням обмежень, демпфування і жорсткості неконструкційних елементів.

10 ПРОЄКТУВАННЯ ВУЗЛІВ

10.1 Основи проєктування

10.1.1 Вступ

(1) Усі вузли повинні мати такий розрахунковий опір, який забезпечує працездатність конструкції та її відповідність усім проєктним вимогам, наведеним у розділі 4.

(2) Часткові коефіцієнти γ_M рекомендовано застосовувати для вузлів у 4.4.3.

(3) Вузли, чутливі до втоми, також мають задовольняти вимоги EN 1999-1-3.

10.1.2 Прикладені навантаження і моменти

(1) Сили і моменти, прикладені до вузлів у граничному стані за несною здатністю, рекомендовано обчислювати за допомогою загального розрахунку згідно з розділом 7.

(2) Лінійний пружний розрахунок, як правило, дозволено застосовувати для оцінки наслідків дій у вузлах. В якості альтернативи дозволено використати нелінійний пружно-пластичний розрахунок вузла за умови врахування характеристик навантаження та деформації всіх складових частин вузлах.

(3) Прикладені сили і моменти мають містити:

- впливи другого порядку;
- впливи недосконалостей (див. 7.3);

— впливи гнучкості з'єднань.

(4) За відсутності розрахунку елемента другого порядку сумарний згинальний момент (першого та другого порядку) рекомендовано приймати як $M_{II,y,Ed}$ або $M_{II,z,Ed}$ як наведено у формулах (10.1) та (10.2):

— для згину відносно головної осі (вісь y-y):

$$M_{II,y,Ed} = M_{y,Rd} \left(\left(\frac{N_{Ed}}{N_{y,b,Rd}} \right)^{\eta_y} - \left(\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} \right)^{\eta_y} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} \right) \quad (10.1)$$

— для згину відносно другої головної осі (вісь z-z):

$$M_{II,z,Ed} = M_{z,Rd} \left(\left(\frac{N_{Ed}}{N_{z,b,Rd}} \right)^{\eta_z} - \left(\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} \right)^{\eta_z} + \left(\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} \right)^{\delta_z} \right)^{1/\delta_z}, \quad (10.2)$$

де

η_y , η_z і δ_z прийняті згідно з 8.3.3.3.

10.1.3 Опір вузлів

Опір вузлів рекомендовано визначати на основі опорів окремих кріпильних деталей, зварних швів та інших складових частин вузла.

10.1.4 Розрахункові припущення

(1) Вузли дозволено розраховувати, через розподіл внутрішніх сил і моментів за умови, що:

а) внутрішні зусилля та моменти, прийняті згідно з допущеннями, знаходяться у стані рівноваги з фактично прикладеними зусиллями та моментами;

б) кожна частина вузла здатна сприймати передбачені розрахунком сили і напруження;

с) деформації, що мають місце за наявності такого розподілу, знаходяться у межах деформаційної здатності кріпильних деталей, зварних швів та приєднаних елементів; а

д) деформації, що мають місце у будь-якій розрахунковій моделі, що базується в області текучості, є сумісними з фізично можливими

поворотами твердого тіла (та плоскими деформаціями).

(2) Прийнятий у такий спосіб розподіл внутрішніх зусиль і моментів має бути реалістичним з точки зору відносної жорсткості елементів вузла. Оскільки внутрішні зусилля діють у напрямі найбільшої жорсткості, цей напрям рекомендовано чітко визначити і послідовно витримувати протягом усього проєктування вузла.

(3) Залишковими напруженнями і напруженнями, що виникають під час затягування кріпильних деталей внаслідок звичайної точності посадки зазвичай можна знехтувати.

10.1.5 Виготовлення та виконання робіт

(1) Під час проєктування будь-яких вузлів і стиків рекомендовано передбачити їх зручне і безперешкодне виготовлення і монтаж.

(2) Особливу увагу рекомендовано приділити:

- допускам розмірів, необхідних для ведення безпечного монтажу;
- допускам, необхідним для затягування кріпильних деталей;
- доступності місць зварювання;
- дотриманню нормативних вимог до ведення зварювальних робіт; а

також

- впливу кутових та лінійних допусків на якість монтажу.

(3) Також рекомендовано приділити увагу вимогам щодо:

- можливості подальшого обстеження конструкцій;
- обробки та очищення поверхні; та
- технічного обслуговування.

Примітка. Вимоги до виконання алюмінієвих конструкцій наведено у EN 1090-3.

10.2 Точки перетину осей елементів у болтових, заклепкових та зварних вузлах

(1) З'єднані у вузлах елементи мають бути розташовані, як правило, так, щоб їх центральні осі перетиналися в одній точці.

(2) Рекомендовано враховувати будь-який ексцентриситет у вузлах, за винятком спеціальних конструкцій, для яких було доведено, що у цьому немає необхідності.

10.3 Вузли, що працюють на зсув і знаходяться під дією удару, вібрації та/або навантаження змінного знака

(1) Якщо вузол, що працює на зсув, під час експлуатації піддається дії удару або значних вібрацій, то рекомендовано використовувати зварювання, попередньо напружені болти та інші різновиди болтів, що ефективно запобігатимуть переміщенню чи ослабленню кріпильних елементів.

(2) Там, де у вузлі не допускається проковзування, оскільки він знаходиться під знакозмінним зсувним навантаженням (або з іншої причини), рекомендовано застосовувати попередньо напружені болти у стійких до проковзування з'єднаннях (категорія В або С, як доречніше, див. 8.5.3), підігнані болти або зварювання .

(3) Для розкріплень від вітру та/або втрати стійкості дозволено застосовувати болти у з'єднаннях, що працюють на зсув (категорія А у 8.5.3).

10.4 Класифікація вузлів

Класифікацію вузлів рекомендовано проводити з урахуванням міцності, жорсткості і пластичності.

Примітка. Рекомендації щодо класифікації вузлів наведено у додатку М.

10.5 З'єднання на болтах, заклепках та штифтах

10.5.1 Розташування отворів для болтів і заклепок

(1) Розташування отворів для болтів і заклепок має бути влаштоване так, щоб попередити появу корозії і втрату стійкості, а також для полегшити

встановлення болтів або заклепок.

(2) Розташування отворів має також відповідати чинним нормам і правилам, що стосуються визначення розрахункового опору болтових і заклепкових з'єднань.

(3) Для болтів та заклепок рекомендовано дотримуватися мінімальних та максимальних значень проміжків між отворами, відстаней між їх краями та до кінця елемента, які наведено в таблиці 10.1.

Таблиця 10.1 — Мінімальні, стандартні та максимальні значення проміжків між отворами, відстаней до кінця елемента та між їх краями

1	2	3	4	5
Відстані та інтервали, див. рисунки 10.1 та 10.2	Мінімум	Стандартна відстань	Максимум ^{a,b}	
			Конструкції, виконані з алюмінію згідно з таблицею 5.1	
			Алюміній, що знаходиться під впливом погодних та інших корозійних чинників	Алюміній, що не знаходиться під впливом погодних та інших корозійних чинників
Відстань між краями e_1	$1,2d_0$	$3,0d_0$	$4t + 40$ мм	Більше з $12t$ або 150 мм
Відстань між краями e_2	$1,2d_0$	$1,5d_0$	$4t + 40$ мм	Більше з $12t$ або 150 мм
Відстань між краями e_3 для овальних отворів	Овальні отвори категорії А, див. 10.5.1(6) – (11)			
Відстань між краями e_4 для овальних отворів	Овальні отвори категорії А, див. 10.5.1(6) – (11)			
Стиснуті елементи (див. рисунок 10.2): Інтервал p_1	$2,2d_0$	$3,5d_0$	Менше з $14t$ чи 200 мм	Менше з $14t$ чи 200 мм
Елементи, що працюють на розтяг (див. 10.3): Інтервал $p_1, p_{1,0}, p_{1,i}$	$2,2d_0$	$3,5d_0$	Зовнішні контури: Менше з $14t$ чи 200 мм Внутрішні контури Менше з $28t$ чи 400 мм	1,5 помножити на величину у стовпчику 4

Кінець таблиці 10.1

Інтервал p_2^c	$2,4d_0$	$3,5d_0$	Менше з $14t$ чи 200 мм	Менше з $14t$ чи 200 мм

^a Відстані між краями не можуть перевищувати величин, обумовлених місцевою втратою стійкості для консольних частин у стиснутих елементах (див. 8.1.5). Це правило не розповсюджується на відстань від кінця.

^b t — товщина найтоншої зовнішньої частини, що бере участь у з'єднанні.

^c Для рядів кріпильних елементів, розташованих у шаховому порядку, дозволено використовувати мінімальне значення інтервалу між рядами $p_2 = 1,2d_0$, за умови, що мінімальна відстань між двома кріпильними деталями s_1 перевищуватиме або дорівнюватиме $2,4d_0$ (див. рисунок 10.1(b))

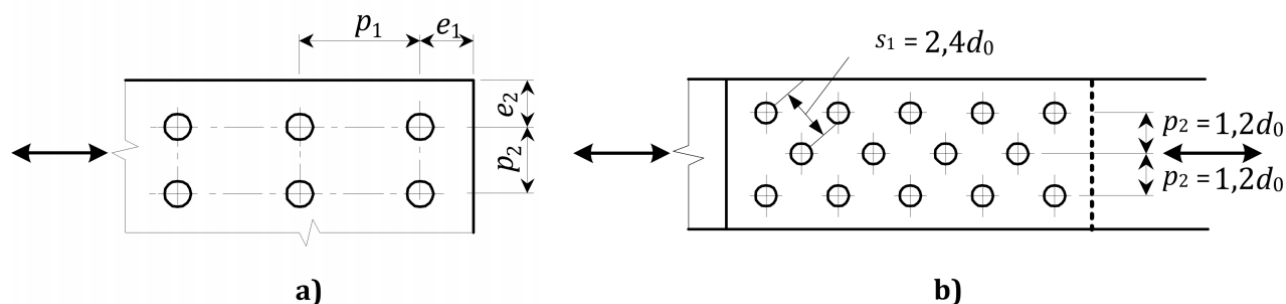


Рисунок 10.1 — Позначки для інтервалів розміщення кріпильних деталей

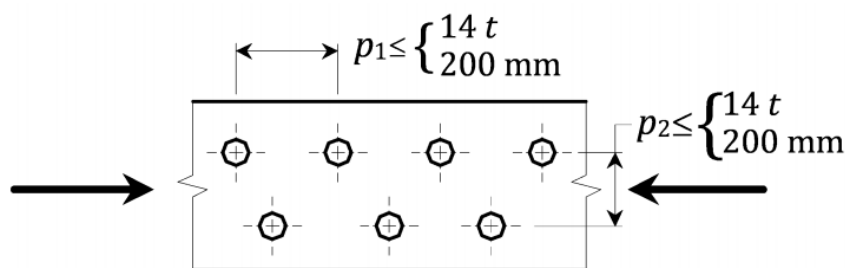


Рисунок 10.2 — Розташування у шаховому порядку. Стан стиску

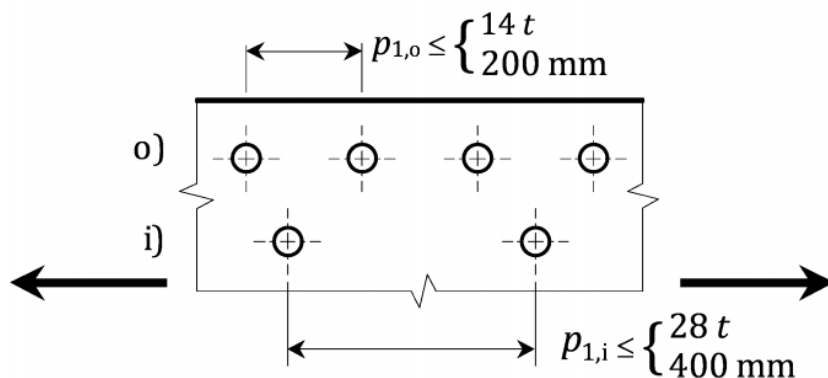


Рисунок 10.3 — Інтервали у елементах, що працюють на розтяг, під впливом погодних та корозійних чинників

(4) Овальні отвори (зазвичай не рекомендовані) дозволено застосовувати у болтових з'єднаннях категорії А виключно для навантажень, перпендикулярних до напрямку овальних отворів (див. рисунок 10.4).

(5) Довжина овального отвору l_s не має перевищувати $2,5(d + 1 \text{ мм})$ (довгий овальний отвір). Якщо довжина l_s не перевищує $1,5(d + 1 \text{ мм})$ (короткий овальний отвір), то збільшуються як несна здатність (див. таблицю 10.3) так і опір проковзуванню (див. таблицю 10.4).

(6) Ширина отвору, перпендикулярна до прорізу, тобто у напрямку навантаження, не має перевищувати $d + 1 \text{ мм}$.

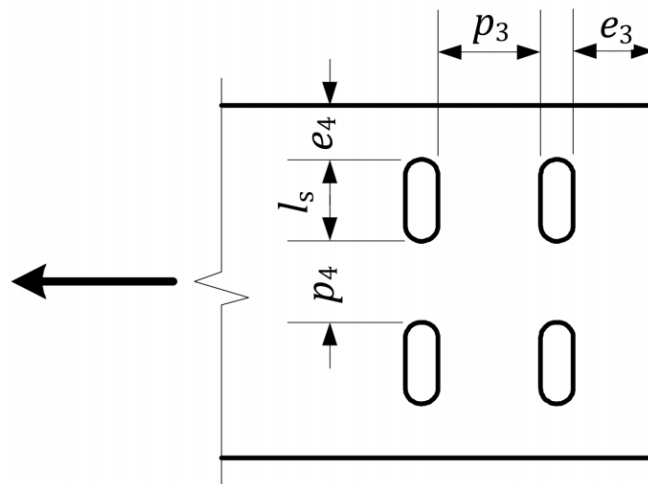


Рисунок 10.4 — Овальні отвори

(7) Відстань e_3 між краєм отвору і кінцем елемента у напрямку навантаження має бути більшою ніж $1,5(d + 1 \text{ мм})$. Відстань e_4 між краєм отвору і краєм елемента, перпендикулярним до напрямку навантаження, має бути більшою за $d + 1 \text{ мм}$.

(8) Відстань p_3 між краями двох сусідніх отворів у напрямку навантаження та відстань p_4 між краями двох сусідніх отворів, перпендикулярних до напрямку навантаження, має бути більшою за $2(d + 1 \text{ мм})$.

(9) Болтові з'єднання в овальних отворах згідно з категорією А рекомендовано перевіряти згідно з таблицею 10.3 (див. 10.5.4).

(10) Для отворів великого розміру застосовують норми та правила

параграфів (11), (4) та (5).

(11) Отвори великого розміру ($d_0 > d + 1$) у болтових з'єднаннях категорії А дозволено застосовувати за виконання наступних умов:

- дозволено більше осідання конструкції чи її частини;
- відсутні зміни знаку у діючих навантаженнях;
- на одній стороні вузла, в місцях, де має бути з'єднання, або у кріпильному виробі (плити покриття, прокладки), присутні отвори великого розміру, і
- дотримано вимоги до геометричних допусків для отворів великого розміру, які наведено в стандарті EN 1090-3.

10.5.2 Поправки на отвори для кріпильних деталей

10.5.2.1 Загальні положення

(1) Докладні норми та правила щодо проєктування елементів з отворами див. 8.2.2.

10.5.2.2 Розрахунок на опір блока вириванню

(1) Виривання блока виникає внаслідок зсуву ряду кріпильних елементів уздовж поверхні зсуву всієї групи, з одночасним розривом від дії розтягувальних зусиль уздовж лінії отворів для кріпильних елементів на розтягнутій поверхні групи кріпильних елементів. Можливі варіанти виривання блока показано на рисунку 10.5.

(2) Для симетричної групи болтів, що зазнають центрованого навантаження, розрахунковий опір вириванню, $V_{\text{eff},1,\text{Rd}}$ рекомендовано приймати за формулою (10.3):

$$V_{\text{eff},1,\text{Rd}} = \frac{f_u A_{\text{nt}}}{\gamma_{\text{M2}}} + \min \left(\frac{f_o A_{\text{gv}}}{\sqrt{3}} \frac{1}{\gamma_{\text{M1}}}; \frac{f_u A_{\text{nv}}}{\sqrt{3}} \frac{1}{\gamma_{\text{M2}}} \right), \quad (10.3)$$

де

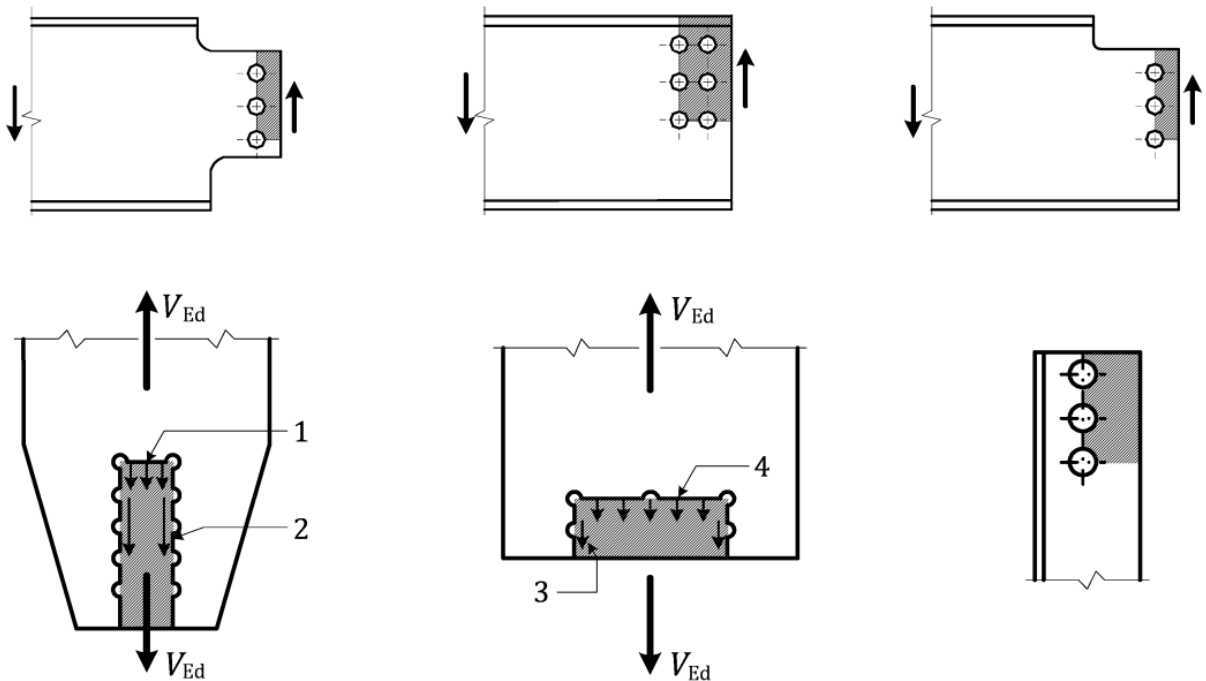
A_{nt} — площа перерізу нетто розтягнутої зони;

A_{gv} — площа перерізу бруто зони у стані зсуву;

A_{nv} — площа перерізу нетто зони у стані зсуву.

(3) Для групи кріпильних елементів, які зазнають навантаження із ексцентриситетом, розрахунковий опір вузла вириванню $V_{eff,2,Rd}$ рекомендовано обчислювати за формулою (10.4):

$$V_{eff,2,Rd} = 0,5 \frac{f_u A_{nt}}{\gamma_{M2}} + \min \left(\frac{f_o A_{gv}}{\sqrt{3}} \frac{1}{\gamma_{M1}}; \frac{f_u A_{nv}}{\sqrt{3}} \frac{1}{\gamma_{M2}} \right) \quad (10.4)$$



Умовні позначки:

- 1 — мале зусилля розтягу;
- 2 — велике зсувне зусилля;
- 3 — мале зсувне зусилля;
- 4 — велике зусилля розтягу.

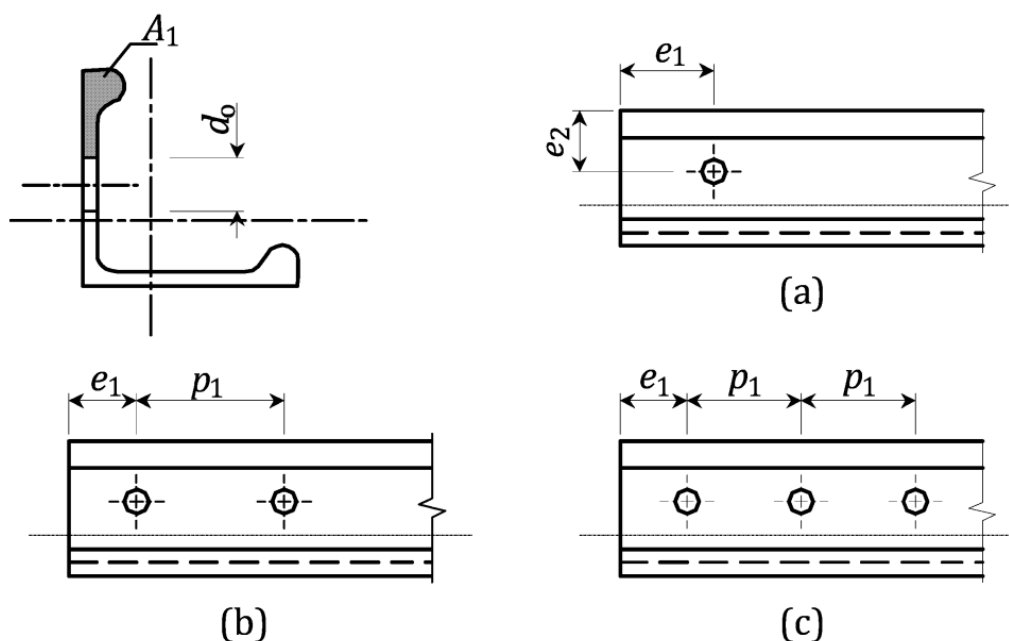
Рисунок 10.5 — Виривання блока

10.5.2.3 Кутики та кутики з потовщеннями

(1) У випадку стиску чи розтягу несиметричних або несиметрично з'єднаних елементів, таких, як наприклад, кутики або кутики з потовщеннями, для обчислення величин розрахункових опорів рекомендовано враховувати нецентрованість кріпильних елементів у

кінцевих з'єднаннях кінців, а також вплив інтервалів між болтами та їх відстаней від країв елементів.

(2) Кутики та кутики з потовщеннями, з'єднані за допомогою одного ряду кріпильних елементів, див. рисунок 8.6, дозволено вважати центровано завантаженими, якщо розрахунковий граничний опір перерізу нетто визначено за формулами (10.5) та (10.6):



Умовні позначки:

(a) — один болт;

(b) — два болти;

(c) — три болти.

Рисунок 10.6 — З'єднання кутиків

З'єднання кутиків одним болтом:

$$N_{u,Rd} = \frac{2A_1f_u}{\gamma_{M2}} \quad (10.5)$$

Більшою кількістю болтів:

$$N_{u,Rd} = \min \left(\frac{0,75A_{net}f_u}{\gamma_{M2}}; V_{eff,1,Rd} \right), \quad (10.6)$$

де

A_1 — площа полиці кутика між краєм отвору для болта і її вільним кінцем (див. рисунок 10.6);

A_{net} — площа нетто кутика. Для нерівнополичних кутиків, з'єднаних своїми меншими полицями A_{net} рекомендовано приймати такою, що дорівнює площі поперечного перерізу нетто еквівалентного рівнополичного кутика з довжиною полиць, що дорівнює довжині меншої полиці нерівнополичного кутика.

$V_{\text{eff},1,\text{Rd}}$ — несна здатність блока, обчислена за формулою (10.4).

10.5.3 Категорії болтових з'єднань

10.5.3.1 З'єднання, що працюють на зсув

(1) Розрахунок болтових з'єднань, що працюють на зсув, має відповідати одній з наступних категорій (див. таблицю 10.2):

— **Категорія А: Звичайні болтові.** Рекомендовано застосовувати сталеві болти (клас міцності 4.6, 5.6, 8.8 та 10.9), болти з нержавкої сталі, алюмінієві болти або заклепки. Без попереднього напруження; особливі вимоги до контактних поверхонь відсутні.

— **Категорія В: запобігають проковзуванню у граничному стані експлуатаційної придатності.** Рекомендовано застосовувати попередньо напружені сталеві болти з контрольованим натягом, згідно з EN 1090-3. У граничному стані експлуатаційної придатності не має виникати проковзування. Комбінацію дій, що підлягають розгляду, потрібно вибрати з 4.3.1 залежно від сполучень навантажень, де рекомендовано передбачити опір проковзуванню.

— **Категорія С: запобігають проковзуванню у граничному стані за несною здатністю.** Рекомендовано застосовувати попередньо напружені сталеві болти з контрольованим натягом, згідно з EN 1090-3. У граничному стані за несною здатністю не має виникати проковзування.

(2) У категоріях В і С рекомендовано застосовувати спеціальну обробку контактних поверхонь і контрольований натяг, див. EN 1090-3.

10.5.3.2 З'єднання, що працює на розтяг

(1) Розрахунок болтових з'єднань, що працюють на розтяг, має відповідати одній з наступних категорій, див. таблицю 10.2.

— **Категорія D: З'єднання болтами без попереднього напруження.** На болтах класів 4.6 — 10.9 включно, алюмінієвих болтах або болтах з нержавкої сталі. Попереднє напруження не потрібне. Дану категорію не рекомендовано застосовувати для з'єднань, що часто зазнають впливу змінної розтягувального зусилля. Проте її дозволено застосовувати для розрахунку з'єднань, що мають сприймати нормальні вітрові навантаження.

— **Категорія E: З'єднання з попередньо напруженими високоміцними болтами.** Рекомендовано застосовувати попередньо напружені високоміцні болти з регульованим натягом, згідно з EN 1090-3.

Примітка. Таке попереднє навантаження підвищує опір втомі.

(2) Для з'єднань, що працюють на розтяг, як категорії D, так і E, дозволено не виконувати спеціальну обробку контактних поверхонь, за винятком випадків, коли з'єднання категорії E одночасно зазнають впливу розтягу і зсуву (комбінація E-B або E-C).

Таблиця 10.2 — Категорії болтових з'єднань

З'єднання, що працює на зсув		
Категорія	Критерії	Примітки
А Звичайні болтові	$F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$ $F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$ В усіх з'єднаних частинах для кожного перерізу нетто має бути виконане правило 8.2.2.	Попереднє напруження не потрібне. Болти згідно з таблицею 5.9.
В Стійкі для проковзуван ня у граничному стані експлуатацій ної придатності	$F_{v,Ed,ser} \leq F_{s,Rd,ser}$ $F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$ $F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$ В усіх з'єднаних частинах для кожного перерізу нетто має бути виконане правило 8.2.2. Для кожного болта розрахункове значення наслідків розтягу у стані експлуатаційної придатності у з'єднаних елементах не має перевищувати $f_o/\gamma_{M,ser}$.	Попередньо- напружені болти Відсутнє проковзування у граничному стані експлуатаційної придатності

Кінець таблиці 10.2

С Стійкі для проковзуван ня у граничному стані за несною здатністю	$F_{v,Ed} \leq F_{s,Rd}$ В усіх з'єднаних частинах для кожного перерізу нетто має бути виконане правило 8.2.2. Для кожного болта розрахункове значення наслідків розтягу у граничному стані за несною здатністю у з'єднаних елементах не має перевищувати f_o/γ_{Ms}	Попередньо- напружені болти Відсутнє проковзування у граничному стані за несною здатністю
З'єднання, що працюють на розтяг		
Категорія	Критерій	Примітки
D Без попередньо го напружен ня	$F_{t,Ed} \leq F_{t,Rd}$ $F_{t,Ed} \leq B_{p,Rd}$	Болти згідно з таблицею 5.9.
E Попередньо го напружені	$F_{t,Ed} \leq F_{t,Rd}$ $F_{t,Ed} \leq B_{p,Rd}$	Попередньо- напружені болти класу 8.8 або 10.9. Аустенітні болти з нержавкої сталі
Умовні позначки: $F_{v,Ed}$ — розрахункове значення зсувного зусилля на один болт для граничного стану за несною здатністю; $F_{v,Ed,ser}$ — розрахункове значення зсувного зусилля на один болт для граничного стану експлуатаційної придатності; $F_{v,Rd}$ — розрахунковий опір зсуву на один болт; $F_{b,Rd}$ — розрахунковий опір зминанню одного болта; $F_{s,Rd,ser}$ — розрахунковий опір проковзуванню на один болт для граничного стану експлуатаційної придатності; $F_{s,Rd}$ — розрахунковий опір проковзуванню на один болт для граничного стану за несною здатністю; $F_{t,Ed}$ — розрахункове зусилля розтягу на один болт для граничного стану за несною здатністю; $F_{t,Rd}$ — розрахунковий опір розтягу на один болт; $B_{p,Rd}$ — розрахунковий опір зсуву під час продавлювання, див. таблицю 10.3.		

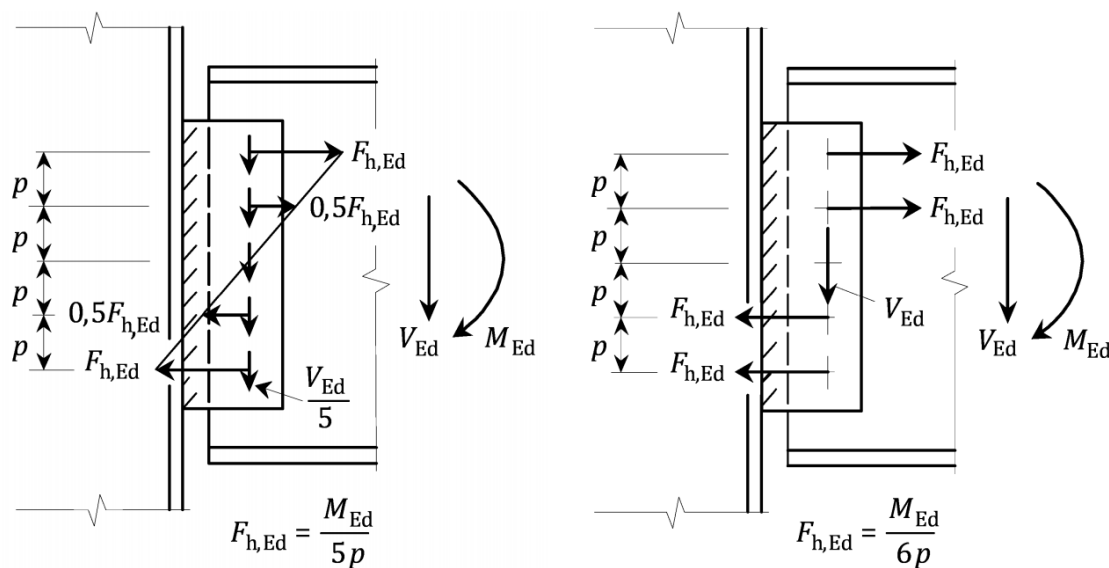
(3) Розподіл внутрішніх зусиль, обумовлених згинальним моментом у граничному стані за несною здатністю, між кріпильними елементами, має бути пропорційним відстані від центра повороту, а розподіл зусиль зсуву має бути рівномірним, див. рисунок 10.7(а), у таких випадках:

- стійкі до проковзування з'єднання категорії С;
- інші зсувні з'єднання, в яких розрахунковий опір зсуву кріпильного

елемента $F_{v,Rd}$ менший за розрахунковий опір зминанню $F_{b,Rd}$.

(4) В інших випадках розподіл внутрішніх зусиль, обумовлених згинальним моментом у граничному стані за несною здатністю, між кріпильними елементами, дозволено вважати пластичним, а зсувні зусилля можуть бути сприйняті кріпильними елементами, що не сприймають згинальний момент, див. рисунок 10.7 (b).

(5) Для вузлів із з'єднаннями внапусток з довжиною, що перевищує $L_j = 15d$, де d — номінальний діаметр болта, див. 10.5.11.



Розподіл, пропорційний відстані від центра повороту	Пластичний розподіл з одним кріпильним елементом, що сприймає V_{Ed} та чотирма, що рівномірно сприймають M_{Ed}
$F_{v,Ed} = \sqrt{\left(\frac{M_{Ed}}{5p}\right)^2 + \left(\frac{V_{Ed}}{5}\right)^2}$	$F_{v,Ed} = \max\left(\frac{M_{Ed}}{6p}, V_{Ed}\right)$
(a) пружний розподіл зусиль	(b) пластичний розподіл зусиль

Рисунок 10.7 — Приклади розподілу зусиль між кріпильними деталями (п'ять болтів)

10.5.4 Розрахунковий опір болтів

(1) Величини розрахункового опору застосовні лише до стандартних сталевих болтів заводського виготовлення, болтів з нержавкої сталі та алюмінієвих болтів згідно з таблицею 5.9, що відповідають, разом із відповідними гайками та шайбами, нормативним документам, на які

посилається EN 1090-3. Для алюмінієвих болтів рекомендовано також дотримуватися вимог 10.5.13.1.

(2) Болти, на які одночасно діє як зсув, так і розтяг, мають бути додатково перевірені згідно з таблицею 10.3.

(3) Значення розрахункового опору розтягу збірки болт – пластина $B_{t,Rd}$ потрібно приймати як менше з розрахункового опору розтягу $F_{t,Rd}$ болта з таблиці 10.3 та розрахункового опору зсуву під час продавлювання головки болта та гайки у пластині $B_{p,Rd}$ з таблиці 10.3.

Таблиця 10.3 — Розрахунковий опір болтів і заклепок

Форма відмови	Болти	Заклепки
Опір зсуву на одну площину зсуву:	$F_{v,Rd} = \alpha_v f_{ub} A / \gamma_{M2}$ Якщо площа зсуву проходить через частину болта з різьбою (A — площа болта для розрахунку на розтяг A_s): — для сталевих болтів класів 4.6, 5.6 та 8.8: $\alpha_v = 0,6$ — для сталевих болтів класу 10.9, болтів з нержавкої сталі та алюмінієвих болтів: $\alpha_v = 0,5$ Якщо площа зсуву проходить через ненарізану частину болта (A — поперечний переріз бруто одного болта): $\alpha_v = 0,6$ f_{ub} = характеристичне значення граничної міцності матеріалу болта	$F_{v,Rd} = 0,6 f_{ur} A_0 / \gamma_{M2}$ f_{ur} = характеристична гранична міцність матеріалу заклепки; A_0 = площа поперечного перерізу отвору;
Опір зминанню: а, b, c	$F_{b,Rd} = \alpha_b f_u d t / \gamma_{M2}$, де для кінцевих болтів: $\alpha_b = \min \left(\frac{e_1}{d_0}; \frac{3 f_{ub}}{f_u}; 3 \right) c$ для внутрішніх болтів: $\alpha_b = \min \left(\frac{p_1}{d_0} - \frac{1}{2}; \frac{3 f_{ub}}{f_u}; 3 \right) c$ f_u — характеристичне значення граничної міцності матеріалу з'єднаних частин; d — діаметр болта; d_0 — діаметр отвору; e_1, p_1 — див. рисунок 10.1.	
Опір розтягу	$F_{t,Rd} = 0,9 f_{ub} A_s / \gamma_{M2}$	$F_{t,Rd} = 0,6 f_{ur} A_s / \gamma_{M2}$ Для суцільних заклепок із розмірами головки згідно з рисунком 10.11.а).

Кінець таблиці 10.3

— розрахунковий опір зсуву під час продавлювання	$B_{p,Rd} = 0,6\pi d_m t_p f_u / \gamma_{M2}$, де d_m — середнє значення діаметрів головки болта або гайки між вершинами та гранями або, якщо використано шайби, то зовнішній діаметр шайби (залежно від того, що менше). Для заклепок з круглою головкою d_m — діаметр головки. Для болтів з потайними головками $B_{p,Rd} = 0,3\pi(d_0 + t_p)t_p f_u / \gamma_{M2}$; t_p — товщина пластини під головкою болта або гайкою; f_u — характеристичне значення граничної міцності матеріалу елемента.
Спільна дія зсуву та розтягу	$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4F_{t,Rd}} \leq 1,0$
^a Опір зминанню $F_{b,Rd}$ для болтів — у отворах великого діаметру згідно з EN 1090-3 становить 80 % від опору зминанню болтів у стандартних отворах, — у коротких овальних отворах згідно з 10.5.1(5) опір зминанню становить 80% від несної здатності болтів у стандартних отворах, — у довгих овальних отворах згідно з 10.5.1(6) опір зминанню становить 65% від несної здатності болтів у стандартних отворах. ^b Для болтів з потайними головками: — опір зминанню $F_{b,Rd}$ рекомендовано обчислювати за товщиною пластини t, що дорівнює різниці товщини приєднаного листа та половини глибини зенкування. ^c Для овальних отворів потрібно замінити d_0 на $(d + 1 \text{ мм})$, e_1 на $(e_3 + d_0/2)$, p_1 на $(p_3 + d_0)$, де p_3 і e_3 отримують за рисунком 10.4.	

(4) Величини розрахункового опору на розтяг і зсув різьбової частини болта наведено у таблиці 10.3 рекомендовано застосовувати лише для болтів із накатаною різьбою. Для болтів з нарізаною різьбою відповідні значення з таблиці 10.3 рекомендовано помножити на коефіцієнт 0,85.

(5) Значення розрахункового опору зсуву $F_{v,Rd}$ у таблиці 10.3 рекомендовано застосовувати лише у випадках, коли болти використовуються у отворах із номінальними допусками, що не перевищують допусків для стандартних отворів наведених у EN 1090-3. Для отворів великого розміру та овальних отворів $F_{v,Rd}$ потрібно помножити на 0,7.

(6) Якщо навантаження на болт $F_{b,Ed}$ не паралельне краю,

рекомендовано розкласти його на паралельні $F_{b,Ed,1}$ і перепендикулярні $F_{b,Ed,2}$ краю складові, та перевірити їх на відповідність формулі (10.7):

$$\left(\frac{F_{b,Ed,1}}{F_{b,Rd,1}}\right)^2 + \left(\frac{F_{b,Ed,2}}{F_{b,Rd,2}}\right)^2 \leq 1, \quad (10.7)$$

де

$F_{b,Rd,1}$ і $F_{b,Rd,2}$ — опори зминанню згідно з таблицею 10.3, де відстані e_1 , e_2 , p_1 та p_2 у таблиці 10.3 залежать від напрямів складових навантаження на болт $F_{b,Ed,1}$ і $F_{b,Ed,2}$.

(7) У з'єднаннях з отворами великого розміру або овальними отворами для болтів діаметром $d \leq 10$ мм розрахунковий опір зминанню групи болтів має бути меншим за розрахунковий опір зсуву групи.

10.5.5 Розрахунковий опір заклепок

(1) З'єднання на заклепках необхідно розраховувати на сприйняття зусиль зсуву та зминання. Розрахункові опори наведено у таблиці 10.3. Також необхідно керуватися додатковими вимогами 10.5.13.2.

(2) У граничному стані за несною здатністю розрахункове зсувне зусилля $F_{v,Ed}$, що діє на заклепку, не може перевищувати меншого зі значень:

— розрахунковий опір зсуву $F_{v,Rd}$;

— розрахунковий опір зминанню $F_{b,Rd}$; обидві величини наведено у таблиці 10.3.

(3) У граничному стані за несною здатністю розрахункова розтягувальна сила $F_{t,Ed}$ що діє на заклепку, не повинна перевищувати меншого зі значень розрахункового опору розтягу $F_{t,Rd}$ і розрахункового опору зсуву під час продавлювання $B_{p,Rd}$, наведених у таблиці 10.3.

(4) Заклепки, що зазнають як зсувних, так і розтягувальних навантажень, мають додатково задовольняти вимоги для спільної дії зсуву та розтягу, як вказано у таблиці 10.3.

(5) Як правило, зажимна довжина заклепки не може перевищувати $4,5d$ для заклепування молотком і $6,5d$ для заклепування пресом.

10.5.6 Болти та заклепки з потайними головками

(1) З'єднання з потайними кріпильними елементами мають бути виконані на болтах зі сталевих або алюмінієвих сплавів, або на шпильках з алюмінієвих сплавів згідно з таблицею 5.9. Вони мають бути розраховані на передавання зусиль зсуву, зминання та розтягу. Для кріпильних елементів, виготовлених з алюмінієвих сплавів, потрібно дотримуватися додаткових вимог пункту 10.5.13.

(2) У граничному стані за несною здатністю розрахункове зсувне зусилля $F_{v,Ed}$, не може перевищувати меншого зі значень:

— розрахунковий опір зсуву $F_{v,Rd}$, як зазначено у таблиці 10.3 та

— розрахунковий опір зминанню $F_{b,Rd}$, що має бути обчислений згідно 10.5.4 або 10.5.5, при цьому від товщини відповідного приєднуваного елемента t потрібно відняти половину глибини зенкування.

(3) У граничному стані за несною здатністю розрахункове зусилля розтягу $F_{t,Ed}$, що діє на потайний болт, не може перевищувати менше зі значень — розрахунковий опір розтягу $F_{t,Rd}$, та розрахунковий опір зсуву під час продавлювання $B_{p,Rd}$, які обидва наведені у таблиці 10.3.

Примітка. Болти, що відповідають вимогам EN ISO 10642 завдяки шестигранному заглибленню під ключ мають знижений розрахунковий опір розтягу порівняно зі значенням, наведеним в таблиці 10.3.

(4) Болти з потайною головкою, що зазнають як зсувних, так і розтягувальних навантажень, мають додатково задовольняти вимоги для спільної дії зсуву та розтягу, як вказано у таблиці 10.3.

(5) Болти з потайною головкою, мають відповідати документам що містяться у відповідних нормативних посиланнях EN 1090-3, а заклепки з потайною головкою мають відповідати 10.5.13.2.

(6) Як правило, зажимна довжина болта з потайною головкою або заклепки з потайною головкою для заклепування молотком не може перевищувати $4,5d$, а зажимна довжина заклепки з потайною головкою для заклепування пресом не може перевищувати $6,5d$.

10.5.7 Самонарізувальні і самосвердлувальні гвинти і витяжні заклепки

(1) Для обчислення розрахункової міцності самонарізувальних і самосвердлувальних гвинтів та витяжних заклепок див. EN 1999-1-4.

10.5.8 Болти у стійких до проковзування з'єднаннях

10.5.8.1 Загальні положення

(1) Вузли на високоміцних сталевих болтах, придатні для попереднього напруження мають бути виконані на болтах класу міцності 8.8 або 10.9 з гайками та шайбами згідно з EN 14399-3, EN 14399-4, EN 14399-5, EN 14399-6 та EN 14399-8, у поєднанні з EN 14399-1.

(2) Вузли на болтах з аустенітної нержавкої сталі, придатні для попереднього напруження, мають бути виконані на болтах класу міцності 80 згідно з EN ISO 3506-1, з відповідними гайками за EN ISO 3506-2 і двома шайбами на кожному, в поєднанні з EN 15048-1. Якість шайб має бути A4, мінімальна твердість HV200.

Для попередньо навантажених болтових вузлів із нержавкої сталі має бути вказано, що для визначення параметрів надійного затягування болтового з'єднання потрібно провести методичне випробування, проведене уповноваженими випробувальними інститутами.

Примітка. Стандарт EN 14399 (всі частини) не містить жодних стандартів на виробу для болтових вузлів із нержавкої сталі, які були б придатні до попереднього навантаження. Через відсутність стандарту на продукцію, в якості складових частин таких вузлів можливо використовувати болти, гайки і шайби згідно з EN ISO 4014/EN ISO 4017, EN ISO 4032/EN ISO 4033 і EN ISO 7089/EN ISO 7090

відповідно. Через контакт з головкою болта застосовуються переважно шайби із зовнішньою фаскою згідно з EN ISO 7090.

(3) Номінальний діаметр болта для вузлів, що використовуються в стійких до ковзання попередньо навантажених з'єднаннях, має бути не менше M12 для болтів з високоміцної сталі і M8 для болтів з аустенітної нержавкої сталі.

(4) Для стійких до проковзування з'єднань, номінальна 0,2% умовна границя текучості матеріалу з'єднаних частин має дорівнювати або бути більшою за 200 Н/мм². Виняток становлять вузли з подвійним напустком, де номінальна 0,2% умовна границя текучості матеріалу внутрішніх основних пластин має дорівнювати або бути більшою за 150 Н/мм².

(5) У вузлах потрібно враховувати вплив перепадів температури більш ніж на 30 градусів, які можуть спричинити зменшення або збільшення внутрішнього навантаження і, отже, до опору тертю через різницю в тепловому розширенні між алюмінієм і болтовою сталлю.

Примітка. Частковий коефіцієнт γ_{Ms} враховує вплив зміни температури на 30 градусів між монтажем і експлуатацією.

(6) Зажимна довжина має бути не менше подвійного діаметра болта: $\Sigma t/d \geq 2$. Якщо зажимна довжина є меншою, але $\Sigma t/d \geq 1$, коефіцієнт часткового запасу міцності для опору проковзуванню γ_{Ms} потрібно збільшити на 0,2.

(7) Для вузлів із з'єднаннями з подвійним напустком товщина накладок має бути рівною або перевищувати половину товщини внутрішньої основної пластини.

(8) Потрібно зазначати всі особливі умови, пов'язані з використанням попередньо напружених болтів.

10.5.8.2 Граничний стан за несною здатністю

Для граничного стану за несною здатністю розрахункове значення

зсувного зусилля $F_{v,Ed}$, що діє на болт у з'єднанні категорії С, не може перевищувати розрахунковий опір зсуву $F_{s,Rd}$, тоді як для з'єднань категорії В, воно не може перевищувати менше зі значень:

- розрахунковий опір зсуву $F_{v,Rd}$;
- розрахунковий опір зминанню $F_{b,Rd}$.

У з'єднаннях категорій В і С розрахункове значення зсувного зусилля не може перевищувати опір розтягу елемента в перерізі нетто і в поперечному перерізі бруто.

10.5.8.3 Опір проковзуванню

(1) Розрахунковий опір проковзуванню попередньо напруженого болта у з'єднанні категорії С у граничному стані за несною здатністю потрібно приймати як наведено у формулі (10.8):

$$F_{s,Rd} = \frac{k_s n \mu}{\gamma_{Ms}} F_{p,A} , \quad (10.8)$$

де

k_s — наведено у таблиці 10.4;

$F_{p,A}$ — зусилля попереднього навантаження, наведене у 10.5.8.4;

μ — коефіцієнт проковзування, див. 10.5.8.5;

n — кількість поверхонь тертя.

Таблиця 10.4 — Значення k_s

Опис	k_s
Болти у стандартних отворах	1,0
Болти в отворах великого розміру, або в коротких овальних отворах, де вісь отвору є перпендикулярною до напрямку передачі навантаження.	0,85
Болти в довгих овальних отворах, де вісь отвору є перпендикулярною до напрямку передачі навантаження.	0,70
Болти в коротких овальних отворах, де вісь отвору є паралельною до напрямку передачі навантаження.	0,76
Болти в довгих овальних отворах, де вісь отвору є паралельною до напрямку передачі навантаження.	0,63

(2) Розрахунковий опір проковзуванню попередньо навантаженого болта в з'єднанні категорії В у граничному стані експлуатаційної

придатності можна обчислити, якщо в (10.8) γ_{Ms} замінити на $\gamma_{Ms,ser}$.

10.5.8.4 Попереднє напруження

(1) Для високоміцних болтів класів 8.8 або 10.9 з регульованим натягом зусилля попереднього напруження $F_{p,A}$ для проєктних розрахунків потрібно вибирати за формулою (10.9):

$$F_{p,A} = 0,7f_{ub}A_s \quad (10.9)$$

(2) Для болтів з аустенітної нержавкої сталі класу міцності 80 з контрольованою натягом зусилля попереднього навантаження $F_{p,A}$ у проєктних розрахунках потрібно приймати за формулою (10.10):

$$F_{p,A} = 0,7f_{yb}A_s \quad (10.10)$$

10.5.8.5 Коефіцієнт проковзування

Коефіцієнти проковзування залежать від зразків поверхонь, використаних у конструкції, згідно з методикою, викладеної в EN 1090-3.

10.5.8.6 Спільна дія розтягу та зсуву

(1) Якщо стійке до проковзування з'єднання зазнає впливу розтягу F_t додатково до зсуву F_v , від чого може виникнути проковзування, то величину опору проковзуванню на один болт обчислюють за формулами (10.11) та (10.12):

Категорія В: стійкі до проковзування в граничному стані експлуатаційної придатності

$$F_{s,Rd,ser} = \frac{k_s n \mu (F_{p,A} - 0,8F_{t,Ed,ser})}{\gamma_{Ms,ser}} \quad (10.11)$$

Категорія С: Стійкі для проковзування у для граничному стані за несною здатністю

$$F_{s,Rd} = \frac{k_s n \mu (F_{p,A} - 0,8F_{t,Ed})}{\gamma_{Ms}} \quad (10.12)$$

(2) Якщо у з'єднанні, що сприймає момент, контактне зусилля у стисненій зоні врівноважує прикладене розтягувальне зусилля, то

зменшення опору проковзуванню не потрібне.

10.5.9 Протяжні вузли

Якщо відстань L_j між центрами кінцевих кріпильних елементів у вузлі, вимірювана у напрямку передачі зусиль (див. рисунок 10.8), становить величину більшу ніж $15d$, розрахунковий опір зсуву $F_{v,Rd}$, усіх кріпильних елементів, розрахований за методиками з 10.5.4, 10.5.5 або 10.5.6, потрібно помножити на понижувальний коефіцієнт β_{Lf} , заданий формулою (10.13):

$$\beta_{Lf} = 1 - (L_j - 15d)/200d, \text{ але } 0,75 \leq \beta_{Lf} \leq 1,0$$

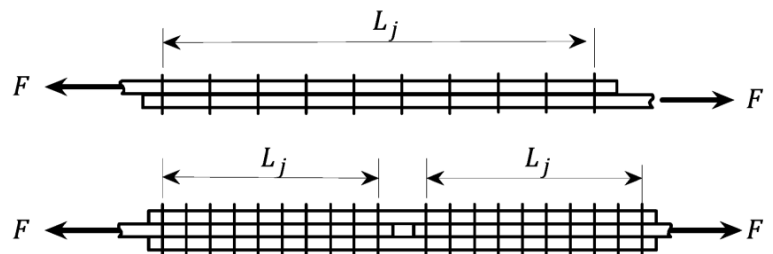
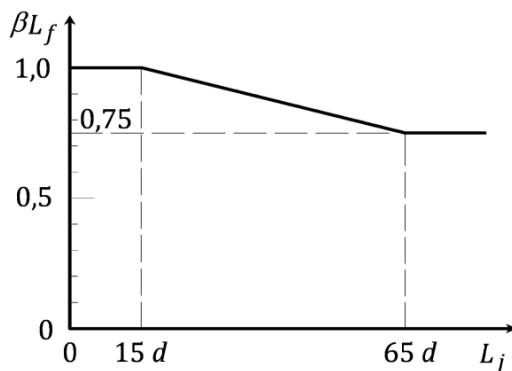


Рисунок 10.8 — Протяжні вузли.

10.5.10 Вузли з плоских елементів з одинарним напустком і лише одним рядом кріпильних елементів

(1) Для попередження висмикування у вузлах плоских елементів з одинарним напустком одним кріпильним елементом або одним рядом кріпильних елементів (див. рисунок 10.9), болти мають бути забезпечені шайбами як під головою так і під гайкою. Відстані e_1 та e_2 , так само як інтервали p_2 , не можуть бути меншими за стандартні значення, наведені у таблиці 10.1. У подібних одинарних вузлах внапусток не можна використовувати одну заклепку або один ряд заклепок; те ж саме стосується болтів з потайною головою або заклепок з потайною головою.

(2) Розрахунковий опір зминанню $F_{b,Rd}$, визначений згідно з 10.5.5

рекомендовано обмежити згідно з формулою (10.14):

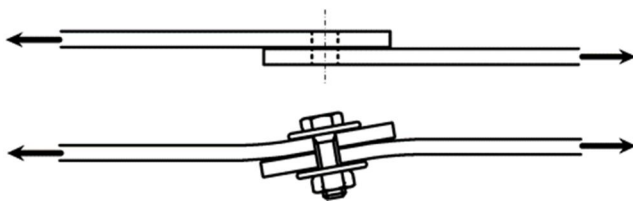


Рисунок 10.9 — Одинарний вузол внапусток на одному ряді болтів

(3) У разі застосування високоміцних болтів класів міцності 8.8 або 10.9 у вузлах із плоских елементів з одинарним напустком з одним болтом або одним рядом болтів (нормальним до напрямку навантаження) рекомендовано використовувати відповідні шайби, навіть коли болти не є попередньо напруженими.

На вільних кінцях з'єднаних частин може виникати постійний пластичний вигин із площини, обумовлений ексцентриситетом у граничному стані експлуатаційної придатності. Це потрібно враховувати у випадках, коли з'єднання розраховане на граничний стан за експлуатаційною придатністю.

10.5.11 Кріпильні деталі з ущільнювальними прокладками

(1) Якщо болти або заклепки, що сприймають зусилля зсуву та зминання, проходять через ущільнювальні прокладки загальної товщини t_p , більшої ніж одна третина номінального діаметра d , то розрахунковий опір зсуву $F_{v,Rd}$, розрахований за методикою 10.5.4 — 10.5.6, потрібно помножити на понижувальний коефіцієнт β_p , визначений за формулою (10.15):

$$\beta_p = 9d / (8d + 3t_p) \text{ для } d/3 \leq t_p \quad (10.15)$$

(2) У з'єднаннях із двома площинами зсуву за наявності прокладок на обох сторонах стику, значення t_p рекомендовано приймати таким, що дорівнює товщині більш товстої прокладки.

10.5.12 Штифтові з'єднання

10.5.12.1 Загальні положення

Штифтові з'єднання, де рекомендовано забезпечити поворот, мають бути розраховані згідно з 10.5.12.2 і 10.5.12.3.

Примітка. 10.5.12.2 та 10.5.12.3 не застосовні до ливарних матеріалів.

(3) Штифти мають відповідати таблицям 5.4 та 5.9, або EN 1993-1-8.

10.5.12.2 Отвори під штифти та штифтові шайби

(1) Геометрія елементів, з'єднаних штифтами у штифтових з'єднаннях має відповідати вимогам до розмірів, наведеним на рисунку 10.10.

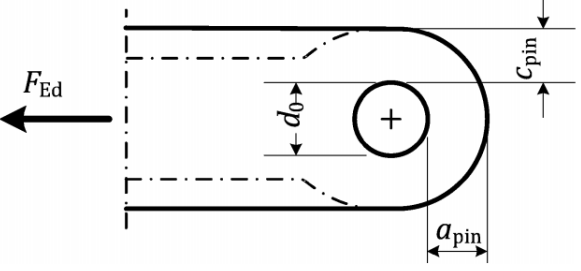
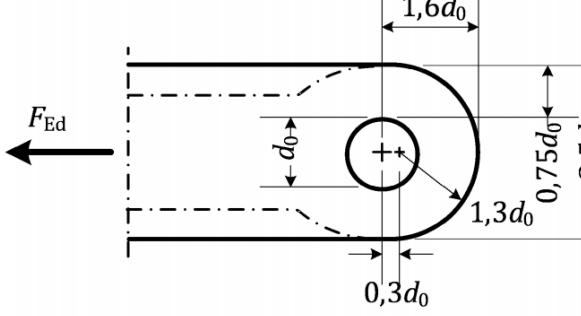
	$a_{\text{pin}} = \frac{F_{\text{Ed}} \gamma_{\text{M1}}}{2t f_0} + \frac{2d_0}{3}$ $c_{\text{pin}} \geq \frac{F_{\text{Ed}} \gamma_{\text{M1}}}{2t f_0} + \frac{d_0}{3}$
а) Задана товщина та діаметр отвору	
	$t \geq 0,7 \sqrt{\frac{F_{\text{Ed}} \gamma_{\text{M1}}}{f_0}}$ $d_0 \leq 2,5t$
б) Задана геометрія	

Рисунок 10.10 — Геометричні характеристики для елементів зі штифтовими з'єднаннями на кінцях

(2) У граничному стані за несною здатністю розрахункове зусилля F_{Ed} , у з'єднаному штифтом елементі не може перевищувати розрахунковий опір, наведений у таблиці 10.5.

(3) З'єднані штифтами елементи мають бути розташовані так, щоб уникнути ексцентриситету, і мають бути достатнього розміру щоб передати навантаження із області елемента з отвором для штифта до віддаленого від штифта елемента.

10.5.12.3 Розрахунок штифтів

(1) Штифти не рекомендовано навантажувати лише на зсув, і тому на одному зі з'єднаних елементів має бути вилкоподібний кінець або отвір під шплінт. Пристосування, що утримує штифт на місці наприклад, пружинний фіксатор, має бути розраховано на сприйняття поперечного навантаження, не меншого ніж 10 % від повного зсувного навантаження на штифт.

(2) Згинальні моменти в штифті рекомендовано обчислювати за формулою (10.16):

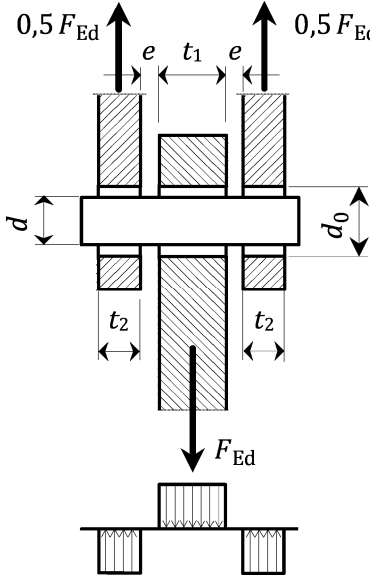
$$M_{Ed} = \frac{F_{Ed}(2t_2 + 4e + t_1)}{8} \quad (10.16)$$

(3) У граничному стані за несною здатністю розрахункові зусилля і моменти у штифтовому з'єднанні не мають перевищувати відповідні розрахункові опори, наведені у таблиці 10.5.

Таблиця 10.5 — Розрахункові опори для штифтових з'єднань

Критерій	Опір	
Зсув штифта Якщо передбачено можливість заміни штифта, має також бути виконана наступна умова	$F_{v,Rd} = \alpha_v A f_{up} / \gamma_{Mp}$ $F_{v,Rd,ser} = 0,6 A f_{op} / \gamma_{Mp,ser}$ α_v згідно з таблицею 10.3	$\geq F_{v,Ed}$ $\geq F_{v,Ed,ser}$
Несна здатність шайби та штифта Якщо передбачено можливість заміни штифта, має також бути виконана наступна умова	$F_{b,Rd} = 1,5 t d f_{o,min} / \gamma_{M1}$ $F_{b,Rd,ser} = 0,6 t d f_{o,min} / \gamma_{Mp,ser}$	$\geq F_{b,Ed}$ $\geq F_{b,Ed,ser}$
Згин штифта Якщо передбачено можливість заміни штифта, має також бути виконана наступна умова	$M_{Rd} = 1,5 W_{el} f_{op} / \gamma_{M1}$ $M_{Rd,ser} = 0,8 W_{el} f_{op} / \gamma_{Mp,ser}$	$\geq M_{Ed}$ $\geq M_{Ed,ser}$
Спільна дія зрізу та згину штифта	$(M_{Ed}/M_{Rd})^2 + (F_{v,Ed}/F_{v,Rd})^2 \leq 1,0$	

Кінець таблиці 10.5

d — діаметр штифта; $f_{o,min}$ — є найменшою з розрахункових міцностей штифта і з'єднаних елементів; f_{up} — гранична міцність штифта на розтяг f_{op}, граничне напруження зсуву штифта; t — товщина з'єднаної частини; A — площа поперечного перерізу штифта.	 Дії та наслідки дій на штифт

10.5.13 Кріпильні вироби з алюмінію

10.5.13.1 Алюмінієві болти

(1) Якщо неможливо застосувати алюмінієві болти та гайки, придбані згідно з EN 15048-1 та EN 15048-2 (у комплекті), то алюмінієві болти та гайки рекомендовано застосовувати лише якщо виробник болтів може підтвердити випробуваннями їх відповідність стандарту EN 28839 щодо механічних властивостей, а також відповідність геометричних допусків стандартам для сталевих болтів EN ISO 4014 або EN ISO 4017.

(2) Всі вимоги до болтів має бути вказано у технічних завданнях. Якщо використання болтів з різьбою, виготовленою методом нарізання, не допускається, це має бути вказано.

(3) Рекомендовано застосовувати лише ті болти, для яких сертифікат перевірки 3.1 згідно з EN 10204 підтверджує властивості матеріалу і проведення відповідних випробувань.

10.5.13.2 Алюмінієві заклепки.

(1) За відсутності стандартів EN на алюмінієві заклепки, суцільні алюмінієві заклепки, наведені у таблиці 5.9, рекомендовано застосовувати

лише тоді, коли їх виробник може підтвердити, що заклепки вироблені з тягнутого круглого прутка згідно з EN 754 або тягнутого круглого дроту згідно з EN 1301, і особливо, що показники міцності заклепок також відповідають даним стандартам.

(2) Рекомендовано дотримуватися правил, що стосуються геометрії згідно з рисунком 10.11, де d — номінальний діаметр суцільного штифта і $a = t - k \geq 1,5$ мм для випадків потайних голівок. Встановлені тут і в EN 1090-3 правила, мають бути вказані на всіх кресленнях із приміткою, що всі закупівлі рекомендовано проводити згідно з ними. Головки штифтів мають відповідати розмірам, встановленим на рисунку 10.11.

(3) Виробник заклепок повинен підтвердити відповідність властивостей матеріалу і належне виконання випробувань згідно з вказаних вимог, надавши свідоцтво про перевірку 3.1 згідно з EN 10204.

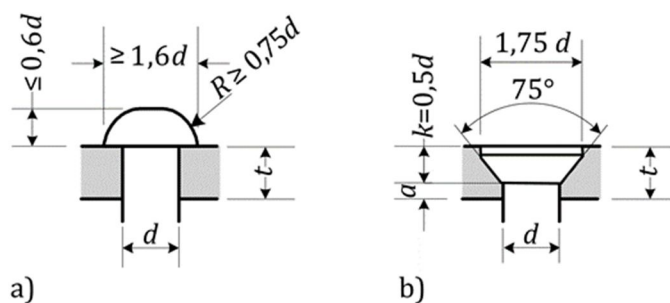


Рисунок 10.11 — Розміри головки алюмінієвих заклепок із суцільним стрижнем

10.6 Основи проєктування

10.6.1 Загальні положення

(1) Під час проєктування зварних з'єднань необхідно враховувати міцність як зварних швів, так і зони термічного впливу. В розрахунку потрібно використовувати найменше значення опору.

(2) Вимоги до розрахунку, наведені в цьому розділі, застосовні до:

— конструкцій, навантажених переважно статичними навантаженнями;

- рівню якості згідно з EN 1090-3;
- зварювання під інертним газом плавким або неплавким електродом для матеріалів товщиною згідно з таблицями 5.3, 5.4 та 5.7, але не меншою ніж 1,5 мм, а також ротаційного фрикційного зварювання згідно з 10.7 і EN 1090-3;
- комбінацій основного і присадного металів, зазначені в 5.3.4 і таблиці 10.6;

(3) У випадку невиконання умов параграфу (2), рекомендовано зварити і випробувати спеціальні випробувальні зразки.

(4) Потрібно використовувати стикові шви з повним або частковим проплавленням. Застосування переривчастих стикових зварних швів не допускається.

Примітка 1. Стиковий шов з повним проплавленням — це зварний шов, що забезпечує повне проплавлення і сплавлення зварного шва і основного металу по всій товщині вузла.

Примітка 2. Стиковий шов з частковим проплавленням — це зварний шов, глибина проплавлення якого менше повної товщини основного матеріалу.

(5) Кутові зварні шви дозволено застосовувати для з'єднання деталей, зварювальні поверхні яких розташовані під кутом від 60° до 120°. Допускається зварювання для кута між зварювальними поверхнями менше 60°. У цьому випадку ефективний переріз зварного шва t_e , що використовується у правилах проєктування кутових зварних швів, не має перевищувати глибину проплавлення, що відповідає кваліфікації зварювальника згідно з EN 1090-3.

(6) Розмір круглих або подовжених отворів, що використовуються для зварних кутових з'єднань внапусток з іншими складовими частинами, має бути достатнім для забезпечення повного доступу для зварювання. У сумнівних випадках рекомендовано вказати довиробничі випробування зварювання згідно з EN ISO 15613.

(7) Якщо для обчислення розрахункового опору кутових швів застосовано повну довжину, то чистову обробку торців або бічних сторін елементів рекомендовано проводити безперервно, як зазначено в EN 1090-3.

(8) У випадку наявності ексцентриситету в односторонніх зварних кутових швах та стикових швах з неповним проплавленням див. 10.6.2.7.

(9) Переривчасті кутові зварні шви не рекомендовано використовувати для передачі зусиль, перпендикулярних до осі зварного шва.

(10) Кінцеві ділянки кутових швів мають доходити до кінця кутового шва.

(11) У переривчастих кутових зварних швах відстань e_w між кінцями кожного відрізка шва L_w має відповідати наступним вимогам:

— для визначення осьових розтягуючих напружень в зварному шві:
 $e_w \leq \text{minimum} \{20t; 300 \text{ мм}\};$

— для визначення осьових стискаючих напружень в зварному шві:
 $e_w \leq \text{minimum} \{15t; 200 \text{ мм}\},$ де

t — менша із товщин з'єднаних частин.

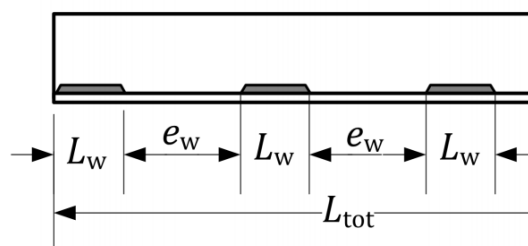


Рисунок 10.12 — Відстань між кінцями переривчастих кутових швів
 Розрахунок зварних з'єднань

10.6.2 Проектування зварних з'єднань

10.6.2.1 Загальні положення

(1) Під час розрахунку зварних з'єднань, рекомендовано перевірити наступне:

- розрахунковий опір зварних швів, див. 10.6.2.3 і 10.6.2.4;
- розрахунковий опір зони термічного впливу, прилеглої до зварного шва, див. 10.6.2.5;

(2) Зварні шви і прилеглу зону термічного впливу дозволено розраховувати або через прикладання навантажень на зварні шви, що найбільш придатні для їх сприйняття (метод 1 в 10.6.2.6), або з урахуванням напружень, що виникають в прилеглому основному металі різних частин вузлів (метод 2 в 10.6.2.6).

10.6.2.2 Загальні положення

(1) Для обчислення характеристичної міцності металу зварного шва f_w , рекомендовано застосовувати значення, наведені у таблиці 10.6, за умови, що застосовано комбінації основного і присадного металів, зазначені в 5.3.4.

Примітка 1. У зварних з'єднаннях міцність металу шва зазвичай нижче, ніж міцність основного металу, за винятком міцності у зоні термічного впливу. Деформаційну здатність зварного вузла можливо поліпшити, якщо розрахункова міцність швів буде більшою ніж матеріалу зони термічного впливу.

Примітка 2. Для присадного металу S Al 5356 та S Al 4043A в національному додатку можуть бути передбачені умови для випробувань, що допускають більш високі значення, ніж зазначені в таблиці 10.6, див. примітку с до таблиці 10.6.

(2) Характеристичну міцність металу зварного шва рекомендовано визначати за застосованим присадним металом.

(3) У випадку зварювання різних сплавів рекомендовано використовувати найменшу характеристичну міцність зварного шва, наведену в таблиці 10.6 f_w .

Таблиця 10.6 — Значення характеристичної міцності металу зварного шва f_w для зварювання під інертним газом плавким або неплавким електродом

1	2	3	4	5	6	7	8
2		Стикові зварні шви з $t_w \leq 15$ мм і кутові зварні шви з $a \leq 8$ мм		Стикові зварні шви з $15 \text{ мм} < t_w^a \leq 30$ мм і кутові зварні шви з $8 \text{ мм} < a^a \leq 16$ мм		Стикові зварні шви з $t_w > 30 (50)^a$ мм і кутові зварні шви з $a > 16(24)^a$ мм	
3	присадний метал e,f	S Al 5356	S Al 4043A	S Al 5356	S Al 4043A	S Al 5356 ^c	S Al 4043A ^c
	сплав: EN AW-						
4	3004	210	190	---	---	---	---
5	3005	160	150	---	---	---	---
6	3103	---	95	---	95	---	---
7	5005/5005A	160	150	160	135	---	---
8	50499	220	н/з	220	н/з	198	н/з
9	5052 ^h	170	н/з	170	н/з	153	н/з
10	5083/5383	240	н/з	240	н/з	216	н/з
11	5454 ⁱ	220	н/з	220	н/з	198	н/з
12	5754 ^j	220	н/з	220	н/з	198	н/з
13	6060	160	150	160	135	---	---
14	6061	190	170	190	145	152	96
15	6063	160	150	160	135	---	---
16	6005A	180	160	180	140	---	---
17	6082	210	190	210	155	168	96
18	6106	180	160	---	---	---	---
19	7020	260	210	250 ^b	165	208	96
20	8011A	100	100	---	---	---	---

Умовні позначки:

н/з — не є застосовним

--- — не суттєвий

^a Для матеріалів товщиною t_w , (власне, товщина зварного шва) від 15 мм до 30 мм і значень a від 8 до 16 мм, застосовні значення характеристичної міцності дозволено визначати лінійною інтерполяцією. Аналогічно, для товщини матеріалу t_w від 30 мм до 50 мм, і значень a від 16 мм до 24 мм.

^b 260 замість 250 у випадку застосування присадних металів S Al 5556, S Al 5556A, S Al 5183 or S Al 5087.

^c Залежно від товщини матеріалів рекомендовано застосовувати і більш високі значення, але їх дозволено визначати через випробування, див. також 10.6.2.2 Примітка 2.

Кінець таблиці 10.6

^d	Присадний метал S Al 5356 не дозволено використовувати з EN AW-3103. Проте, дозволено використовувати присадний метал S Al 3103. В цьому випадку рекомендовано застосовувати значення 95 Н/мм ² . Загальні пояснення:
^e	У випадку використання присадних металів S Al 5556, S Al 5556A, S Al 5183 or S Al 5087, рекомендовано приймати значення для S Al 5356.
^f	У випадку використання присадного металу S Al 4047A, рекомендовано приймати значення для S Al 4043A.
^g	Для катаних виробів: 190 для присадного металу S Al 5554 і 180 для присадного металу S Al 5754 — для зварних швів будь-якої товщини.
^h	Для катаних виробів: 170 для присадного металу S Al 5554 і S Al 5754 для зварних швів будь-якої товщини.
	Для катаних виробів: 215 для присадного металу S Al 5554, 180 для присадного металу S Al 5754 для зварних швів будь-якої товщини; для пресованих виробів: 200 для присадного металу S Al 5554 і 180 для присадного металу S Al 5754 для зварних швів будь-якої товщини.
	Для катаних виробів: 190 для присадного металу S Al 5554, 180 для присадного металу S Al 5754 для зварних швів будь-якої товщини; для пресованих виробів: 180 для присадного металу S Al 5554 і S Al 5754 для зварних швів будь-якої товщини.

10.6.2.3 Перевірка стикових швів

10.6.2.3.1 Стикові зварні шви з повним проплавленням

(1) Ефективна товщина проплавленого стикового зварного шва має дорівнювати товщині з'єднаних ним елементів. Якщо елементи мають різну товщину, за розрахункову товщину шва рекомендовано приймати меншу з них.

(2) Ефективну довжину зварного шва рекомендовано приймати такою, що дорівнює загальній довжині шва, якщо використовуються вивідні планки. У випадку відсутності вивідних планок довжину рекомендовано зменшити на дві товщини t .

(3) Розрахунковий опір стикового шва з повним проплавленням має відповідати формулі (10.17):

$$\sqrt{\sigma_{\perp Ed}^2 + 3(\tau_{\perp Ed}^2 + \tau_{\parallel Ed}^2)} \leq \frac{f_w}{\gamma_{Mw}} \quad (10.17)$$

зі складовими напруження згідно з рисунком 10.13, де

f_w — характеристична міцність металу зварного шва згідно з таблицею 10.6;

$\sigma_{\perp Ed}$ — нормальне напруження, перпендикулярне перерізу зварного шва;

$\tau_{\perp Ed}$ — зсувне напруження, в площині перерізу зварного шва і під прямим кутом до його осі;

$\tau_{\parallel Ed}$ — зсувне напруження, в площині перерізу зварного шва і паралельне до його осі;

γ_{Mw} — частковий коефіцієнт для зварних вузлів, див. таблицю 4.1.

(4) Виконуючи перевірку шва на міцність, дозволено не враховувати залишкові напруження і напруження, що не беруть участі у передаванні навантаження.

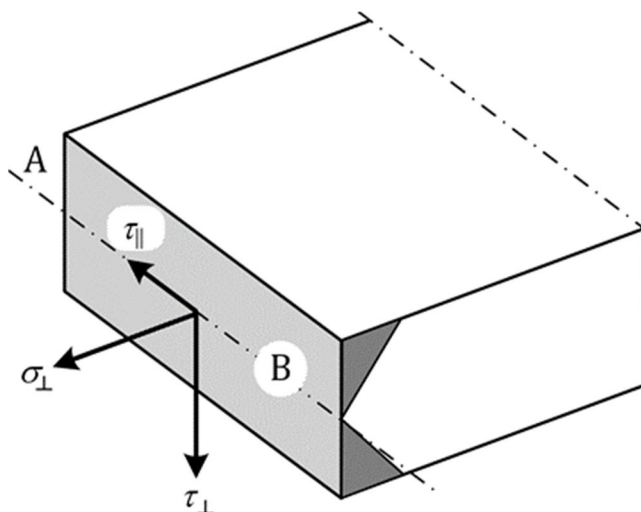


Рисунок 10.13 — Стиковий шов зі складовими напруження, A = вісь шва, B = переріз шва

10.6.2.3.2 Стикові зварні шви з частковим проплавленням

(1) Стикові шви з неповним проплавленням рекомендовано розраховувати за правилами для кутових швів, приймаючи ефективний переріз по товщині шва t_e в якості основного, див. рисунок 10.14.

(2) Ефективний переріз зварного шва t_e не має перевищувати глибину проплавлення, що відповідає кваліфікації зварювальника, передбаченій приймальними випробуваннями для зварювання згідно з EN 1090-3.

(3) Опір зварних швів у вузлах зі стиковими швами з неповним проплавленням впоперек елемента і зі ступенем використання $\geq 0,60$ (UR 1 і UR 2 згідно з EN 1090-3), має перевищувати опір зони термічного впливу з'єднання.

(4) Для збільшення міцності зварного шва стикові зварні шви з неповним проплавленням можуть бути підкріплені кутовими швами (див. рисунок 10.14).

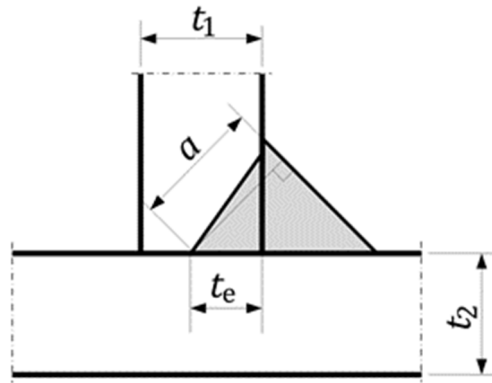


Рисунок 10.14 — Стиковий зварний шов з неповним проплавленням з підсилюючим кутовим швом

10.6.2.3.3 Відкриті шви зі скосом кромки

(1) Відкриті шви зі скосом кромки рекомендовано розраховувати згідно з правилами для кутових швів, при цьому за переріз зварного шва a приймають найбільш несприятливий для передачі навантаження.

(2) a не має перевищувати глибину проплавлення, що відповідає кваліфікації зварювальника, передбаченій приймальними випробуваннями для зварювання згідно з EN 1090-3.

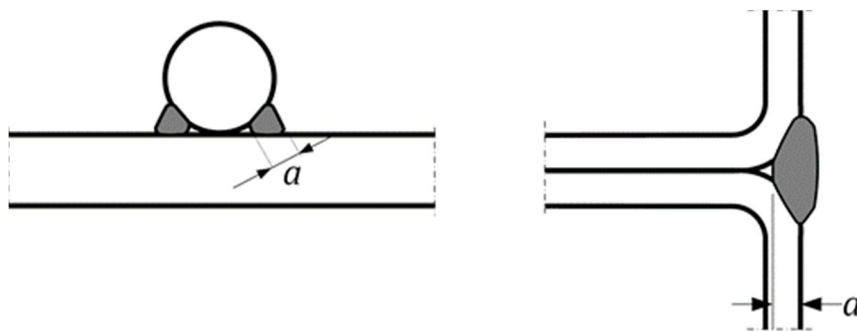


Рисунок 10.15 — Відкриті шви зі скосом кромки

10.6.2.4 Розрахунок кутових швів

10.6.2.4.1 Загальні положення

(1) Для розрахунку кутового шва за основний переріз рекомендовано приймати переріз через найменшу товщину зварного шва.

(2) Переріз через найменшу товщину зварного шва рекомендовано визначати на основі ефективної довжини зварного шва та ефективної найменшої товщини зварного шва.

(3) Ефективну довжину рекомендовано приймати рівною загальній довжині зварного шва, якщо:

- довжина зварного шва становить принаймні 8 його товщин;
- довжина зварного шва не перевищує 100 найменших товщин шва для нерівномірного розподілу напружень;
- розподіл напружень уздовж зварного шва є рівномірним (наприклад, у випадку вузлів внапусток, як показано на рис. 10.16 а));
- чистову обробку торців або бічних сторін частин виконують безперервно, як зазначено в EN 1090-3. Якщо це не так, то ефективну довжину рекомендовано приймати як різницю довжини та подвоєної найменшої товщини зварного шва .

(4) Якщо довжина зварного шва менше за восьмикратну найменшу товщину шва, опором зварного шва рекомендовано знехтувати. Якщо розподіл напружень уздовж зварного шва нерівномірний (див. рис. 10.16b), а довжина зварного шва перевищує найменшу його товщину у 100 разів, то

ефективну довжину поздовжнього зварного шва рекомендовано приймати за формулою (10.18):

$$L_{w,eff} = \left(1,2 - \frac{0,2L_w}{100a}\right) L_w \text{ з } L_w \geq 100a \quad (10.18),$$

де

$L_{w,eff}$ — ефективна довжина поздовжнього кутового шва;

L_w — загальна довжина поздовжнього кутового шва;

a — це ефективна найменша товщина зварного шва, див. рис. 10.17.

Примітка. У випадку нерівномірного розподілу напружень і наявності тонких та довгих зварних швів, деформаційну здатність на їх кінцях може бути вичерпано ще до того, як у середній частині шва буде досягнуто стану текучості; таким чином з'єднання може зруйнуватись на зразок застібки-блискавки.

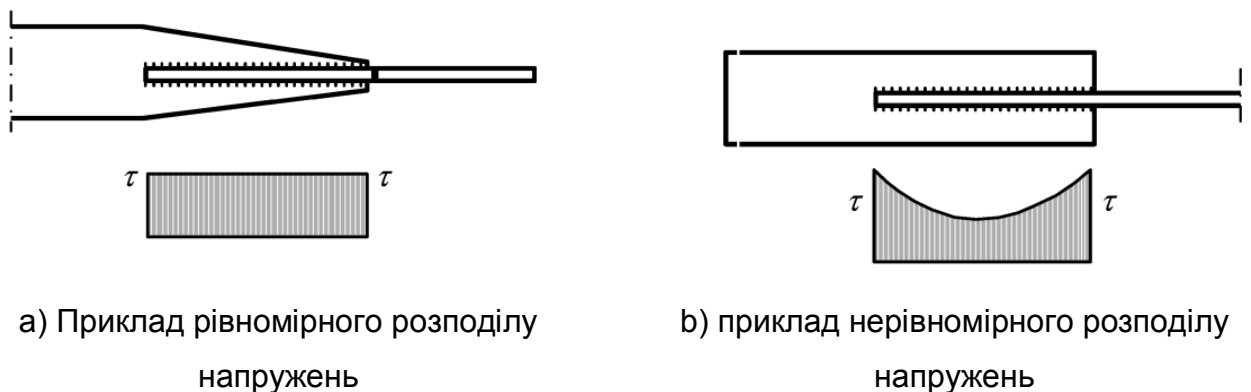


Рисунок 10.16 — Розподіл напружень у вузлах з кутовими швами

(5) Ефективна найменша товщина зварного шва a — це висота найбільшого трикутника, який можливо вписати у зварний шов, див. рис. 10.17.

(6) Якщо на випробувальних зразках наявне однорідне проплавлення кореня шва a_{pen} , то для потреб розрахунку дозволено збільшити найменшу товщину зварного шва, за умови, що однорідність проплавлення забезпечено згідно з EN 1090-3.

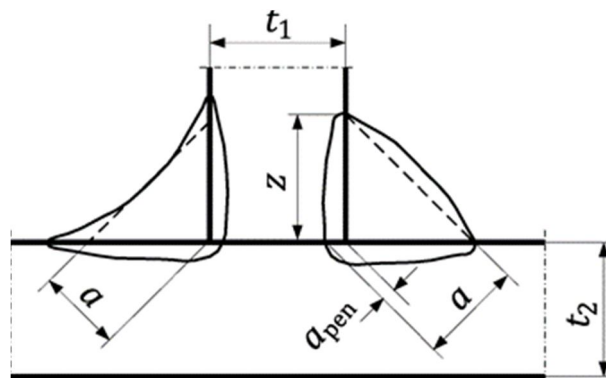
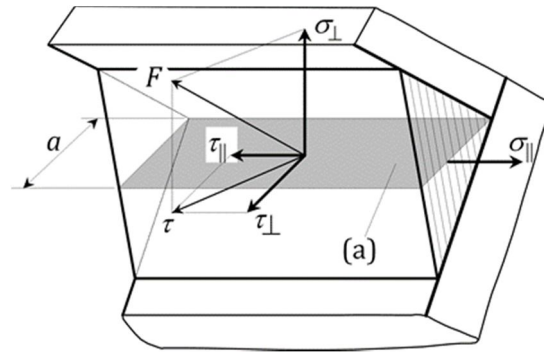


Рисунок 10.17 — Ефективна найменша товщина зварного шва a ;
проплавлення кореня шва a_{pen}

(7) Сили, що діють на кутовий зварний шов, рекомендовано розкласти на складові напруження відносно перерізу по товщині шва, див. рис. 10.18. Складові напруження:

- нормальне напруження, $\sigma_{\perp}$ перпендикулярне до перерізу по товщині шва;
- нормальне напруження $\sigma_{\parallel}$, паралельне до осі зварного шва;
- зсувне напруження, $\tau_{\perp}$ що діє на переріз по товщині шва перпендикулярно до осі зварного шва;
- зсувне напруження $\tau_{\parallel}$, що діє на переріз по товщині шва паралельно до осі зварного шва.

(8) Виконуючи перевірку кутового шва на міцність, дозволено не враховувати залишкові напруження і напруження, що не беруть участі у передачі навантаження. Це зокрема стосується нормального напруження $\sigma_{\parallel}$, паралельного до осі зварного шва.



Умовні позначки:

(a) переріз по товщині шва

Рисунок 10.18 — Напруження $\sigma_{\perp}$, $\tau_{\perp}$, $\sigma_{\parallel}$ та $\tau_{\parallel}$, що діють на переріз по товщині кутового зварного шва

(9) Якщо розрахунковий опір зсуву переривчастого кутового зварного шва визначають на основі загальної довжини L_{tot} , то його перевірку рекомендовано виконувати порівнянням із зсувним зусиллям у зварному шві на одиницю довжини $F_{w,Ed}$, помноженим на коефіцієнт $(e_w + L_w)/L_w$ (див. рисунок 10.12).

10.6.2.4.2 Метод напрямків

(1) Розрахунковий опір кутового шва має відповідати формулі:

$$\sqrt{\sigma_{\perp Ed}^2 + 3(\tau_{\perp Ed}^2 + \tau_{\parallel Ed}^2)} \leq \frac{f_w}{\gamma_{Mw}}, \quad (10.19)$$

де

f_w — характеристична міцність металу зварного шва згідно з таблицею 10.6;

γ_{Mw} — частковий коефіцієнт для зварних вузлів, див. таблицю 4.1.

(2) Для звичайного симетричного випадку, наведеного на рисунку 10.19 у подвійному вузлі з кутовими швами з однаковою довжиною катетів, навантаженому перпендикулярно до осі зварного шва, найменша товщина шва a має виконувати умови (10.20) та (10.21):

$$a \geq \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{\sigma_{Ed} t}{f_w / \gamma_{Mw}}, \quad (10.20)$$

де

$$\sigma_{Ed} = \frac{F_{Ed}}{tL_{w,eff}} \text{ — нормальне напруження у з'єднаному елементі, (10.21)}$$

де

F_{Ed} — розрахункове навантаження у з'єднаному елементі;

f_w — характеристична міцність металу зварного шва згідно з таблицею 10.6;

t — товщина з'єданого елемента, див. рисунок 10.19;

$L_{w,eff}$ — ефективна довжина зварного шва згідно з 10.6.2.4.1 (4).

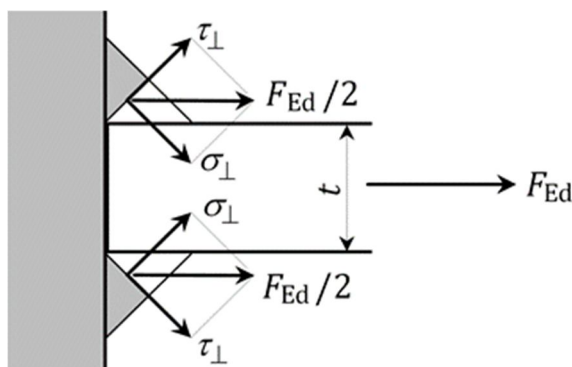


Рисунок 10.19 — подвійне кутове зварне з'єднання, навантажене перпендикулярно до осі зварного шва

(3) У подвійному кутовому зварному з'єднанні, навантаженому паралельно до осі зварного шва (див. рисунок 10.20), найменша товщина a має відповідати формулам (10.22) та (10.23):

$$a \geq \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{\tau_{Ed} t}{f_w / \gamma_{Mw}}, \quad (10.22)$$

де

$$\tau_{Ed} = \frac{F_{Ed}}{tL_{w,eff}} \text{ — зсувне напруження у з'єднаному елементі; (10.23)}$$

F_{Ed} — навантаження у з'єднаному елементі;

f_w — характеристична міцність металу зварного шва згідно з таблицею 10.6;

t — товщина з'єданого елемента, див. рисунок 10.20;

$L_{w,eff}$ — ефективна довжина зварного шва згідно з 10.6.2.4.1 (4).

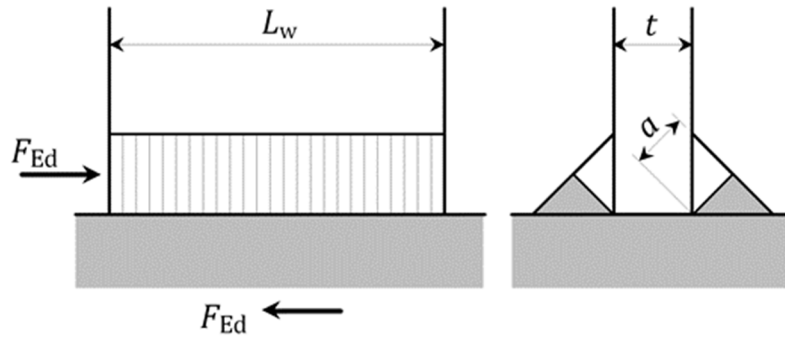


Рисунок 10.20 — подвійне кутове зварне з'єднання, навантажене паралельно до осі зварного шва

10.6.2.4.3 Спрощений метод

(1) Альтернативно до 10.6.2.4.2, розрахунковий опір кутового зварного шва можна вважати достатнім, якщо в кожній точці по його довжині рівнодійна всіх зусиль на одиницю довжини, переданих зварним швом, задовольняє умову (10.24):

$$F_{w,Ed} \leq F_{w,Rd} , \quad (10.24)$$

де

$F_{w,Ed}$ — розрахункове значення зусилля у зварному шві на одиницю довжини;

$F_{w,Rd}$ — розрахунковий опір зварного шва на одиницю довжини.

(2) Незалежно від положення площини найменшої товщини зварного шва відносно прикладеного зусилля, розрахунковий опір на одиницю довжини $F_{w,Rd}$ рекомендовано визначати за формулою (10.25):

$$F_{w,Rd} = f_{vw,d}^a \quad (10.25)$$

де

$f_{vw,d}$ — розрахункова міцність на зсув зварного шва;

a — ефективна найменша товщина зварного шва (див. рисунок 10.21).

(3) Розрахункову міцність зварного шва на зсув $f_{vw,d}$, рекомендовано обчислювати згідно з формулою (10.26):

$$f_{vw,d} = f_w / (\gamma_{Mw} \sqrt{3}) \quad (10.26)$$

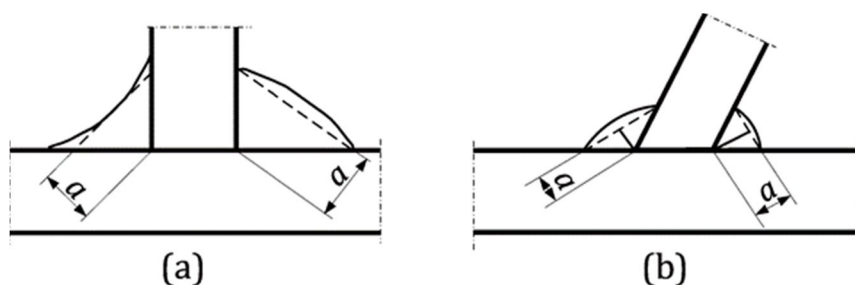


Рисунок 10.21 — Кутові зварні шви також із різними довжинами катетів

10.6.2.5 Розрахунковий опір у зоні термічного впливу

10.6.2.5.1 Загальні положення

(1) Під час перевірки опору зони термічного впливу рекомендовано враховувати зону термічного впливу (див. також 8.1.6) для сплавів наступних класів:

- термооброблені сплави стану обробки T4 і вище (серії 6xxx і 7xxx);-
- не піддані термообробці сплави, у будь-якому загартованому стані (серії 3xxx, 5xxx та 8xxx).

(2) Рекомендовано враховувати інтенсивність обробки та протяжність (розміри) знеміцнення зони термічного впливу, зазначені у 8.1.6. У випадку зварювання під інертним газом неплавким більше кількість тепла спричиняє більшу протяжність (зони термічного впливу) та більш інтенсивне знеміцнення.

(3) Характеристичні значення 0,2% умовної границі текучості $f_{0,2}$ та границі міцності на розтяг f_u у зоні термічного впливу, а також застосовні із ними понижувальні коефіцієнти рекомендовано отримувати з Таблиць 5.3 — 5.7.

10.6.2.5.2 Розрахунковий опір зони термічного впливу стикових зварних з'єднань

Розрахунок зони термічного впливу, прилеглої до стикового зварного

шва рекомендовано виконувати згідно з формулами (10.27) — 10.29) як показано нижче:

а) розтягувальне зусилля, перпендикулярне до площини руйнування (див. рисунок 10.22):

$$\sigma_{\text{haz,Ed}} \leq \frac{f_{\text{u,haz}}}{\gamma_{\text{Mw}}} \quad (10.27)$$

біля кромки зварного шва (повний поперечний переріз) для зварних швів з повним проплавленням та у ефективному перерізі по товщині шва, t_e , для зварних швів із частковим проплавленням; (10.27),

де

$\sigma_{\text{haz,Ed}}$ — розрахункове нормальне напруження, перпендикулярне осі зварного шва;

$f_{\text{u,haz}}$ — характеристична міцність зони термічного впливу, див. 5.2.2;

γ_{Mw} — частковий коефіцієнт для зварних вузлів, див. таблицю 4.1.

б) Зсувне напруження у площині руйнування:

$$\tau_{\text{haz,Ed}} \leq \frac{f_{\text{v,haz}}}{\gamma_{\text{Mw}}} \quad (10.28)$$

біля кромки зварного шва (повний поперечний переріз) для зварних швів з повним проплавленням та у ефективному перерізі по товщині шва t_e для зварних швів із частковим проплавленням, де

$\tau_{\text{haz,Ed}}$ — зсувне напруження, паралельне осі зварного шва;

$f_{\text{v,haz}}$ — характеристичне зсувне напруження зони термічного впливу,

$f_{\text{v,haz}} = f_{\text{u,haz}}/\sqrt{3}$;

γ_{Mw} — частковий коефіцієнт для зварних вузлів, див. таблицю 4.1.

с) Спільна дія зсуву та розтягу:

$$\sqrt{\sigma_{\text{haz,Ed}}^2 + 3\tau_{\text{haz,Ed}}^2} \leq \frac{f_{\text{u,haz}}}{\gamma_{\text{Mw}}} \quad (10.29)$$

біля кромки зварного шва (повний поперечний переріз) для зварних швів з повним проплавленням і у ефективному перерізі по товщині шва t_e для зварних швів із частковим проплавленням, де позначки ідентичні 10.6.2.5.2

а) та б).

10.6.2.5.3 Розрахунковий опір зони термічного впливу кутових зварних з'єднань

Розрахунок зони термічного впливу, прилеглої до кутового зварного шва рекомендовано виконувати згідно з формулами (10.30) — 10.32) як показано нижче:

а) розтягувальне зусилля, перпендикулярне до площини руйнування (див. рисунок 10.22):

$$\sigma_{\text{haz,Ed}} \leq \frac{f_{\text{u,haz}}}{\gamma_{\text{Mw}}} \quad (10.30)$$

на границі розплавлення і на кромках зварного шва (повний поперечний преріз), де

$\sigma_{\text{haz,Ed}}$ — розрахункове нормальне напруження, перпендикулярне осі зварного шва;

$f_{\text{u,haz}}$ — характеристична міцність зони термічного впливу, див. 5.2.2;

γ_{Mw} — частковий коефіцієнт для зварних вузлів, див. таблицю 4.1.

б) Зсувне напруження у площині руйнування:

$$\tau_{\text{haz,Ed}} \leq \frac{f_{\text{v,haz}}}{\gamma_{\text{Mw}}} \quad (10.31)$$

на границі розплавлення і на кромках зварного шва (повний поперечний преріз), де

$\tau_{\text{haz,Ed}}$ — зсувне напруження, паралельне осі зварного шва;

$f_{\text{v,haz}}$ — характеристичне зсувне напруження зони термічного впливу,

$$f_{\text{v,haz}} = f_{\text{u,haz}}/\sqrt{3};$$

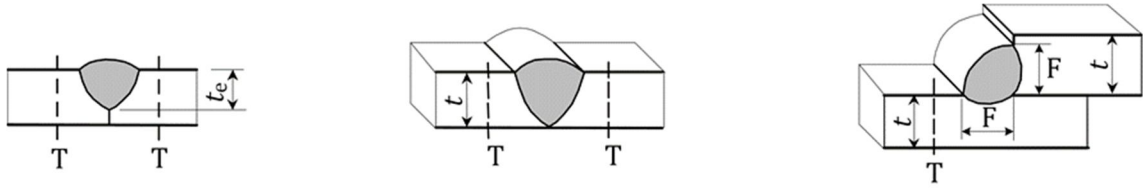
γ_{Mw} — частковий коефіцієнт для зварних вузлів, див. таблицю 4.1.

с) Спільна дія зсуву та розтягу:

$$\sqrt{\sigma_{\text{haz,Ed}}^2 + 3\tau_{\text{haz,Ed}}^2} \leq \frac{f_{\text{u,haz}}}{\gamma_{\text{Mw}}} \quad (10.32)$$

на границі розплавлення і на кромках зварного шва (повний поперечний

переріз), де позначки ідентичні 10.6.2.5.3 а) та б).



Умовні позначки:

F — зона термічного впливу на границі проплавлення;

T — зона термічного впливу на кромках зварного шва (повний поперечний переріз);

t_e — ефективний переріз по товщині шва;

t — товщина елемента;

Рисунок 10.22 — Площини руйнування у зоні термічного впливу, прилеглі до зварного шва

Примітка 1. Наведені вище проєктні положення для зони термічного впливу стосуються зварних з'єднань як таких. У 8.2 — 8.9 наведено проєктні положення, що стосуються впливу зони термічного впливу на роботу елементів у конструкції.

10.6.2.6 Розрахунок з'єднань з комбінованими зварними швами

(1) Для розрахунку з'єднань з комбінованими зварними швами рекомендовано використовувати один із двох нижченаведених методів (див. також 10.1.4):

— Метод 1: Навантаження, що діють на вузол, розподіляють по зварних швах, що з найбільшою ймовірністю будуть їх сприймати;

— Метод 2: Зварні шви розраховують на дію напружень, що виникають у прилеглих ділянках основного металу в різних частинах вузла.

Примітка. Застосування одного з вищезазначених методів розрахунку з'єднань з комбінованими швами зводить задачу до розрахунку окремих зварних швів.

(2) Застосовуючи метод 1, рекомендовано перевірити, чи має зварний шов достатню деформаційну здатність для введення такого спрощеного розподілу навантаження. Крім того, гіпотетичні навантаження у

швах не мають призводити до перевантаження з'єднаних конструкційних елементів.

Примітка 1. У випадку застосування методу 2, вищезгадані проблеми не виникають, проте інколи буває важко визначити розподіл напружень у основному металі різних частин вузла.

Примітка 2. Допущення щодо спрощеного розподілу напружень, як у методі 1, є найбільш розповсюдженим підходом до розрахунку. Оскільки фактичний розподіл навантажень між різними швами є досить невизначеним, такі допущення виявилися цілком прийнятними та надійними у практиці проектування та розрахунку. Однак, такі допущення, засновані на продемонстрованій здатності зварних швів перерозподіляти навантаження за рахунок податливості.

(3) Залишкові та інші напруження, що не беруть участі у передачі навантажень (наприклад, незначний ексцентриситет у вузлі), у процесі розрахунку дозволено не враховувати.

10.6.2.7 Згин відносно осі зварного шва для односторонніх кутових і стикових швів

(1) Місцевим ексцентриситетом можна знехтувати, якщо зварний шов є частиною групи зварних швів вздовж периметра конструкційної секції (див. 10.23).

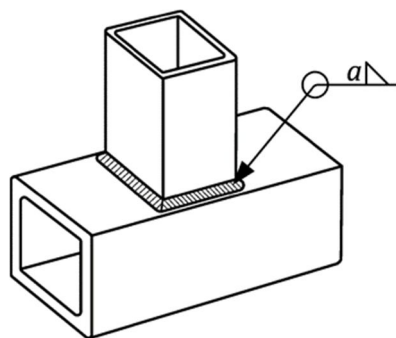


Рисунок 10.23 — Конструкційна секція з групою зварних швів вздовж периметра

(2) Згинальний момент відносно осі зварного шва рекомендовано розрахувати виходячи з переданого зусилля і його відстані від центральної

точки перерізу, див. рис. 10.24 і рис. 10.25, що визначають найменшу товщину зварного шва a , згідно з формулою (10.33):

$$M_{Ed} = N e_a + V h_a \quad (10.33)$$

Примітка. Згинальний момент M , і зусилля N та V прийнято на одиницю довжини зварного шва.

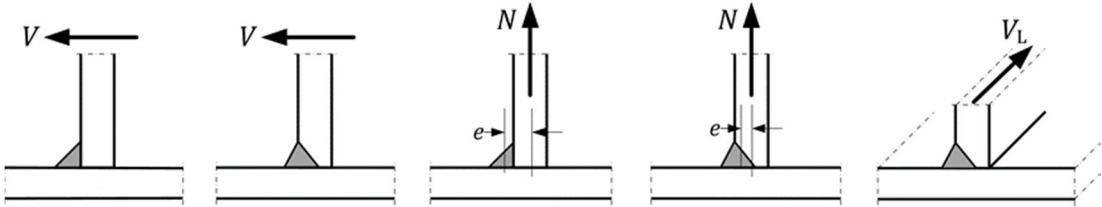


Рисунок 10.24 — Вплив зсувного та розтягувального зусиль на корінь одностороннього кутового шва з неповним проплавленням

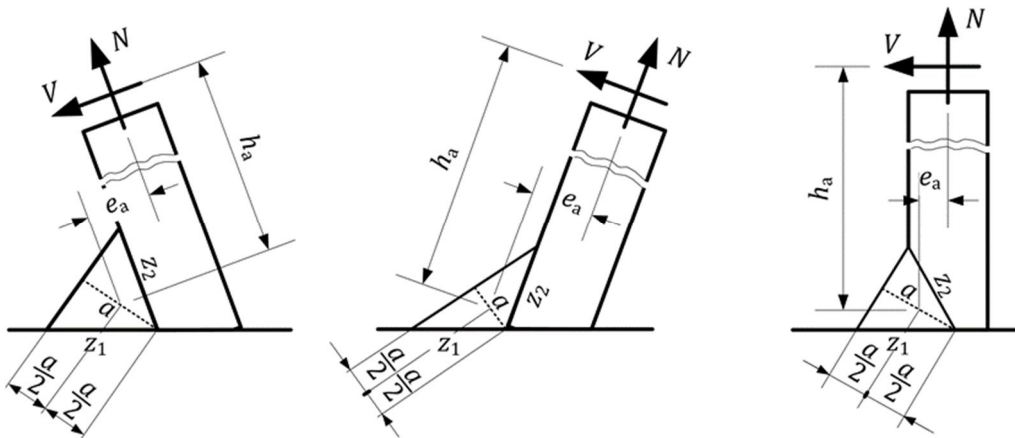


Рисунок 10.25 — Контрольні точки для розрахунку моментів, обумовлених розтягувальним зусиллям N і зсувним зусиллям V

(3) Розподіл напружень у найменшій товщині зварного шва для передачі згинального моменту відносно осі зварного шва дозволено прийняти аналогічним тому, що має місце у випадку граничного стану за несною здатністю.

(4) Формулу (10.38) для w_f отримують виразивши $\sigma_{\perp Ed}$ через формулу (10.19) та ввівши f_{wd} згідно з формулою (10.34):

$$f_{wd} = f_w / \gamma_{Mw} \quad (10.34)$$

(5) У методі напрямків опір згинальному моменту $M_{w,Rd}$ за наявності осьового зусилля $N_{w,Ed}$ задано формулами (10.35), (10.36), (10.37) та

(10.38):

$$M_{w,Rd} = M_{wu,Rd} w_f \left(1 - \frac{N_{w,Ed}}{w_f N_{wu,Rd}} \right) \quad (10.35)$$

$$M_{wu,Rd} = f_{wd} \frac{a^2}{6} \left(1 + 0,5 \frac{f_{wo}}{f_w} \right) \quad (10.36)$$

$$N_{wu,Rd} = f_{wd}^a \quad (10.37)$$

$$w_f = \sqrt{1 - 3 \left(\left(\frac{\tau_{\perp Ed}}{f_{wd}} \right)^2 + \left(\frac{\tau_{\parallel Ed}}{f_{wd}} \right)^2 \right)} \quad (10.38)$$

f_w — характеристична міцність металу зварного шва, див таблицю 10.6;

f_{wo} — 0,2 % умовна границя текучості на зсув зварного шва;

За відсутності значення f_{wo} , дозволено застосовувати значення $f_{wo} = 0,5 f_w$.

(6) у спрощеному методі рекомендовано застосовувати формули (10.39) — (10.44):

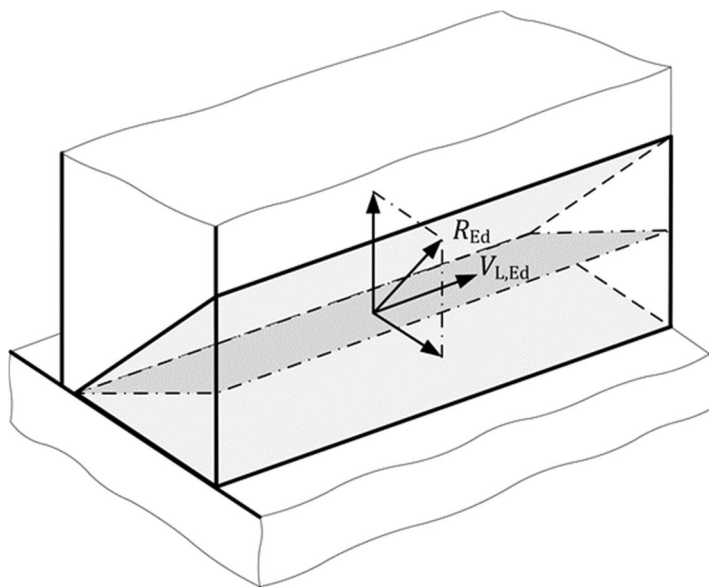


Рисунок 10.26 — Опис L_{Ed} та R_{Ed}

$$M_{w,Rd} = M_{wu,Rd} w_f \left(1 - \frac{R_{w,Ed}}{w_{vf} N_{wu,Rd}} \right), \quad (10.39)$$

де

$$M_{wu,Rd} = f_{v,wd} \frac{a^2}{6} \left(1 + 0,5 \frac{f_{wo}}{f_w} \right) \quad (10.40)$$

$$M_{wu,Rd} = f_{v,wd}^a \quad (10.41)$$

$$w_{vf} = \sqrt{1 - \left(\frac{V_{L,Ed}}{af_{v,wd}} \right)^2}, \quad (10.42)$$

де

$$f_{v,wd} = f_{wd}/\sqrt{3} \quad (10.43)$$

$V_{L,Ed}$ — складова зусилля $F_{v,Ed}$ у напрямку осі зварного шва, див. рисунок 10.26;

$R_{v,Ed}$ — рівнодійне значення складових зусилля $F_{w,Ed}$ у поперечному перерізі зварного шва;

$F_{w,Ed}$ — розрахункове значення зусилля у зварному шві на одиницю довжини:

$$F_{w,Ed} = \sqrt{V_{L,Ed}^2 + R_{w,Ed}^2} \quad (10.44)$$

(7) Якщо згинальний момент спричиняє стиснення в корені зварного шва, зварний шов рекомендовано перевірити на здатність сприймати розтягувальне напруження від нормального зусилля $N + M/d$ без напруження згину та на напруження зсуву від зсувного зусилля V . Контактну поверхню рекомендовано перевірити на здатність витримувати зусилля стиснення M/d , де d — відстань від центру контактної поверхні до центру найменшої товщини зварного шва a .

N , V та M — внутрішні зусилля та момент на одиницю довжини відносно центру найменшої товщини зварного шва. Для центрально навантаженої контактної поверхні, значення межі текучості $f_{o,haz,d}$ зони термічного впливу дозволено використовувати в якості консервативного наближення.

(8) Міцність вузла також рекомендовано перевірити щодо основного матеріалу з'єднання (зона термічного впливу), за допомогою методу напрямків, або спрощеного методу з використанням формул в (5) або (6), де f_{wd} рекомендовано замінити на $f_{u,haz,d}$, а $f_{v,wd}$ на $\frac{f_{u,haz,d}}{\sqrt{3}}$. Замість консервативного значення 0,5 для відношення f_{wo}/f_w , дозволено

застосовувати відповідні значення зони термічного впливу основного матеріалу (див. таблиці 5.3 та 5.4) ($f_{o,haz}/f_{u,haz}$).

Примітка. Згинальний момент $M_{w,Ed}$, виникає внаслідок ексцентричної сили, що діє на відстані від центральної точки відповідних ліній зварювання, z_1 та z_2 , згідно з рисунком 10.25.

(9) Перевірку зони термічного впливу для одинарного кутового зварного шва з рівною довжиною катетів і кутом між гранями 90° під дією нормального зусилля N під прямим кутом до площини з'єднання, можна не виконувати, якщо:

- перевірку якості зварного шва виконують за спрощеним методом;
- $f_{u,haz} \geq 0,7f_w$;
- найменша товщина зварного шва a , не перевищує товщину t з'єднаної частини.

10.7 Розрахунок швів, отриманих за допомогою ротаційного зварювання тертям

(1) Глибина проплавлення зварних швів, виконаних ротаційним зварюванням тертям має бути принаймні такою ж, як і у зварених разом частинах елементів (t), див. рис. 10.27 а) та б) стикових швів з повним проплавленням і с) для швів внапусток.

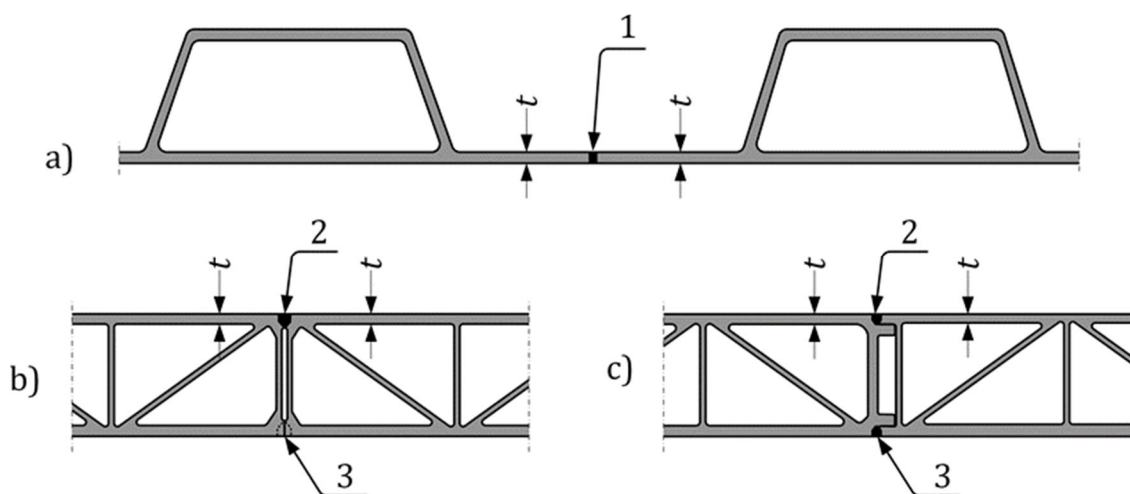


Рисунок 10.27 — Приклад вузлів, отриманих ротаційним зварюванням тертям

Умовні позначки:

- a) одинарний односторонній зварний шов, зварений з одного боку (1);
- b) профілі, зварені згори (2) та знизу (3);
- c) профілі, зварені з частковим напустком згори (2) та знизу (3).

Рисунок 10.27 — Аркуш 2

(2) Розрахункові формули для стикових зварних швів, див. 10.6.2.3.1, рекомендовано застосовувати також для зварних швів отриманих ротаційним зварюванням тертям. У формулі границі міцності у зоні термічного впливу ($f_{u,haz}$), яку наведено у таблицях 5.3 та 5.4 для швів, виконаних зварюванням під інертним газом плавким електродом рекомендовано замінити на f_w .

(3) Для зварних швів отриманих ротаційним зварюванням тертям рекомендовано застосовувати правила визначення протяжності зони термічного впливу згідно з 8.1.6.3, наведені для зварних швів, виконаних зварюванням під інертним газом

Примітка. У додатку Q наведено додаткові рекомендації.

(4) Необхідно дотримуватися правил ротаційного зварювання тертям, наведених у EN 1090-3. Приймальні випробування для зварювання мають підтверджувати, що значення поперечної міцності в зоні термічного впливу дорівнюють або перевищують значення, наведені для того ж сплаву і стану обробки у таблицях 5.3 і 5.4. Механічні випробування рекомендовано проводити згідно з EN ISO 4136 і для вихідної розрахункової довжини $L_o = 100$ мм.

Примітка. Зварний шов від ротаційного зварювання тертям, бажано довгий і плаский, отримують за допомогою обертового інструмента, що пластично розм'якшує матеріал по обидва боки лінії шва. У такий спосіб можливо виконувати стикові шви з повним проплавленням і вузли із з'єднаннями внапусток, але не звичайні кутові шви.

10.8 Гібридні з'єднання

(1) Якщо різні кріпильні вироби залежать від поєднання, їх рекомендовано перевірити на спільну роботу.

Примітка. Міцність кріпильних виробів залежить від категорії, зазору і діаметра кріпильних елементів.

(2) Як правило, кількісні показники спільної роботи дозволено отримувати за допомогою розгляду кривих навантаження - деформація для конкретного з'єднання нестандартного типу, а також випробуванням усього гібридного з'єднання.

(3) Якщо зсувне зусилля можуть сприймати кріпильні елементи з різною жорсткістю, то кріпильні елементи з найбільшою жорсткістю мають бути запроєктовані так, щоб витримувати розрахункове значення зусилля зсуву.

(4) Як виняток з пункту 10.8(3) дозволено припустити, що попередньо напружені болти з відстанню між ними не менше $1,5b_{\text{naz}}$ у з'єднаннях категорії C сприймають зсувне навантаження разом зі зварними швами або їх зонами термічного впливу, якщо це доречно, за умови, що остаточне затягування болтів проводять після завершення зварювання. Якщо з'єднані частини відповідають стандарту EN AW-7020, то умову про відстань виконувати не потрібно.

10.9 Спеціальні вузли

10.9.1 Загальні положення

(1) Спеціальні вузли з алюмінію дозволено виконувати з використанням технології пресування для отримання елементів, забезпечених відповідними пазами, що дозволяють виконувати вузли з використанням механічних кріпильних елементів.

(2) Для відповідної комбінації навантажень рекомендовано

перевірити, чи опір конструкції є достатнім для сприймання навантаження, переданого з пазу.

Примітка. Значення опору пазових болтових з'єднань в усіх трьох напрямках сильно залежать від того факту, що для запобігання місцевому вигину і розширенню отвору вже на початку навантаження, вставлений болт затягують (притискають) до верхніх консольних полиць за допомогою стопорного елемента (з t_{sup}). Це також стосується випадку для вставленої гайки або пластини з різьбою, з'єднаних з різьбовою планкою (див. 10.28(b)).

(3) Якщо болтові пази безпосередньо не підкріплені ребрами жорсткості, рекомендовано обмежити викликану деформацію, щоб уникнути зниження їх опору несної здатності.

Примітка. Залежно від конфігурації геометричних деталей (наприклад, гостроти кутів) пазово-болтового з'єднання і способу передавання напружень в основному корпусі, важливо перевірити, чи не виникає проблема втоми одночасно зі спектром навантажень.

10.9.2 Пазово-болтовий вузол

(1) У пазово-болтовому з'єднанні мінімальна відстань p_2 між тілом болта і торцем пластини має бути більше $1,70d$ (див. рисунок 10.28(b)). Рекомендовано перевірити опір прилеглих частин поперечного перерізу (див. рис. 10.30).

Примітка. Пазово-болтове з'єднання складене з пресованого профілю з пазом, форма якого відповідає формі головки або гайки або болта, що з'єднують профіль з іншими складовими частинами (див. 10.28 (a), тип 1). Пазово-болтовий вузол типу 1 характеризується геометричними параметрами, наведеними на рис. 10.29. Якщо з'єднання складене з декількох болтів, у напрямку можливо вставити пластину з різьбовими творами для болтів (див. 10.28 (b)), тип 2).

(2) дозволено застосовувати наступні типи болтів:

- стандартний болт згідно з EN 1090-3, рис. 10.29b);
- болт з Т-подібною голівкою/Т-болт, рисунок 10.29c).

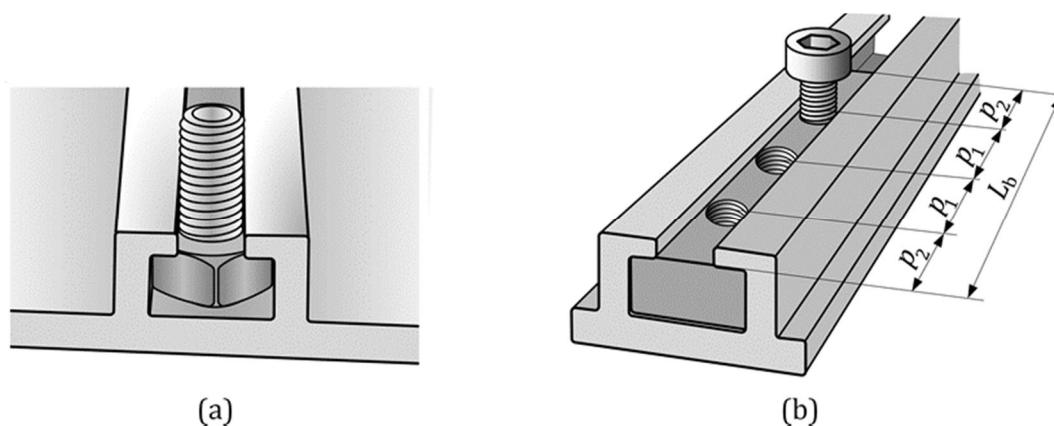


Рисунок 10.28 — Приклади пазово-болтових з'єднань: а) Тип 1 і б) Тип 2

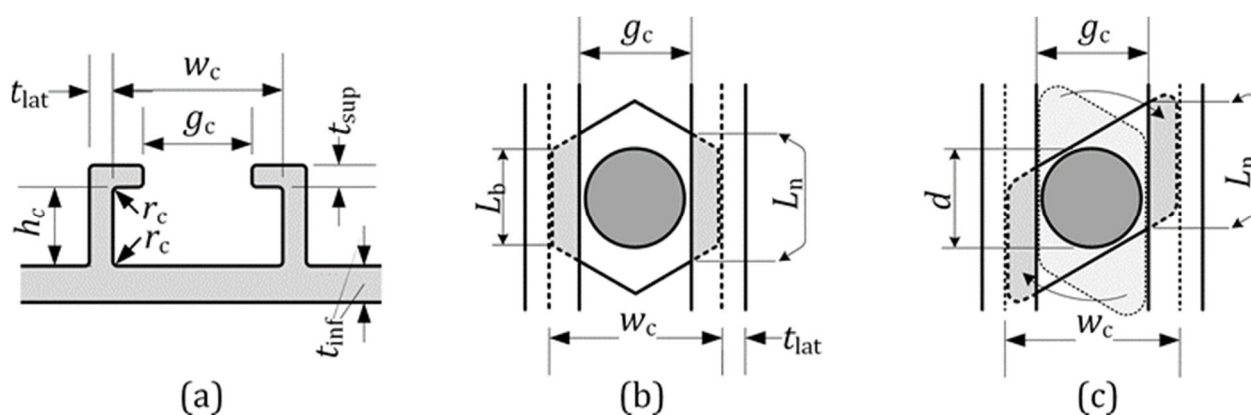


Рисунок 10.29 — Геометричні параметри пазово-болтових вузлів типу 1

Для зусилля розтягу згідно з рисунками 10.31 (а) та (б), опір висмикуванню $F_{o,Rd}$ головки болта або гайки з пазу в симетричному стані, як (а), (б), (д), (г), (и) і (л) на рисунку 10.30, рекомендовано приймати згідно з формулами (10.45) і (10.46):

$$F_{o,Rd} = \frac{2L_n t_{sup} f_u}{\sqrt{3} \gamma_{M2}} \text{ для пазів з } t_{lat} \geq t_{sup} \quad (10.45)$$

$$F_{o,Rd} = \min \left(0,7 \frac{2L_n t_{sup} f_u}{\sqrt{3} \gamma_{M2}}; \frac{2L_n t_{lat} f_u}{\gamma_{M2}} \right) \text{ для пазів з } t_{lat} < t_{sup}, \quad (10.46)$$

де (див. рисунок 10.29):

t_{sup} — товщина верхньої полиці пазу;

t_{lat} — товщина бічних частин пазу;

L_n — довжина зсуву (окружність, що переізає полицю у випадку

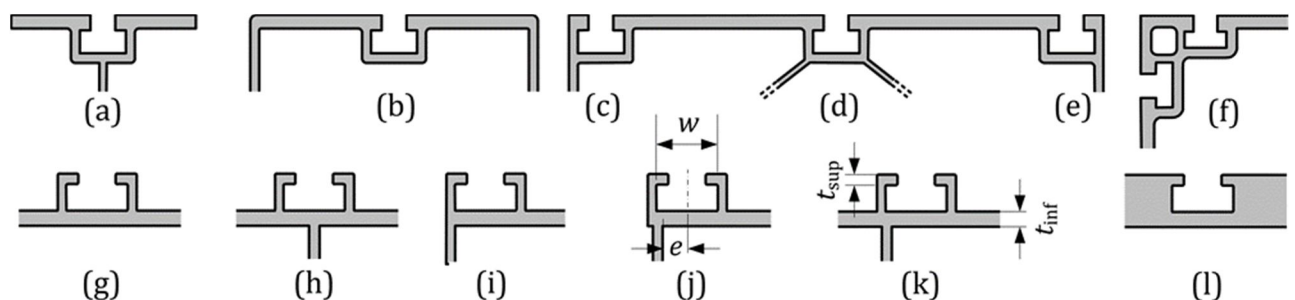
висмикування крізь неї).

— Для шестигранної голівки або гайки згідно з рисунком 10.29 (b) в таблиці 10.7 вказано значення $2L_n$.

— Для вузлів згідно з рисунком 10.29 і інших «гайок» ці значення рекомендовано розраховувати в залежності від геометрії гайки.

Для не підкріплених безпосередньо болтових пазів, наведених на рисунку 10.30 (b), (g) та (l) (або подібних їм), рекомендовано перевірити місцеві деформації опорної зони в умовах, що не враховують вплив затягувального стопорного елемента. Опір висмикуванню $F_{o,Rd}$ рекомендовано обмежити до рівня, на якому пружні деформації пазу не дозволяють розкриття виїмки g_s більше ніж на 5%.

Примітка. Це обмеження пов'язане з тим, що у випадку значних місцевих деформацій опорної зони ширина розкриття виїмки пазу збільшується, і болт/гайка можуть вислизнути.



Умовні позначки:

(a) — (f) та (l) — втоплені болтові пази

(g) — (k) — виступні пази

Рисунок 10.30 — Приклади болтових пазів з різними умовами симетричного і несиметричного розташування.

(4) Для несиметричних умов, таких як (c), (e), (f) та (i) на рисунку 10.30 опір рекомендовано зменшувати за допомогою коефіцієнта $k = 0,5$. У випадку (j) рекомендовано застосовувати коефіцієнт $k = 1 - e/w_c$. Для (k) дозволено застосовувати коефіцієнт $k = 1,0$, якщо $t_{inf}/t_{sup} > 1,2$; в інших випадках, $k = k = 1 - e/w_c$, де e наведено на рисунку 10.30(j).

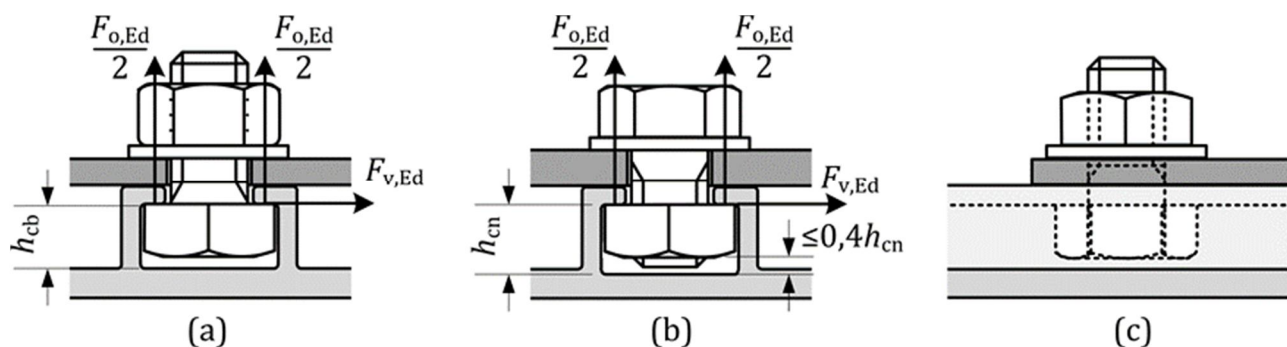


Рисунок 10.31 — Зусилля у вузлах з болтовим пазом

(5) Для зсувного зусилля на рисунку 10.31 (a) та (b), розрахунковий опір $F_{v,Rd}$ у напрямку, перпендикулярному до пазу рекомендовано приймати за формулою (10.47):

$$F_{v,Rd} = k_3 L_b t_{sb} f_u / \gamma_{M2} \quad (10.47)$$

де (див. рисунки 10.28 та 10.29)

L_b позначає довжину периметра головки болта, що контактує з бічною частиною швелера у вузлах типу (b) на рисунку 10.29, тоді як для вузлів типу 2 на рисунку 10.28 $L_b = (n-1)p_1 + 3,4d$, де p_1 — відстань між болтами, d — діаметр болта, і n — кількість болтів у з'єднувальному елементі. Для вузлів типу (c) на рисунку 10.29, $L_b = d$;

$t_{sb} = \min(t_{lat}; t_{inf})$, де t_{lat} — товщина бічної стінки, і t_{inf} — товщина нижньої стінки паза;

$k_3 = 1,10$ для вузлів типу (b) на рисунку 10.29 і типу 1 на рисунку 10.28;

$k_3 = 0,70$ для вузлів типу (c) на рисунку 10.29;

$k_3 = 0,45$ для вузлів типу 2 на рисунку 10.28.

(6) Міцність болта на зріз, а також опір зминанню приєднаних частин рекомендовано перевірити згідно з 10.5.4.

(7) Зазор між головкою або гайкою і дном паза не має перевищувати внутрішньої глибини паза h_{cn} більше ніж у 0,4 рази, див. рис. 10.31(b).

(8) Для прикріпленого матеріалу за необхідності рекомендовано використовувати шайби.

(9) Паралельні пази зусилля, за наявності, мають бути сприйняті іншими конструкційними засобами.

(10) Для комбінованого навантаження зсуву і висмикування дозволено застосовувати формулу (10.48):

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{o,Ed}}{F_{o,Rd}} \leq 1 \quad (10.48)$$

(11) Пазово-болтовий вузол має відповідати геометричним обмеженням, наведеним у таблиці 10.7.

Таблиця 10.7 — Геометричні обмеження для пазово-болтових з'єднань під навантаженням від конструкцій.

Діаметр болтів, d, мм	Внутрішня ширина паза w _c , мм	Внутрішня глибина паза h _{cn} Рисунок 10.31 (a) і (b), мм	Ширина отвору паза g _c , мм	Товщина стінки t _{sup}		Мінімальна зсувна довжина 2L _n , мм	Внутрішній радіус r _c , мм
				Нормальна, мм	Мінімальна, мм		
4 ^a	7,5±0,15	3,75±0,15	4,25±0,15	1,5	1,0	12	0,5
5 ^a	8,5±0,15	5,25±0,15	5,25±0,15	1,5	1,3	13	0,5
6 ^a	10,7±0,20	5,90±0,2	6,25±0,15	2,0	1,5	18	0,5
8	13,7±0,20	7,55±0,25	8,3±0,20	3,0	2,0	23	0,5
10	17,0±0,20	9,50±0,3	10,4±0,30	3,5	2,5	28	1,0
12	18,8±0,25	12,0±0,4	12,4±0,30	4,5	3,0	30	1,0
16	24,8±0,25	16,1±0,5	16,55±0,45	5,5	4,0	40	1,0
20	31,1±0,30	19,6±0,5	20,8±0,7	7,0	5,0	50	1,2

Примітка 1. Розміри і допуски, наведені в таблиці, адаптовані для використання гайок згідно з EN ISO 4032 і EN ISO 4035 (якості A і B), а також болтів згідно з EN ISO 4014 і EN ISO 4017 (якості A і B). Для болтів діаметром 4 мм, 5 мм і 6 мм, якщо всі граничні допуски по гайці, голівці болта і ширині паза збігаються, може статися так, що у випадку використання болтів класу B головка болта не фіксується контактено і може повертатися під час затягування болтового з'єднання.

Примітка 2. Допуски, наведені в таблиці 10.7, часто більш жорсткі, ніж ті, що встановлені в стандартах на вироби EN 754, EN 755 і EN 12020-2, в залежності від

Кінець таблиці 10.7

розміру пресованого виробу(окружності, матеріалу і стану обробки). Тому важливо, щоб проєктувальник зазначаючи допуски з таблиці 10.7, наголосив виробнику на необхідності замовляти, перевіряти і використовувати лише матеріали (пресованих виробів), що відповідають цим вимогам.

^a Лише болти якості А.

10.9.3 Гвинтові пази та різьбові отвори для гвинтів

Конструкційні вузли з алюмінію дозволено виконувати з використанням гвинтових пазів та отворів для гвинтів.

Примітка. Рекомендації щодо опору гвинтових пазів та отворів для гвинтів наведено у додатку О.

10.10 Еквівалентний розтягнутий тавровий елемент

10.10.1 Загальні положення

(1) Еквівалентний тавровий елемент дозволено застосовувати для моделювання опору основних елементів деяких конструкційних систем (наприклад, вузли між колонами та ригелями) з болтовими з'єднаннями (як показано на рисунку 10.32), але не як самостійне з'єднання (наприклад, наведене на рисунку 10.33).

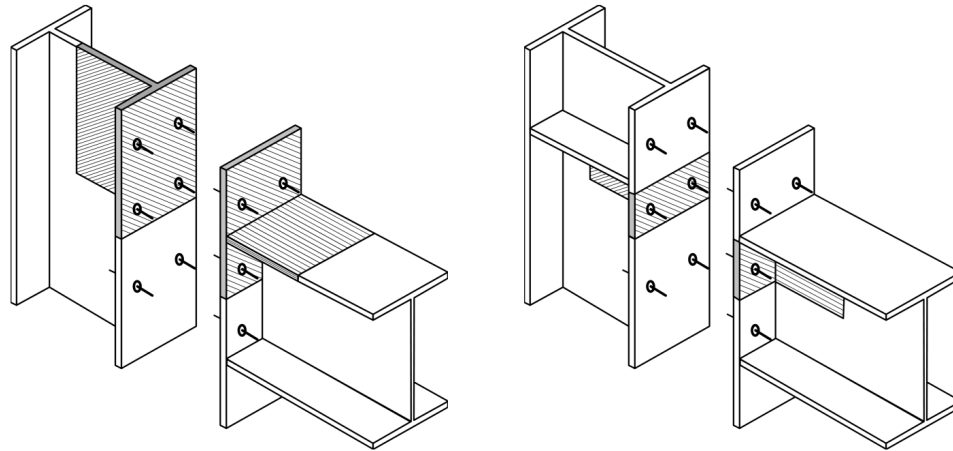
Примітка. Застосування методу компонентів для вузлів наведено в додатку N.

(2) Можливі форми відмови полиці еквівалентного таврового елемента мають бути аналогічними тим, що мали б виникнути в основному елементі.

(3) Повна ефективна довжина Σl_{eff} еквівалентного таврового елемента має бути прийнята такою, щоб показник опору для його полиці був еквівалентний опору заміненого основного елемента вузла.

Примітка. Ефективна довжина еквівалентного таврового елемента є умовною

довжиною і не обов'язково збігається з фізичною довжиною заміненого основного елемента вузла.



а) Непідкріплені вузли з'єднання колони та ригеля

б) Підкріплені вузли з'єднання колони та ригеля

Рисунок 10.32 — Еквівалентний тавровий елемент як основний елемент інших конструкційних систем

10.10.2 Зусилля відриву у стандартному окремому з'єднанні з тавровим елементом

(1) Якщо кріпильні елементи мають витримувати прикладене зусилля розтягу, їх рекомендовано розраховувати також на опір додатковому зусиллю відриву, у місцях, де це може трапитися, див. рис. 10.33.

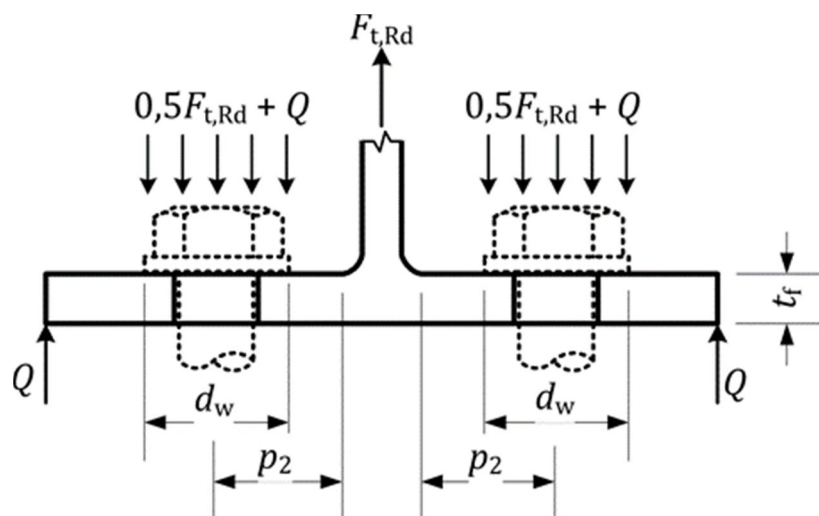
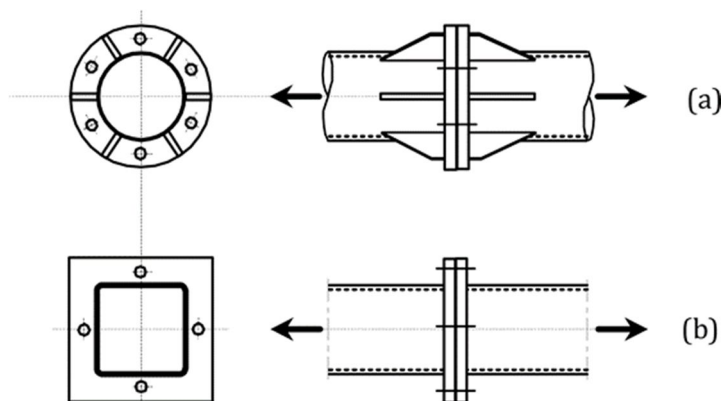


Рисунок 10.33 — Обчислення зусиль відриву

Примітка. Зусилля відриву залежить від відносної жорсткості і геометричних

пропорцій частин з'єднання, див. рис. 10.34.



Умовні позначки:

(а) товсті і/або підкріплені торцеві пластини, незначне зусилля відриву

(b) тоненька торцева пластинка, велике зусилля відриву

Рисунок 10.34 — Вплив деталей на зусилля відриву

(2) Якщо під час проєктування торцевих пластин використовують ефект зусилля відриву, то зусилля відриву рекомендовано враховувати у розрахунку.

(3) Зусилля відриву можуть виникнути за умови $L_b \leq L_{b,p}$, де

L_b — довжина подовження болта, прийнята рівною сумі зажимної довжини (загальна товщина матеріалу і шайб) та половини суми висоти головки болта і висоти гайки, або довжина подовження анкерного болта, прийнята рівною сумі восьмикратного номінального діаметра болта, шару розчину, товщини пластини, шайби та половини висоти гайки.

$L_{b,p}$ рекомендовано обчислювати за формулою (10.49):

$$L_{b,p} = \frac{26,4p_2^3 A_s n_b}{\sum l_{\text{eff},1} t_f^3}, \quad (10.49)$$

де

p_2 та t_f — наведено на рисунку 10.33;

A_s — площа болта для розрахунку на розтяг;

n_b — кількість рядів болтів;

$\sum l_{\text{eff},1}$ — ефективна довжина для форми 1.

Примітка. Див. 10.10.3.

10.10.3 Загальні правила визначення опору

10.10.3.1 Загальні положення

(1) У випадку можливості виникнення зусиль відриву Q (як зазвичай буває у болтових вузлах ригеля з колоною або у випадку зрощування балок), див. 10.10.2, опір розтягу полиці еквівалентного тавра $F_{u,Rd}$ рекомендовано приймати як найменше значення для чотирьох можливих форм відмови (див. Рисунок 10.35) і визначають за формулами (10.50) — (10.59) у наступний спосіб:

— Форма 1: Руйнування полиці за рахунок розвитку чотирьох пластичних шарнірів зі зміцненням, два з яких знаходяться у місці з'єднання стінки та полиці (w) а ще два — у місцях розташування болтів (b):

$$F_{u,1,Rd} = \frac{2(M_{u,1})_w + 2(M_{u,1})_b}{g} \quad (10.50)$$

$(M_{u,1})_w$ та $(M_{u,1})_b$ рекомендовано обчислювати за формулою (10.54) та формулою (10.55) з $\rho_{u,haz} < 1$, якщо пластичні шарніри розташовані у зоні термічного впливу, за інших обставин $\rho_{u,haz} = 1$. Крім того, за необхідності рекомендовано враховувати площу нетто. g показано на рисунку 10.36.

— Форма 2a: Руйнування полиці через розвиток двох пластичних шарнірів зі зміцненням, із зусиллями у болтах на рівні границі пластичності:

$$F_{u,2a,Rd} = \frac{2M_{u,2} + e_e \sum B_o}{g + e_e} \quad (10.51)$$

$M_{u,2}$ рекомендовано обчислювати за формулою (10.55) з $\rho_{u,haz} < 1$,

якщо пластичні шарніри розташовані у зоні термічного впливу, за інших обставин $\rho_{u,haz} = 1$. Крім того, за необхідності рекомендовано враховувати площу нетто.

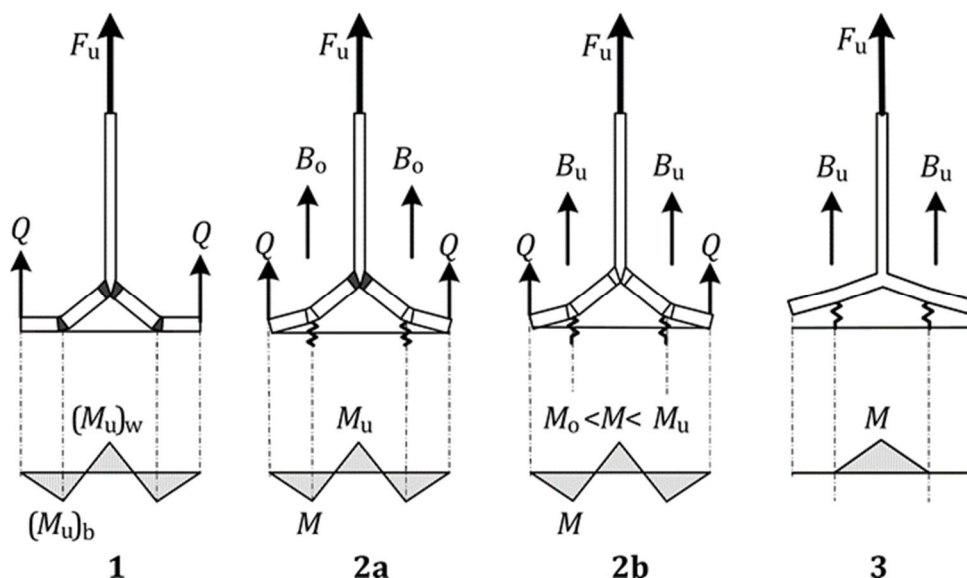


Рисунок 10.35 — Види відмови еквівалентного таврового елемента

— Форма 2b: Руйнування болта і перехід полиці у пластичний стан:

$$F_{u,2b,Rd} = \frac{2M_{o,2} + e_e \sum B_u}{g + e_e} \quad (10.52)$$

$M_{o,2}$ рекомендовано обчислювати за формулою (10.56) з $\rho_{o,haz} < 1$, якщо пластичні шарніри розташовані у зоні термічного впливу, за інших обставин $\rho_{o,haz} = 1$. Крім того, за необхідності рекомендовано враховувати площу нетто.

— Форма 3: руйнування болта:

$$F_{u,3,Rd} = \sum B_u \quad (10.53)$$

3

$$M_{u,1} = 0,25 \cdot t_f^2 \cdot \Sigma(l_{eff,1} \rho_{u,haz} f_u) \cdot \frac{1}{k} \cdot \frac{1}{\gamma_{M2}}$$

(за відсутності зварних швів у перерізі, приймають $\rho_{u,haz} = 1$) (10.54)

$$M_{u,2} = 0,25 \cdot t_f^2 \cdot \Sigma(l_{eff,2} \rho_{u,haz} f_u) \cdot \frac{1}{k} \cdot \frac{1}{\gamma_{M2}}$$

(за відсутності зварних швів у перерізі, приймають $\rho_{u,haz} = 1$) (10.55)

За відсутності зварних швів у перерізі, у формулах (10.54) та (10.55) рекомендовано замінити γ_{M2} на γ_{M1} .

$$M_{o,2} = 0,25 \cdot t_f^2 \cdot \Sigma(l_{\text{eff},2} \rho_{o,\text{haz}} f_o) \cdot \frac{1}{\gamma_{M1}}$$

(за відсутності зварних швів у перерізі $\rho_{o,\text{haz}} = 1$) (10.56)

$e_\varepsilon = e_{\min}$, але $e_\varepsilon \leq 1,25g$ (див. рисунок 10.36)

$$\frac{1}{k} = \frac{f_o}{f_u} \left(1 + \psi \frac{f_u - f_o}{f_o} \right) \quad (10.57)$$

$$\psi = \frac{\varepsilon_{\text{uni}} - 1,5 \cdot \varepsilon_o}{1,5 \cdot (\varepsilon_{\text{uni}} - \varepsilon_o)} \quad (10.58)$$

$$\varepsilon_o = \frac{f_o}{E},$$

де

ε_{uni} — характеристичне значення рівномірного видовження матеріалу полиці. За відсутності більш точних даних для ε_{uni} , це значення можливо обчислити згідно з F.3.1.2(3);

B_u — мінімальне з двох значень для збірки болт - пластина: розрахункового опору розтягу $F_{t,Rd}$ та розрахункового опору зсуву під час продавлювання $B_{p,Rd}$, наведених у 10.5.4;

B_o — мінімальне з двох значень для збірки болт – пластина: міцності болта згідно з формулою (10.59), що відповідає границі пружності, та розрахункового опору зсуву під час продавлювання $B_{p,Rd}$, наведених у 10.5.4.

$$B_o = \min \left\{ \begin{array}{l} B_{p,Rd} \\ 0,9 f_y A_s / \gamma_{M1} \text{ для сталевих болтів} \\ 0,9 f_o A_s / \gamma_{M1} \text{ для алюмінієвих болтів} \end{array} \right\}, \quad (10.59)$$

де

A_s — площа болта у напруженому стані;

ΣB_u — повне значення B_u для всіх болтів у еквівалентному тавровому

елементі;

ΣB_0 — повне значення B_0 для всіх болтів у еквівалентному тавровому елементі;

$l_{\text{eff},1}$ — значення l_{eff} для форми 1, що дорівнює мінімальному зі значень ефективної довжини $l_{\text{eff,cp}}$ для круглих форм та ефективної довжини $l_{\text{eff,nc}}$ для некруглих форм;

$l_{\text{eff},2}$ — значення l_{eff} для форми 2, що дорівнює ефективній довжині $l_{\text{eff,nc}}$ для некруглих форм;

e_{min} та g — такі, як наведено на рисунку 10.36.

Примітка. За відсутності більш точних даних для ε_{uni} , це значення можливо обчислити згідно з F.3.1.2(3);

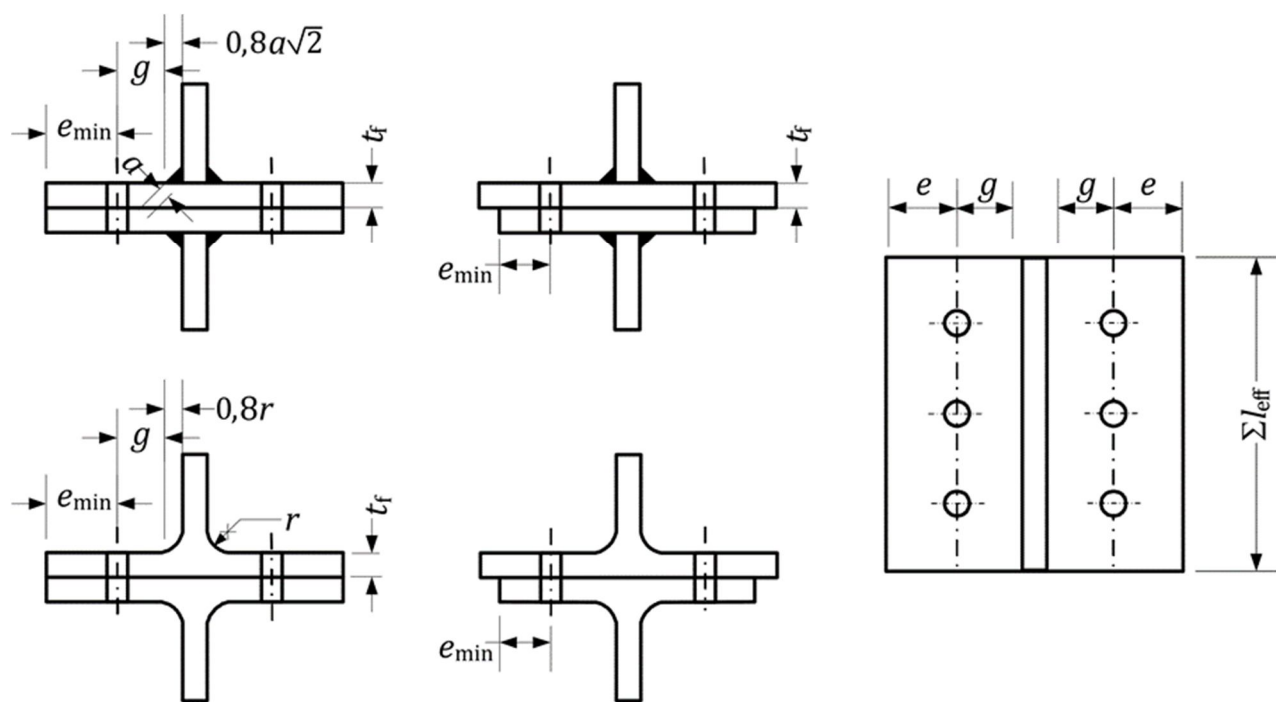


Рисунок 10.36 — Розміри еквівалентного таврового елемента

(2) У випадку, коли сили відриву розвинулися не можуть (форма відмови 3), опір розтягу полиці еквівалентного тавра $F_{u,Rd}$ рекомендовано вибирати як найменше значення із обчислених за формулами (10.60) та (10.61) наступним чином:

— Форма 1: руйнування полиці:

$$F_{u,Rd} = \frac{2(M_{u,1})_w}{g} \quad (10.60)$$

— Форма 3: руйнування болта:

$$F_{u,Rd} = \sum B_u, \quad (10.61)$$

де

$M_{u,1,g}$ і $\sum B_u$ встановлено у (1).

(3) Ефективна довжина l_{eff} як для круглих форм ($l_{eff,cp}$) так і для некруглих ($l_{eff,nc}$), обумовлена геометрією еквівалентного тавра.

(4) Методи визначення розрахункової довжини l_{eff} мають ґрунтуватися на аналізі розвитку області текучості. Формули для визначення еквівалентної довжини l_{eff} для «зігнутої полиці колони» та «зігнутої торцевої пластини» наведено у таблицях 10.8 та 10.9 відповідно, з урахуванням рядів болтів, розглянутих окремо або в групах. Такий підхід може також бути використаний для багатьох інших типових випадків, таких як окремі Т-подібні з'єднання

10.10.3.2 Ефективна довжина полиці колони під дією згину

(1) Ефективну довжину полиці колони під дією згину рекомендовано визначати за таблицею 10.8.

Таблиця 10.8 — Ефективна довжина полиць колони^{a, b, c, d}

	Розташування ряду болтів	Розташування ряду болтів у групі	$l_{eff,cp}$ (круглі форми)	$l_{eff,nc}$ (некруглі форми)
Ряд болтів, що розглядають окремо	Внутрішній ряд болтів	Не суттєвий	$2\pi g$	$4g + 1,25e$
	Внутрішній ряд болтів, розташований поряд з елементом жорсткості	Не суттєвий	$2\pi g$	αg
	Торцевий ряд болтів	Не суттєвий	Менше з: $2\pi g$ $\pi g + 2e_1$	Менше з: $4g + 1,25e$ $2g + 0,625e + e_1$
	Крайній ряд болтів, розташований поряд з елементом жорсткості	Не суттєвий	Менше з: $2\pi g$ $\pi g + 2e_1$	Менше з: αg $\alpha g - (2g + 0,625e) + e_1$

Кінець таблиці 10.8

Ряд болтів, розглянутий як частина групи рядів болтів	Внутрішній ряд болтів	Перший/останній ряд болтів	$\pi g + p$	$2g + 0,625e + 0,5p$
		Внутрішній ряд болтів	$2p$	p
	Внутрішній ряд болтів, розташований поряд з елементом жорсткості	Перший/останній ряд болтів	$\pi g + p$	$0,5p + \alpha g - (2g + 0,625e)$
	Торцевий ряд болтів	Перший/останній ряд болтів	Менше з: $\pi g + p$ $2e_1 + p$	Менше з: $2g + 0,625e + 0,5p$ $2e_1 + 0,5p$

^a Розташування ряду болтів для підкріпленої та непідкріпленої полиці колони, та розташування ряду болтів в межах групи болтів наведено на рисунку 10.37.

^b e_1 — відстань від центру отворів у крайньому ряді до суміжного вільного кінця полиці колони, виміряне в напрямку осі профілю колони (див. рядок 1 і рядок 2 на рис. 10.37 (a) і рис. 10.37(b)).

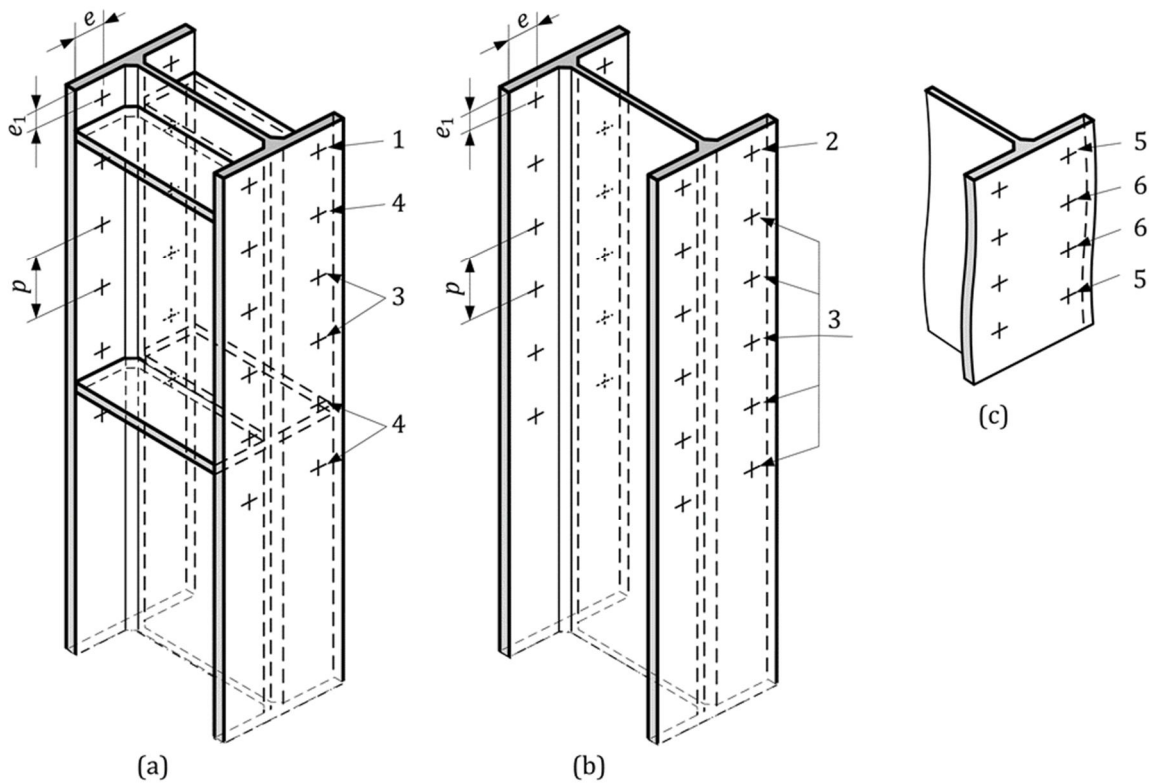
^c Розмір g такий як наведено на рисунку 10.36. Розміри e , e_1 та p , позначено на рисунку 10.37.

^d Для конструкційного рішення з підкріпленням див. 10.10.3.2(2).

(2) Для конструкційного рішення з підкріпленням, значення α для застосування у таблиці 10.8 рекомендовано обчислювати за формулою (10.62).

$$\alpha = 4 + 1,67 \frac{e}{g_1} \left(\frac{g_1}{g_2} \right)^{0,67}, \text{ але } \alpha \geq 4 + 1,25 \frac{e}{g_1} \text{ і } \alpha \leq 8 \quad (10.62)$$

Розміри g_1 , e and g_2 для застосування у формулі (10.62) рекомендовано визначати за рисунком 10.38.



Умовні позначки:

- 1 — Крайній ряд болтів, розташований поряд з елементом жорсткості
- 2 — торцевий ряд болтів
- 3 — внутрішній ряд болтів
- 4 — Внутрішній ряд болтів, розташований поряд з поперечним елементом жорсткості
- 5 — перший/останній ряд болтів
- 6 — внутрішній ряд болтів

Рисунок 10.37 — Розташування ряду болтів для підкріпленої(а) і непідкріпленої (б) полиці колони, а також розташування ряду болтів в групі болтів.

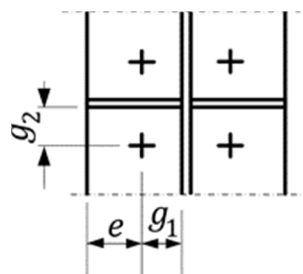


Рисунок 10.38 — Визначення g_1 , g_2 та e для ряду болтів, прилеглих до кріпильного елемента.

(1) Ефективну довжину полиці колони під дією згину рекомендовано

визначати за таблицею 10.9.

(2) Розміри b_p , w , g , g_x , e_x , e та g_2 рекомендовано визначати згідно з рисунком 10.39.

(3) У визначенні значення α за допомогою формули (10.62), g_2 рекомендовано замінити на g_x .

Таблиця 10.9 — Ефективна довжина торцевої пластини під дією згину

	Розташування ряду болтів	Розташування ряду болтів у групі	$l_{\text{eff,cp}}$ (круглі форми)	$l_{\text{eff,nc}}$ (некруглі форми)
Ряд болтів, що розглядають окремо	Ряд болтів зовнішньої зони розтягнутої полиці балки, непідкріпленої	Не суттєвий	Менше з: $2\pi g$ $\pi g_x + w$ $\pi g_x + 2e$	Менше з: $4g_x + 1,25e_x$ $e + 2g_x + 0,625e_x$ $0,5b_p$ $0,5w + 2g_x + 0,625e_x$
	Ряд болтів зовнішньої зони розтягнутої полиці балки, підкріпленої	Не суттєвий	Менше з: $2\pi g$ $\pi g + 2e_x$	Менше з: $\alpha g - (2g + 0,625e) + e_x$ αg
	Перший ряд болтів внутрішньої зони розтягнутої полиці балки	Не суттєвий	$2\pi g$	αg
	Інший ряд болтів	Не суттєвий	$2\pi g$	$4g + 1,25e$
Ряд болтів, розглянутий як частина групи рядів болтів	Перший ряд болтів внутрішньої зони розтягнутої полиці балки	Перший/останній ряд болтів	$\pi g + p$	$\alpha g - (2g + 0,625e) + 0,5p$
	Інший ряд болтів	Перший/останній ряд болтів	$\pi g + p$	$0,5p + 2g_x + 0,625e_x$
		Внутрішній ряд болтів	$2p$	$2p$

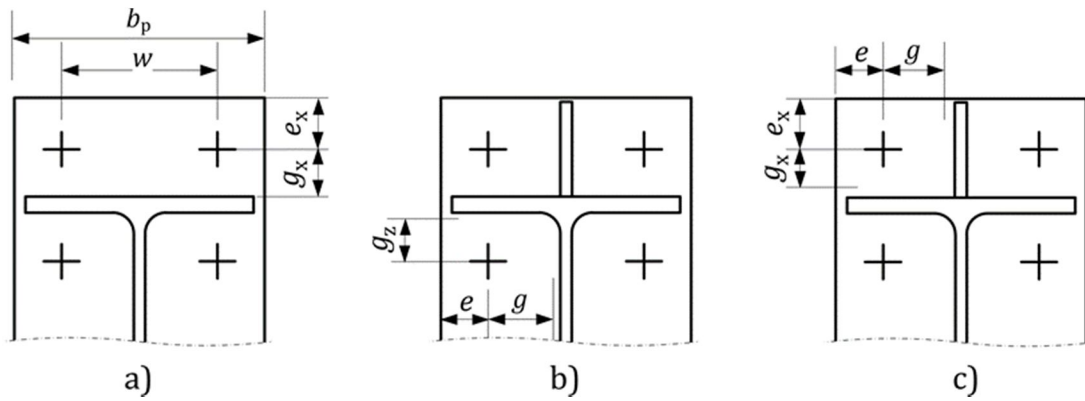


Рисунок 10.39 — Визначення b_p , w , g , g_x , e_x , e та g_z , для підкріплених (a) та непідкріплених (b-c) торцевих пластин

10.10.3.4 Окремий ряд болтів, групи болтів і групи рядів болтів

(1) Хоча у полиці реального таврового елемента зусилля на кожному ряді болтів загалом є однаковими, але для полиці еквівалентного таврового елемента, застосованого для моделювання складової частини вузла, рекомендовано робити допущення про те, що зусилля у різних рядах болтів є різними.

(2) У разі моделювання основної складової частини вузла за допомогою полиць еквівалентних таврів, за необхідності дозволено використовувати декілька таких елементів. У такому випадку ряди болтів потрібно розділяти на окремі групи болтів, що відповідають різним полицям еквівалентних таврів (рисунок В.1).

(3) Мають бути виконані наступні умови:

а) зусилля у кожному ряді болтів не має перевищувати значення опору, отриманого з розгляду лише цього окремого ряду;

б) повне зусилля на кожен ряд болтів, складену з двох або більшої кількості сусідніх рядів болтів у одній групі, не має перевищувати значення опору цієї групи рядів болтів.

(4) Відповідно, обчислюючи величини опору розтягу для основної складової частини, представлені полицею еквівалентного тавра, рекомендовано визначати наступні параметри:

а) опір окремого ряду болтів, отриманий з розгляду лише цього ряду,

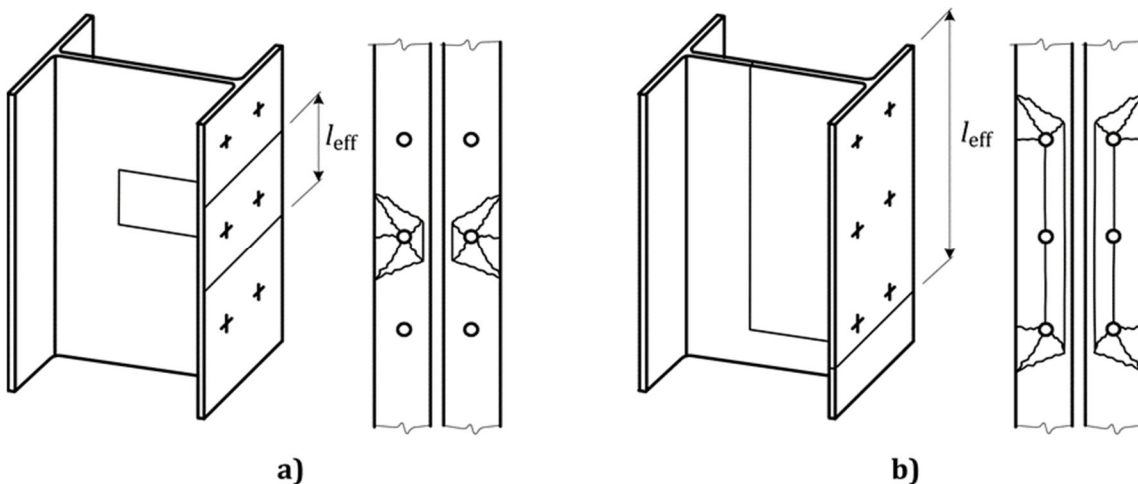
див. рисунок 10.40(a),

б) внесок кожного ряду болтів у опір двох або більше сусідніх рядів болтів у складі групи болтів, отриманий з розгляду лише цих рядів болтів, див. рисунок 10.40(b).

У випадку окремого ряду болтів величину $\sum l_{\text{eff}}$ рекомендовано приймати такою, що дорівнює ефективній довжині l_{eff} , наведеній у таблицях 10.8 та 10.9 для цього ряду болтів, як для окремого.

У випадку групи рядів болтів величина $\sum l_{\text{eff}}$ має дорівнювати ефективній довжині l_{eff} , наведеній у таблицях

10.8 та 10.9 для кожного відповідного ряду болтів, як для частини групи.



Умовні позначки:

а) Окремий ряд болтів

б) Група рядів болтів

Рисунок 10.40 — Еквівалентний тавровий елемент для окремих рядів болтів і груп рядів болтів

10.10.4 Геометричні обмеження

Ефективну довжину, наведену у таблиці 10.8 рекомендовано враховувати лише за якщо відстань між болтами π менша за граничне значення p_{lim} , наведене у формулі (10.63) та (10.64) як:

$$p_{\text{lim}} = 235 - 15t_f \text{ для } t_f \leq 13 \text{ мм} \quad (10.63)$$

$$p_{\text{lim}} = 40 \text{ мм для } t_f > 13 \text{ мм} \quad (10.64)$$

де

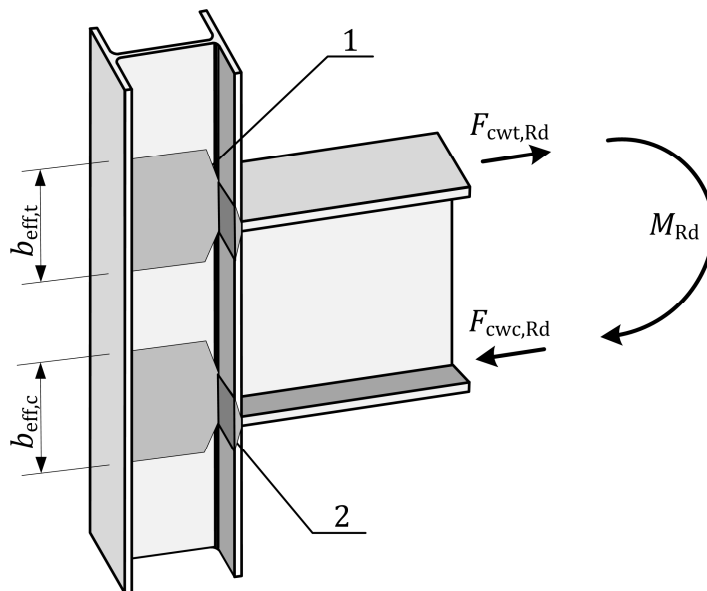
t_f — товщина полиці у міліметрах.

10.11 Стінка колони під дією поперечного розтягу і поперечного стиску

10.11.1 Загальні положення

Стінку колони під дією поперечного розтягу і поперечного стиску (див. рисунок 10.41) рекомендовано перевіряти згідно з 10.11.2 та 10.11.3.

Примітка. У вузлі ригеля з колоною несної рами стінка колони під дією як поперечного розтягу, так і поперечного стиску через передані через полицю колони зусилля, обумовлені згинальним моментом у балці (рис. 10.41). Розрахунковий опір складових частин вузла (див. додаток N) залежить від типу вузла з'єднання ригеля з колоною (зварне, болтове тощо), можливої наявності елементів жорсткості, а також характеристик матеріалу.



Умовні позначки:

1 — Стінка колони під дією розтягу

2 — Стінка колони під дією стиску

Рисунок 10.41 — Стінка колони під дією поперечного розтягу/стиску

10.11.2 Стінка колони під дією поперечного розтягу

(1) У зварній непідкріпленій стінці колони, підданій поперечному розтягу, розрахунковий опір $F_{u,cw,t,w}$ рекомендовано визначати за формулами (10.65) — (10.72):

$$F_{u,cw,t,w} = k_{cw} \left(F_{u,cw} \frac{b_{eff,cw} - b_{eff,cw,haz}}{b_{eff,cw}} + F_{u,cw,haz} \frac{b_{eff,cw,haz}}{b_{eff,cw}} \right) \quad (10.65)$$

де

$F_{u,cw}$ — граничний опір стінки колони поперечному розтягу для з'єднання, на яке не впливає зона термічного впливу, за формулою (10.66):

$$F_{u,cw} = \frac{\omega f_u t_{w,c} b_{eff,cw}}{\gamma_{M2}} \quad (10.66)$$

де

f_u — характеристичне значення граничної міцності на розтяг;

$t_{w,c}$ — товщина стінки колони;

$b_{eff,cw}$ — ефективна ширина за формулою (10.67) для стінки колони, на яку не впливає зона термічного впливу:

$$b_{eff,cw} = t_{f,b} + 2\sqrt{2}a_b + 2\zeta(t_{f,c} + r_c) \quad (10.67)$$

де

$t_{f,b}$ — товщина полиць балки;

a_b — найменша товщина зварного шва для з'єднання полиці балки з полицею колони;

r_c — радіус заокруглення колони, за наявності, в іншому випадку $r_c = 0$;

$t_{f,c}$ — товщина полиці колони;

ζ — коефіцієнт розподілу, що враховує характеристики матеріалу в залежності від параметра зміцнення n_p (див. 5.2.2) і граничної деформації ε_u матеріалу стінки колони згідно з формулою (10.68):

$$\zeta(\varepsilon_u n_p) = \xi(\varepsilon_u) \eta(\eta_p), \quad (10.68)$$

де

$$\xi(\varepsilon_u) = 0,21 \ln(\varepsilon_u - 1,6) + 2,2 \quad (10.69)$$

$$\eta(\eta_p) = \min \left[1,0; \frac{0,31 \ln(n_p^{2/3} - 2) + 2,23}{2,86} \right] \quad (10.70)$$

ω — понижувальний коефіцієнт для зсувної взаємодії у панелі стінки колони, який можливо обчислити згідно з таблицею 10.10.

Таблиця 10.10 — Понижувальний коефіцієнт ω для зсувної взаємодії

Параметр перетворення β	Понижувальний коефіцієнт ω ^а
$0 \leq \beta \leq 0,5$	$\omega = 1$
$0,5 \leq \beta \leq 1$	$\omega = \omega_1 + 2(1 - \beta)(1 - \omega_1)$
$\beta = 1$	$\omega = \omega_1$
$1 \leq \beta \leq 2$	$\omega = \omega_1 + 2(\beta - 1)(\omega_1 - 1)$
$\beta \leq 2$	$\omega = \omega_2$
^а ω_1 та ω_2 задано формулами (10.71) та (10.72)	

де

$$\omega_1 = \frac{1}{\sqrt{1 + 1,3 \cdot \left(\frac{b_{\text{eff,cw}} \cdot t_{\text{wc}}}{A_v} \right)^2}} \quad (10.71)$$

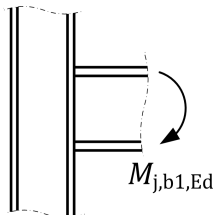
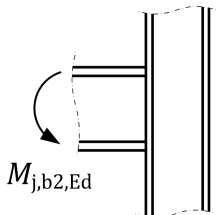
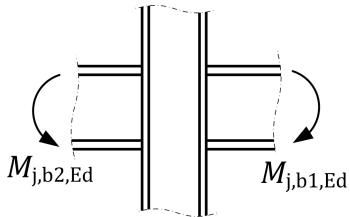
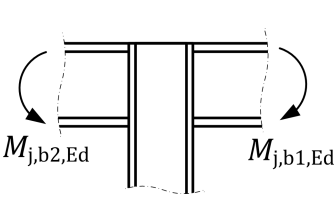
$$\omega_2 = \frac{1}{\sqrt{1 + 5,2 \cdot \left(\frac{b_{\text{eff,cw}} \cdot t_{\text{wc}}}{A_v} \right)^2}}, \quad (10.72)$$

де

A_v — площа зсуву поперечного перерізу колони, див. 8.2.6

β — параметр перетворення, який дозволено визначати за таблицею 10.11 на основі значень моментів балки $M_{b1,Ed}$ та $M_{b2,Ed}$ в околицях панелі стінки балки, див. рисунок 10.42.

Таблиця 10.11 — Приблизні значення параметру перетворення β

Конфігурація вузла		Дія	Значення β
		$M_{j,b1,Ed} \ (M_{j,b2,Ed} = 0)$ або $M_{j,b2,Ed} \ (M_{j,b1,Ed} = 0)$	$\beta = 1^a$
		$M_{j,b1,Ed} = M_{j,b2,Ed}$	$\beta = 0^a$
		$M_{j,b1,Ed} / M_{j,b2,Ed} > 0$	$\beta \approx 1$
		$M_{j,b1,Ed} / M_{j,b2,Ed} < 0$	$\beta \approx 2$
		$M_{j,b1,Ed} + M_{j,b2,Ed} = 0$	$\beta \approx 2^a$

а У такому випадку значення β є точним, а не приблизним.

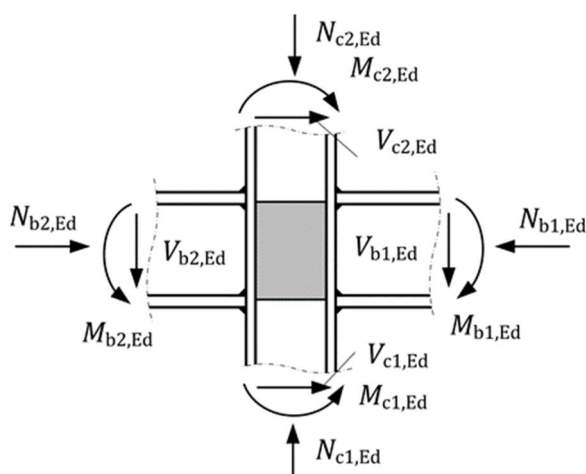


Рисунок 10.42 — Силі та моменти, що діють на вузол в околицях панелі стінки балки

Альтернативно, більш точні значення β , обумовлені значеннями моментів балки $M_{j,b1,Ed}$ та $M_{j,b2,Ed}$ на перетині осьових ліній елемента, дозволено визначати зі спрощеної моделі, показаної на малюнку 10.43, як зазначено формулами 10.43 за формулами (10.73) та (10.74):

$$\beta = 1 - \frac{M_{j,b1,Ed}}{M_{j,b2,Ed}} \text{ для } |M_{j,b1,Ed}| \leq |M_{j,b2,Ed}| \quad (10.73)$$

$$\beta = 1 - \frac{M_{j,b2,Ed}}{M_{j,b1,Ed}} \text{ для } |M_{j,b1,Ed}| > |M_{j,b2,Ed}| \quad (10.74)$$

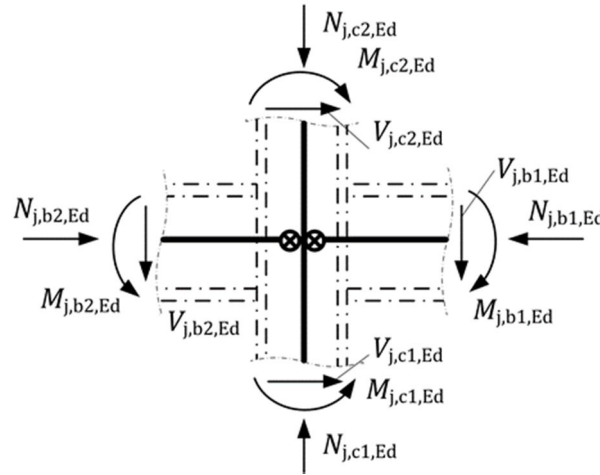


Рисунок 10.43 — Силі та моменти, що діють на вузол у точці перетину осьових ліній елемента

(2) Граничний опір $F_{u,cw,haz}$ стінки колони під дією поперечного розтягу для з'єднання, повністю виготовленого із термічно обробленого матеріалу, рекомендовано визначати за формулами (10.75) — (10.77):

$$F_{u,cw,haz} = \frac{\omega f_u t_{w,c} b_{eff,cw,haz}}{\gamma_{M2}}, \quad (10.75)$$

де

$b_{eff,cw,haz}$ — ефективна ширина, визначена за формулою (10.67), але в такому випадку параметр матеріалу оцінюють виходячи з механічних характеристик матеріалу, що зазнав термічного впливу;

k_{cw} — коефіцієнт для врахування осьового напруження у колонні в місці з'єднання стінки та полиці σ_{Ed} (приймають від'ємним для стиску та додатнім для розтягу), який розраховують згідно з формулами (10.76) і (10.77):

$$k_{cw} = -0,5 \left(\frac{\sigma_{Ed}}{f_o} \right)^2 + 0,25 \left(\frac{\sigma_{Ed}}{f_o} \right) + 1 \text{ для } -1 \leq \frac{\sigma_{Ed}}{f_o} < 0 \quad (10.76)$$

$$k_{cw} = \min \left(1; 1,23 - 0,46 \frac{\sigma_{Ed}}{f_o} \right) \text{ для } 0 \leq \frac{\sigma_{Ed}}{f_o} < 1 \quad (10.77)$$

(3) Для болтового торцевого з'єднання, міцність складової частини обчислюють за формулами (10.78) та (10.79):

$$F_{u,cw,t,b} = \frac{\omega k_{cw} f_u t_{w,c} b_{eff,cw,t,b}}{\gamma_{M2}}, \quad (10.78)$$

де

$b_{eff,cw,t,b}$ — ефективна ширина стінки колони під дією розтягу для болтового з'єднання балки з колоною згідно формули (10.79), але не більша за ефективну довжину еквівалентного тавра, що представляє полицю колони, згідно з рисунком 10.39 а:

$$b_{eff,cw,t,b} = 2 \zeta (t_{f,c} + r_c) + 2d \quad (10.79)$$

де

d — діаметр болта

Для оцінювання ω у формулі (10.78), потрібно застосувати формули (10.71) та (10.72), але з урахуванням ефективної довжини $b_{eff,cw}$, що дорівнює ефективній довжині $b_{eff,cw,t,b}$ наведених у (10.79).

10.11.3 Стінка колони під дією поперечного стиску

(1) Для зварної непідкріпленої стінки колони, підданої поперечному стиску, розрахунковий опір потрібно визначати за формулами (10.80), (10.81) і (10.82):

$$F_{u,cw,c,w} = \rho_c k_{cw} \left(F_{u,cw,c} \frac{b_{eff,cw} - b_{eff,cw,haz}}{b_{eff,cw}} + F_{u,cw,c,haz} \frac{b_{eff,cw,haz}}{b_{eff,cw}} \right), \quad (10.80)$$

де

$F_{u,cw,c}$ — граничний опір короткої стінки колони (не схильної до вигину), за відсутності впливу зони термічного впливу; дозволено

обчислювати за формулою (10.66);

$b_{\text{eff,cw}}$ — ефективна ширина стінки колони, на яку не впливає зона термічного впливу, розрахована за формулою (10.67);

$F_{\text{u,cw,c,haz}}$ — граничний опір короткої стінки колони (не схильної до згину), для з'єднання, повністю виконаного з матеріалу, що зазнав термічного впливу; за формулою (10.75);

Примітка. Для перерізів класів 3 і 4 f_o можливо консервативно застосувати у розрахунку $F_{\text{u,cw,c,haz}}$ і $F_{\text{u,cw,c,b}}$.

$b_{\text{eff,cw,haz}}$ — ефективна ширина стінки колони, виготовленої з матеріалу, що зазнав термічного впливу, з формули (10.75), де параметр матеріалу ζ оцінюють виходячи з механічних характеристик матеріалу, що зазнав термічного впливу;

k_{cw} — коефіцієнт для врахування осьового напруження у колонні в місці з'єднання стінки та полиці σ_{Ed} (приймають від'ємним для стиску та додатнім для розтягу), який розраховують згідно з формулами (10.81) і (10.82):

$$k_{\text{cw}} = \min \left(1; 1,23 - 0,46 \frac{|\sigma_{\text{Ed}}|}{f_o} \right) \text{ для } -1 \leq \sigma_{\text{Ed}}/f_o < 0 \quad (10.81)$$

$$k_{\text{cw}} = -0,5 \left(\frac{\sigma_{\text{Ed}}}{f_o} \right)^2 - 0,25 \left(\frac{\sigma_{\text{Ed}}}{f_o} \right) + 1 \text{ for } 0 \leq \sigma_{\text{Ed}}/f_o < 1, \quad (10.82)$$

де

ρ_c — показник гнучкості, має бути встановлено згідно з критеріями, наведеними у розділі 8.1.5, де для обчислення показника гнучкості β/ε , рекомендовано використати посилання на ефективну ширину $b_{\text{eff,cw}}$.

(2) У непідкріпленій стінці колони під дією поперечного стиску болтового з'єднання торцевої пластини, розрахункове значення $F_{\text{u,cw,c,b}}$ складової частини рекомендовано визначати за формулою (10.83):

$$F_{u,cw,c,b} = \rho_c \bar{\omega} k_{cw} f_u t_{w,c} b_{eff,cw,c,b} / \gamma_{M2}, \quad (10.83)$$

де

$b_{eff,t,cw,c,b}$ — ефективна ширина стінки колони під дією стиску у болтовому з'єднанні балки з колоною, за формулою (10.84);

$$b_{eff,cw,c,b} = t_{f,b} + 2\sqrt{2}a_b + 2\zeta(t_{f,c}/r_c) + s_p \quad (10.84)$$

де

$t_{f,b}$ — товщина полиць балки;

a_b — найменша товщина зварного шва з'єднання полиці балки з торцевою пластиною;

r_c — радіус заокруглення колони, за наявності, в іншому випадку $r_c = 0$;

$t_{f,c}$ — товщина полиці колони;

ζ — коефіцієнт розподілу, що враховує характеристики матеріалу, визначений за формулою (10.68);

s_p — довжина розподілу по товщині торцевої пластини t_p , яку дозволено прийняти рівною t_p для з'єднань торцевої пластини врівень, і рівною $2t_p$ для з'єднань подовженої торцевої пластини, відповідно.

Для оцінювання ω у формулі (10.83), рекомендовано застосувати формули (10.71) та (10.72), але з урахуванням ефективної ширини $b_{eff,cw}$, що дорівнює ефективній ширині $b_{eff,cw,c,b}$ наведених у формулі (10.84).

10.12 Клейові вузли

Конструкційні вузли з алюмінієвих елементів дозволено виконувати склеюванням. Конструкційну стійкість обраного клейового з'єднання має бути документально підтверджено.

Примітка. Рекомендації щодо клейових вузлів наведено в додатку Р.

10.13 Інші способи з'єднань

(1) Під час проєктування глухих заклепок, самонарізувальних та самосвердлувальних гвинтів, необхідно дотримуватися правил, наведених у EN 1999-1-4.

(2) Шпильки дозволено приварювати дуговим зварюванням з розплавленням кінчика.

Примітка. Рекомендації щодо приварних шпильок, прикріплених дуговим приварюванням шпильок з розплавленням кінчика, наведено в додатку R.

(3) Дозволено використовувати інші способи з'єднань, не охоплені правилами проєктування, викладеними в цьому стандарті, за умови проведення відповідних випробувань згідно з EN 1990 з метою:

- підтвердження придатності даного способу для застосування у будівництві;
- отримання величини розрахункового опору для даного способу.

Примітка. Прикладами інших способів з'єднань є:

- методи зварювання, такі як, наприклад, лазерне зварювання;
- механічні способи кріплення, наприклад, самопробивними заклепками.
- з'єднання профілів з термозахистом, див. EN 14024.

ДОДАТОК А
(обов'язковий)

ВИМОГИ ДО ЯКОСТІ ВИКОНАННЯ

A.1 Застосування цього додатка

(1) Цей обов'язковий додаток містить додаткові положення до розділу 4.1.2, що стосуються вимог до якості виконання.

A.2 Сфера та область застосування

(1) Цей обов'язковий додаток охоплює вимоги до якості виконання.

A.3 Загальні положення

A.3.1 Основні вимоги

(1) Для забезпечення належного рівня надійності виконаних робіт згідно з EN 1990 потрібно обрати відповідні вимоги до якості виконання.

(2) Вимоги до якості виконання залежать від класу наслідків, категорії експлуатації, класу сейсмостійкості, наявності або відсутності зварювання і ступеня використання.

(3) Цей додаток є основою для вибору вимог до якості виконання:

- процесу вибору класу виконання;
- визначення ступеня використання.

A.3.2 Клас виконання

(1) Клас виконання (*Execution class; EXC*) визначають як класифікований набір вимог, визначених для виконання робіт в цілому, окремої складової частини або її деталі.

Примітка. У Національному додатку може бути вказано одну або кілька з наступних областей застосування:

- конструкцій у цілому;

- окремих складових частин або їх типів;
- деталей складових частин.

(2) Щоб визначити вимоги до виконання алюмінієвих конструкцій згідно з EN 1090, клас виконання (EXC1, EXC2, EXC3 або EXC4) рекомендовано обрати до початку виконання робіт. Вимоги до якості виконання поступово стають жорсткішими від EXC1 до EXC4.

Примітка. У додатку J EN 1999-1-3:2023 наведено додаткові вимоги до EN 1090-3 щодо виконання конструкцій, складових частин або деталей, схильних до втомлювальних дій.

A.3.3 Ступінь використання

(1) Ступінь використання являє собою рівень ефекту розрахункової дії в порівнянні з розрахунковим опором. Його застосовують для визначення вимог щодо обсягу додаткового контролю згідно з критеріями приймання, встановлених у EN 1090-3: 2019, додаток K.

A.4 Процес вибору класу виконання

(1) Що стосується управління надійністю, то вибір класу виконання має ґрунтуватися на необхідному класі наслідків (CC). Концепцію класу наслідків визначено у EN 1990.

Примітка. У національному додатку може бути визначено вибір залежно від типу конструкції.

(2) Що стосується типу навантаження, прикладеного до конструкції, складової частини або деталі, вибір класу виконання має ґрунтуватися на тому, чи конструкція, складова частина або деталь розраховані на статичні, квазістатичні, втомлювальні або сейсмічні дії.

(3) Клас виконання (EXC) рекомендовано вибирати згідно з таблицею A.1 (NDP).

Таблиця А.1 (NDP) — Вибір класу виконання (EXC)

Клас наслідків (CC, Consequence Class)	Тип навантаження (категорія експлуатації; <i>service category, SC</i>) або клас сейсмічної пластичності (<i>seismic ductility class; DC</i>)			
	Статичні, квазістатичні навантаження (SC1) або сейсмічні класу пластичності DC1 ^a		Втомлювальні ^b навантаження (SC2) або сейсмічні класу пластичності DC2 ^a	
	Не зварні	Зварні	Не зварні	Зварні
CC3	EXC3	EXC3 ^c	EXC3 ^c	EXC4
CC2	EXC2	EXC2	EXC3	EXC3
CC1	EXC1	EXC1 ^d	EXC1	EXC2
^a Класи сейсмічної пластичності (DC) встановлено в стандарті EN 1998-1-1. ^b Див. EN 1999-1-3. ^c В окремих випадках може бути розглянутий EXC4, включно з тими, що зазвичай підпадають під дію CC4 стандарту EN 1990:2023. ^d Якщо індекс сейсмічної дії перевищує 2,5 м/с ² (див. EN 1998-1-1), клас виконання у DC1 має бути EXC2.				

Примітка 1. У національному додатку може бути зазначено, чи рекомендовано вибирати клас виконання (EXC) за таблицею А.1 (NDP).

Примітка 2. Якщо в національному додатку не вказано інше, загальні рекомендації щодо вибору класу виконання можуть бути наступними.

Клас виконання EXC1

До цього класу виконання рекомендовано відносити лише конструкції, складові частини або деталі, на які діє переважно статичне навантаження, або лише механічно з'єднані складові частини під дією втомлювального навантаження, коли наслідки відмови незначні і не потребують спеціалізованого ремонту. EXC1 не можна застосовувати, якщо відмова може прямо або побічно спричинити травму або смерть людини.

Типові приклади:

- сільськогосподарські будівлі;
- будинки з випадковою присутністю людей, за умови, що відстань від такого будинку до сусідніх є не меншою ніж півтори його висоти;

— інші прирівняні роботи.

Клас виконання EXC2

До цього класу виконання, як правило, відносять конструкції, складові частини або деталі під дією (або ні) переважно статичного навантаження, які не можуть бути віднесені до класів виконання EXC1, EXC3 і EXC4. Типові приклади:

- житлові приміщення, готелі та офіси висотою не більше 15 поверхів;
- громадські будівлі, що мають площу не більше 5000 м² на кожному поверсі;
- торгові приміщення висотою не більше 15 поверхів, площею менше 1000 м² на кожному поверсі;
- промислові будівлі;
- автомобільні парковки висотою не більше 6 поверхів;
- дорожні споруди та світлофори (висотою не більше 15 м, порталні рами з прольотами не більше 40 м, опори висотою не більше 12 м);
- інші прирівняні роботи.

Клас виконання EXC3

До цього класу виконання відносять конструкції, складові частини або деталі під дією (або ні) переважно статичного навантаження. Він застосовний для складних конструкцій, для яких наслідки відмови особливо високі, а вимоги до якості виконання найбільш жорсткі. Типові приклади:

- перелічені вище будівлі, що перевищують обмеження щодо площі та поверховості;
- будівлі та інші споруди (наприклад, стадіони);
- гідротехнічні затвори, що перебувають переважно під дією статичного навантаження з надзвичайно великим об'ємом водоскиду;
- наступні конструкції, на які не діє переважно статичне

навантаження:

- дорожні мости;
- пішохідні мости прольотом більше 30 м;
- вежі, щогли, опори та циліндричні споруди висотою понад 12 м;
- будівлі, що містять небезпечні речовини та / або процеси.

Клас виконання EXC4

Цей клас виконання охоплює всі конструкції, складові частини або деталі, віднесені до класу EXC3, відмова яких може мати надзвичайно серйозні наслідки для людей і/або довкілля. Клас виконання EXC4 потрібно застосовувати замість EXC3 лише в тих випадках, коли потрібні додаткові вимоги щодо якості або забезпечення якості поза сферою застосування EN 1090-3.

(4) Необхідний клас виконання для певних складових частин і/або деталей може відрізнитися від класу, застосованого до конструкції в цілому. З цієї причини такі складові частини та/або деталі мають бути чітко ідентифіковані.

Примітка. У національному додатку може бути вказано вибір класу виконання з урахуванням складових частин або деталей.

(5) Призначення більш високого класу виконання для конструкції, складової частини або деталі не рекомендовано використовувати для обґрунтування використання більш низьких часткових коефіцієнтів опору під час проєктування цієї конструкції, складової частини або деталі.

A.5 Оцінка ступеня використання

(1) Ступінь використання конструкцій і складових частин під дією переважно статичного або квазістатичного навантаження або мають клас пластичності DC1, визначають за формулою (A.1):

$$U = \frac{E_d}{R_d} \quad (\text{A.1})$$

$E_d = E_k \gamma_F$ — ефект розрахункової дії;

$R_d = R_k / \gamma_M$ — розрахунковий опір.

Для комбінації дій U дозволено прийняти з рівнянь взаємодії.

Примітка 1. Ступінь використання для конструкцій і складових частин, чутливих до втоми, встановлено в стандарті EN 1999-1-3.

Примітка 2. Для класу сейсмічної пластичності DC2 конкретні положення може бути наведено в національному додатку.

ДОДАТОК В

(довідковий)

РОЗРАХУНКОВИЙ МЕТОД СКІНЧЕННИХ ЕЛЕМЕНТІВ (МСЕ)

В.1 Застосування цього додатка

Цей довідковий додаток містить додаткові вказівки до наведених у розділі 7.4.

Примітка. Національний вибір щодо застосування цього довідкового додатка наведено в національному додатку. Цей додаток можна застосовувати, за умови, що національний додаток не містить інформації щодо його застосування.

В.2 Сфера та область застосування

(1) Цей довідковий додаток містить рекомендації щодо використання методу скінченних елементів для перевірки граничних станів за несною здатністю та експлуатаційною придатністю або втомою алюмінієвих конструкцій.

(2) Для отримання додаткової інформації щодо розрахунку СЕ-оболонкових конструкцій дивіться EN 1999-1-5.

(3) Дані рекомендації призначені для інженерів, які мають великий досвід у використанні методу скінченних елементів.

(4) Вибір СЕ-методу залежить від поставленої задачі і ґрунтується на наступних припущеннях:

Таблиця В.1 — Припущення щодо МСЕ

№	Робота матеріалу	Вплив геометрії	Недосконалості, див. В.6	Приклад використання
1	лінійна	лінійна	ні	пружний ефект запізнення зсуву, пружний опір
2	нелінійна	лінійна	ні	пластичний опір для граничного стану за несною здатністю
3	лінійна	нелінійна	ні	критичне навантаження для елемента або пластини
4	лінійна	нелінійна	так	пружний опір втраті стійкості елемента або пластини
5	нелінійна	нелінійна	так	пружно-пластичний опір для граничного стану за несною здатністю

В.3 Застосування МСЕ для розрахунку

Застосовуючи для розрахунку МСЕ рекомендовано приділити увагу:

- моделюванню елемента конструкції та його граничних умов;
- вибору програмного забезпечення та документації;
- недосконалостям, які потрібно врахувати у моделі;
- моделюванню властивостей матеріалу;
- моделюванню навантажень;
- моделюванню критеріїв граничного стану;
- застосованим частковим коефіцієнтам;

В.4 Моделювання

(1) На точність результатів впливає вибір СЕ-моделі (оболонкові або суцільні елементи) і розмір сітки. Для перевірки моделі дозволено провести перевірку її чутливості з послідовним уточненням, зокрема, у випадку складних моделей з вираженою нелінійною роботою.

(2) Моделювання методом кінцевих елементів дозволено виконати або для

- складової частини в цілому, або
- нижньої конструкції як частини всієї конструкції.

Прикладом складової частини може бути стінка та/або нижня плита жорсткої коробчастої балки в області проміжної опори, де нижня плита знаходиться в стані стиску. Прикладом нижньої конструкції може служити субпанель нижньої плити, під дією двохосового напруження.

(3) Граничні умови для опор, сполучень і прикладених навантажень рекомендовано обирати таким чином, щоб отримані результати були консервативними.

(4) Геометричні характеристики рекомендовано приймати як номінальні.

(5) Всі недосконалості мають бути засновані на формах і амплітудах, наведених у розділі В.6.

(6) Властивості матеріалу мають відповідати В.7(2).

В.5 Вибір програмного забезпечення та документації

(1) Програмне забезпечення має володіти доведеною надійністю і бути придатним для виконання поставленого завдання. Перевірити надійність дозволено за допомогою відповідних контрольних тестів.

(2) Розмір сітки, навантаження, граничні умови та інші вхідні дані, а також вихідні дані рекомендовано задокументувати так, щоб результати могли бути відтворені третіми сторонами.

В.6 Моделювання

(1) Там, де є необхідність включити недосконалості в скінченно елементну модель, рекомендовано включати як геометричні, так і конструкційні недосконалості.

(2) Якщо не буде проведено більш ретельний аналіз геометричних дефектів і структурних недосконалостей, дозволено використовувати еквівалентні геометричні недосконалості.

(3) Геометричні недосконалості можуть ґрунтуватися на виді критичних форм втрати стійкості пластини, з амплітудами, рівними 80% геометричних допусків на виготовлення. Направленість застосованої недосконалості має бути такою, щоб забезпечити найменший опір.

(4) Конструкційні недосконалості, виражені через залишкові напруження зварюваних складових частин, можуть бути представлені діаграмою напружень у процесі виготовлення з амплітудами, еквівалентними середнім (очікуваним) значенням.

(5) Для застосування еквівалентних геометричних недосконалостей зварних пластинчастих конструкцій можна використовувати таблицю В.2 і рисунок В.1.

(6) Для пресованих профілів рекомендовано застосовувати дугову недосконалість $L/1000$. Місцеві геометричні недосконалості дозволено опустити.

(7) Дозволено використовувати протяжність та міцність зон термічного впливу згідно з пунктом 8.1.6, якщо інше не встановлено випробуваннями.

Таблиця В.2 — Еквівалентні геометричні недосконалості зварних пластинчатих конструкцій

загальна	елемент довжиною l	дугова	див. 7.3.2(3)
місцева	панелі та допоміжні панелі з коротким прогоном a або b	форма вигину	$\min(a/200, b/200)$
місцева	полиця або елемент жорсткості у стані скручування	дуговий вигин	$\delta = 1/50$
Примітка. див. рисунок В.1.			

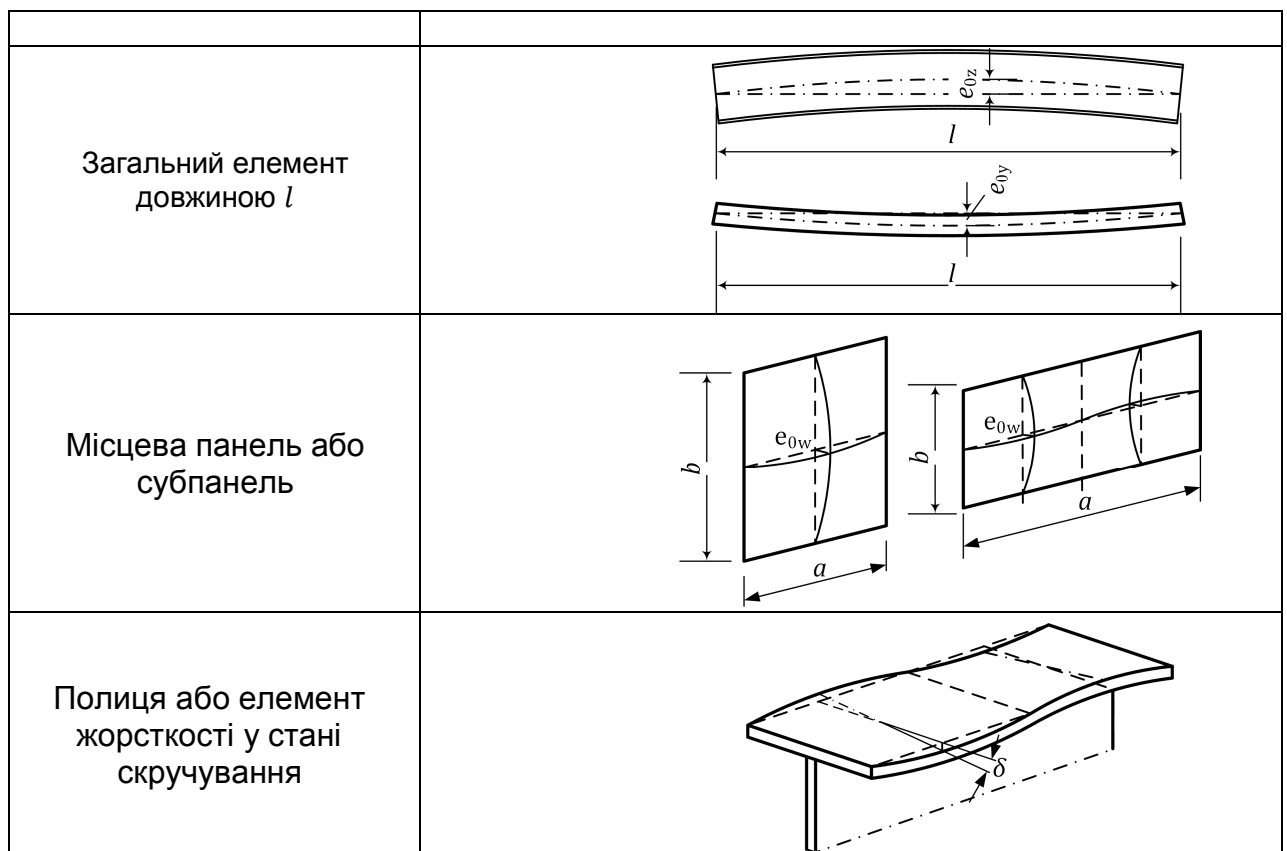


Рисунок В.1 — Еквівалентні геометричні недосконалості

(8) У випадку об'єднання недосконалостей рекомендовано вибрати основну недосконалість, а значення додаткових дозволено знизити до 70 %. За основну недосконалість рекомендовано прийняти недосконалість будь-якого типу. Інші недосконалості дозволено приймати як супутні.

(9) Там, де це можливо, еквівалентні геометричні недосконалості дозволено замінити відповідними фіктивними силами, що діють на елемент.

В.7 Властивості матеріалу

(1) Властивості матеріалу рекомендовано приймати як характеристичні значення. Для модуля пружності E , як і для коефіцієнту ν відповідними є номінальні значення.

(2) Залежно від необхідних для розрахунку точності і допустимої деформації, дозволено використовувати наступні припущення щодо роботи матеріалу (див. рисунок 2):

а) пружно-пластична без механічного зміцнення;

б) фактична діаграма деформацій, представлена через закон Рамберга-Осгуда (Формула (F.14)) з показником ступеня $n = n_p$ з таблиць 5.3 та 5.4. Для визначення пластичного опору рекомендовано застосовувати цю криву.

с) фактична діаграма деформацій, представлена через закон Рамберга–Осгуда (Формула (F.14)) з показником ступеня $n = n_e$ з формули (F.15). У випадку небезпеки відмови через стійкість рекомендовано застосовувати цю криву.

д) експериментальна фактична діаграма деформацій, уточнена за результатами випробувань:

Примітка. Перетворити стандартну діаграму деформацій на фактичну можливо за допомогою формули (B.1):

$$\sigma_{\text{true}} = \sigma(1 + \varepsilon), \varepsilon_{\text{true}} = \ln(1 + \varepsilon) \quad (\text{B.1})$$

В.8 Навантаження

Навантаження на конструкції мають містити відповідні коефіцієнти навантаження та коефіцієнти комбінацій навантажень. Для простоти дозволено застосувати множник одиночного навантаження α .

В.9 Критерії граничного стану

(1) Критерії граничного стану за несною здатністю рекомендовано застосовувати наступним чином:

— для конструкцій, чутливих до вигину: досягнення максимального навантаження.

— для ділянок під дією напружень розтягу: досягнення допустимого значення основної мембранної деформації.

(2) Дозволено використовувати граничну основну деформацію $\varepsilon_{0,unl} = A_{unl}$ згідно з таблицями В.3 та В.4. Для зон термічного впливу і зварних швів рекомендовано використовувати 50% від наведених в таблиці значень, якщо тільки це не визначено випробуваннями. (Для ε_0 , unl див. F.3.2.3(4) b).

Примітка. У таблицях В.3 та В.4 наведено значення рівномірного видовження. Такі значення можна прийняти у звичайному порядку або отримати від більшості виробників алюмінієвих напівфабрикатів і можна використати як основу для пластичного розрахунку (квазіхарактеристичні значення).

(3) Наведені значення рекомендовано застосовувати для товщин, що перевищують 1,5 мм, і для пресованих профілів, паралельних осі пресування. Їх не рекомендовано використовувати для тягнутих труб (DT).

(4) У багатьох випадках, залежно від матеріалу, товщини та процесу виробництва, на поточному виробництві можуть бути отримані більш високі значення. Використання таких значень може бути встановлено

відповідальним органом, або, якщо вони не вказані, узгоджено для конкретного проєкту відповідальними сторонами.

(5) У разі пластичного розрахунку і якщо відхил від значень, наведених у таблиці В.3 або таблиці В.4, може мати істотний вплив на несну здатність, значення може бути вказано відповідальним органом або, якщо не вказано інше, узгоджено для конкретного проєкту відповідальними сторонами.

Примітка. До постачання матеріалу сторони зазвичай залучають покупця і постачальника. Припуск зазвичай застосовують у випадку відсутності стандартів на матеріали з визначеними значеннями.

(6) Залежно від поставленої задачі, дозволено застосовувати й інші критерії, наприклад, досягнення межі текучості або обмеження зони деформації.

В.10 Часткові коефіцієнти

(1) Отриманий за допомогою МСЕ коефіцієнт збільшення навантаження α_u в граничному стані за несною здатністю, як правило, має бути достатнім для забезпечення необхідної надійності.

(2) Коефіцієнт збільшення α_u має бути пов'язаний з двома наступними коефіцієнтами:

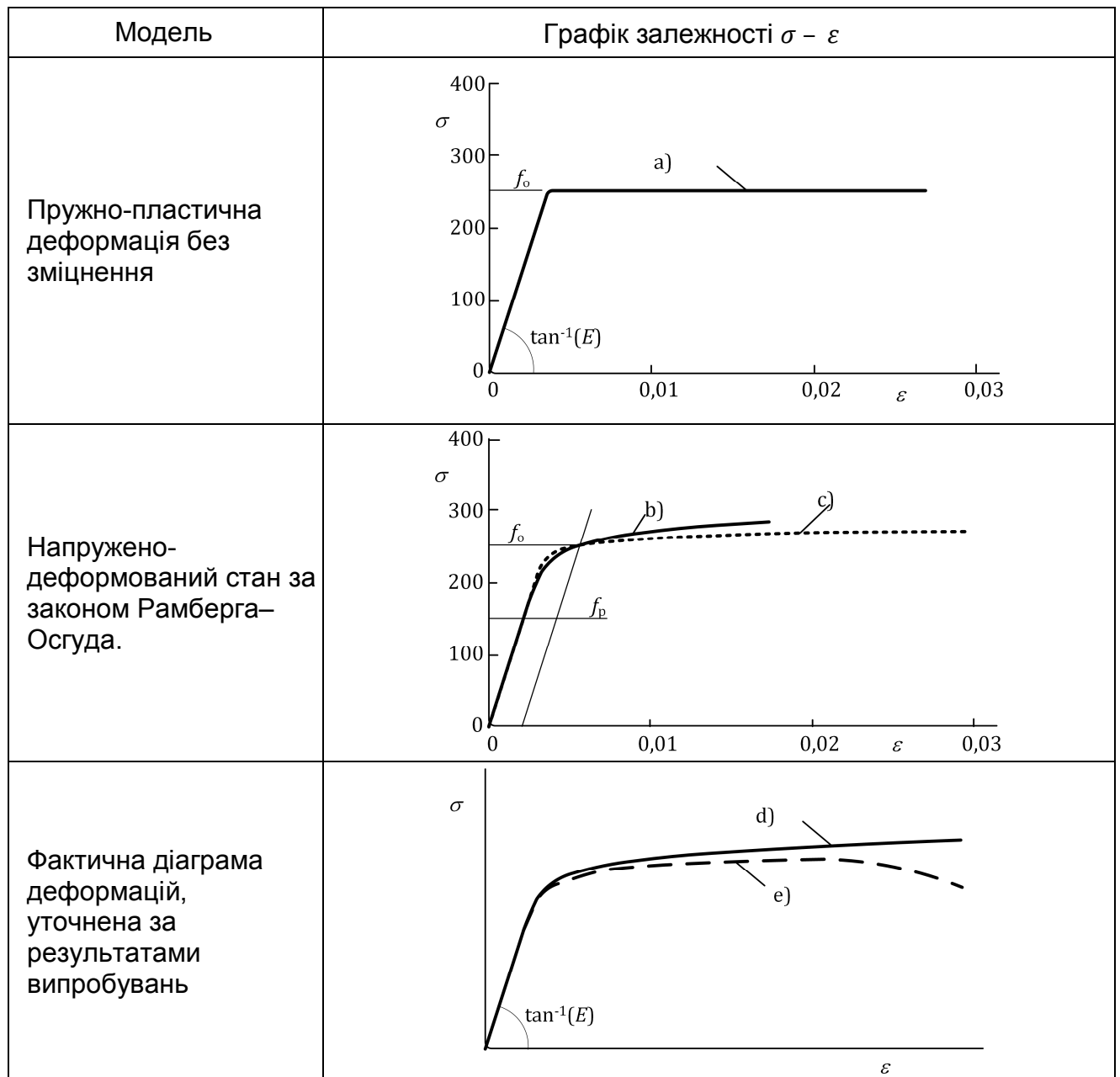
а) α_1 — для врахування невизначеності моделі застосованого моделювання методом скінченних елементів. має бути отримано в результаті оцінки уточнень за результатами випробувань, див. додаток D до EN 1990:2023;

б) α_2 — для урахування розкиду моделей навантаження і опору. Його дозволено прийняти як γ_{M1} або γ_{M2} , залежно від того, чи обумовлена проблема нестабільністю чи руйнуванням відповідно.

(3) За формулою (В.2) рекомендовано перевірити, що:

$$\alpha_u > \alpha_1 \alpha_2 \text{ (В. 2)}$$

(4) γ_{M1} та γ_{M2} має бути застосовано як зазначено у відповідних частинах стандарту EN 1999.



Умовні позначки:

- a) без зміцнення;
- b) $n = n_p$;
- c) $n = n_e$;
- d) фактична діаграма деформацій;
- e) стандартна діаграма випробування.

Рисунок В.2 — Моделювання роботи матеріалу

Таблиця В.3 — значення A_{uni} для механічно зміцнених сплавів та станів обробки у таблиці 5.3

EN-AW	3004	3005	3103	5005	5052	5049	5454	5754	5083	5383	8011A
EN-AW	AlMn1-Mg1	AlMn1-Mg0,5	AlMn1	AlMg1	AlMg2,5	AlMg2-Mn0,8	AlMg3-Mn	AlMg3	AlMg4,5-Mn0,7	AlMg4,5-Mn0,9	AlFeSi
O/H111				16		14	14(10)	14(10)	13(8)	12	
H12				4	6				5		
H22				6	8				6	6	
H14	2	2	2	3	3	3	3	3	3		3
H24	4	4	4	4	5	6	6	6	5	5	4
H16	1	1	1								1
H26	2	2	2								2

Примітка. У дужках наведено значення для пресованих виробів.

Таблиця В.4 — значення A_{uni} для зміцнених осадженням сплавів та станів обробки, наведених у таблиці 5.4

EN-AW	6060	6063	6106	6005A	6061	6082	7020
EN-AW	AlMgSi	AlMg0,7Si	AlMgSiMn	AlSiMg(A)	AlMg1SiCu	AlSi1MgMn	AlZn4,5Mg1
T4					10(10)	10(12)	
T64/61	8					(10)	
T6	6	6	6	6	6(6)	6(6)	6(6)
T66	6	6					

Примітка. Значення у дужках наведені для листів/пластин.

ДОДАТОК С

(довідковий)

ВИБІР МАТЕРІАЛІВ

С.1 Застосування цього додатка

Цей довідковий додаток містить додаткові вказівки до наведених у пунктах 4.1.3, 5.2.1, 5.3.2 та D.4.

Примітка. Національний вибір щодо застосування цього довідкового додатка наведено в національному додатку. Цей додаток можна застосовувати, за умови, що національний додаток не містить інформації щодо його застосування.

С.2 Сфера та область застосування

(1) цей довідковий додаток стосується вибору алюмінієвих матеріалів.

С.3 Загальні положення

(1) Вибір відповідного алюмінієвого матеріалу для будь-якого застосування в будівництві визначено поєднанням чинників: міцністю, пластичністю, довговічністю, фізичними властивостями, зварюваністю, придатністю до формування і доступністю як сплаву, так і конкретної необхідної форми. Описані нижче деформівні та ливарні сплави можна розділити на термооброблювані та термічно необроблювані.

(2) Властивості і характеристики цих сплавів можна порівняти в загальних рисах у таблиці С.1 для деформівних алюмінієвих сплавів і таблиці С.2 для ливарних сплавів. Властивості та характеристики можуть змінюватися залежно від стану обробки сплаву.

(3) Якщо необхідно виконати з'єднання з іншими металами, рекомендовано отримати консультацією фахівця щодо захисних заходів, необхідних для запобігання гальванічній корозії.

Примітка. Рекомендації наведено у додатку D.

С.4 Деформівні сплави

С.4.1 Деформівні термооброблювані сплави

С.4.1.1 Загальні положення

Із сплавів серії 6xxx сплави EN AW-6082, EN AW-6061, EN AW-6005a, EN AW-6106, EN AW-6063 і EN AW-6060 придатні до застосування у конструкціях. Ці сплави мають ступінь довговічності В. Серед сплавів серії 7xxx сплав EN AW-7020 придатний для загального застосування в конструкціях і має ступінь довговічності С.

С.4.1.2 Загальні положення

(1) EN AW-6082 є одним з найбільш широко вживаних термооброблюваних сплавів, і часто основним конструкційним сплавом для зварних і незварних конструкцій. Це високоміцний сплав, доступний у більшості форм: суцільні та порожнисті пресовані вироби, труби, пластини, листи і штамповані вироби; і він знаходить все більше застосування в елементах, що зазнають впливу морського середовища. EN AW-6061 також є широкоживаним термооброблюваним сплавом для зварних і незварних конструкцій, де його застосовують у формі суцільних і порожнистих пресованих профілів і труб. Обидва сплави зазвичай використовують у повністю термообробленому стані за стандартами EN AW-6082-T6 та EN AW-6061-T6.

(2) Вибір цих сплавів у якості будівельного матеріалу ґрунтується на сприятливому сполученні властивостей: високій міцності після термообробки, високій антикорозійній стійкості, хорошій зварюваності під інертним газом як плавким так і неплавким електродом, гарною придатністю до формування під час гартування до стану обробки T4, а також високої придатності до механічної обробки. Рекомендовано враховувати втрату міцності в зоні термічного впливу зварних вузлів. До

певної міри міцність можливо відновити за допомогою природного старіння після зварювання. У пресованих виробках він, як правило, обмежений товщинами і простішими формами, ніж для інших сплавів серії 6xxx. EN AW-6082 — поширений сплав для виготовлення пресованих виробів, пластин і листового прокату. Присадні метали для зварювання наведено у EN 1011-4.

С.4.1.3 Загальні положення

(1) Сплав EN AW-6005а, що також рекомендований для застосування в конструкціях, доступний лише в пресованих формах і поєднує в собі середню міцність з можливістю пресування у форми, складніші, ніж ті, що можна виробити з EN AW-6082 або EN AW-6061. Особливо це стосується тонкостінних порожнистих профілів. Подібно до EN AW-6082 та EN AW-6061, ці сплави легко зварювані під інертним газом як плавким так і неплавким електродом і мають аналогічну втрату міцності у зоні термічного впливу зварних вузлів. Присадні метали для зварювання цих сплавів наведено у EN 1011-4.

(2) Корозійна стійкість зварних і незварних елементів аналогічна або навіть краща, ніж у EN AW-6082. Властивості механічної обробки аналогічні EN AW-6082.

Таблиця С.1 — Порівняння загальних характеристик та інших властивостей конструкційних сплавів

Сплав EN- Позначки	Профіль та стан обробки стандартизовані для						Міцність	Ступінь довговічності ^а	Зварюваність	Декоративне анодування
	Лист, смуга та пластина	Пресовані вироби			Холоднотяг нуті вироби	Штамповані вироби				
		Прут / стриже нь	Труб а	Проф іль	Труба					
EN AW-3004	○	-	-	-	-		III/IV	A	I	I
EN AW-3005	○	-	-	-	-		III/IV	A	I	I
EN AW-3103	○	○	○	○	○		III/IV	A	I	II
EN AW-5005	○	○	○	○	○		III/IV	A	I	I
EN AW-5049	○	-	-	-	-		II/III	A	I	I/II
EN AW-5052	○	○	○ х)	○ х)	○		II/III	A	I	I/II
EN AW-5083	○	○	○ х)	○ х)	○	○	I/II	A	I	I/II
EN AW-5383	○	-	-	-	-		I/II	A	I	I/II
EN AW-5454	○	○	○ х)	○ х)	-		II/III	A	I	I/II
EN AW-5754	○	○	○ х)	○ х)	○	○	II/III	A	I	I/II
EN AW-6060	-	○	○	○	○		II/III	B	I	I
EN AW-6061	-	○	○	○	○		II/III	B	I	II/III
EN AW-6063	-	○	○	○	○		II/III	B	I	I/II
EN AW-6005A	-	○	○	○	-		II	B	I	II/III
EN AW-6106	-	-	-	○	-		II/III	B	I	I/II
EN AW-6082	○	○	○	○	○	○	I/II	B	I	II/III
EN AW-7020	○	○	○	○	○		I	C	I	II/III
EN AW-8011A	○	-	-	-	-	-	III/IV	B	II	III/IV
Умовні позначки: ○ — Стандартизовано у певному діапазоні станів обробки за методом зміцнення; наявність напівфабрикатів на складі має бути перевірено для кожного виробу та розміру; - — Не стандартизовано; х — Лише прості суцільні профілі (безшовні вироби, виготовлені на оправці) ; I — Відмінна; II — Хороша ; III — Середня ; IV — Погана.										
Примітка. Ці позначки наведено лише для ознайомлення і вони мають зміст лише у відповідних стовпчиках і можуть змінюватися залежно від стану матеріалу.										
^а див. таблицю 5.1.										

С.4.1.4 Сплави EN AW-6060, EN AW-6063 та EN AW-6106

(1) EN AW-6060, EN AW-6063 та EN AW-6106 рекомендовано до застосування у будівництві, вони доступні лише у вигляді пресованих та холодноотягнутих виробів. Їх використовують, якщо міцність не є критичною вимогою і нею потрібно поступитися заради естетики. Ці сплави показують значну довговічність та високу якість чистової поверхні, а також здатність до пресування у тонкостінні профілі складної форми. Ці сплави добре підходять для анодування та аналогічних способів чистової обробки поверхні. Подібно до інших сплавів серії 6xxx, вони є легко зварюваними під інертним газом як плавким, так і неплавким електродом і втрачають міцність у зоні термічного впливу зварних вузлів. Присадні метали для зварювання цих сплавів наведено у EN 1011-4.

С.4.1.5 Сплав EN AW-7020

(1) Сплав EN AW-7020 рекомендовано до застосування у будівельних конструкціях як зварних, так і незварних. Це високоміцний сплав для виробництва суцільних та порожнистих пресованих профілів, пластин, листів та труб. Цей сплав не настільки придатний для виготовлення складних пресованих профілів, порівняно із сплавами серії 6xxx, і не є широкодоступним. Як правило, його використовують у повністю термообробленому стані EN AW-7020-T6. Завдяки властивості природного старіння у нього краща міцність після зварювання ніж у сплавів серії 6xxx. Однак цей сплав, як і інші у серії 7xxx, є чутливим до умов навколишнього середовища, і його задовільна робота у конструкціях залежить як від правильної технології виготовлення, так і від контролю хімічного складу.

(2) Через схильність до корозійного відшарування, матеріал стану обробки T4 рекомендовано використовувати лише на етапі заводського виготовлення, щоб надалі конструкція підлягала природному старінню. Якщо після зварювання відсутня термообробка, то рекомендовано перевірити необхідність захисту зони термічного впливу згідно з D.5.2.

(3) Якщо матеріал у стані T6 піддають технологічним операціям, пов'язаним з холодною обробкою, наприклад, згинанню, різанню або пробиванню отворів, сплав може стати схильним до корозійного розтріскування під напруженням. Тому важливим є тісне співробітництво проєктувальників та виробників щодо розроблення способів використання та експлуатаційних вимог до конструкції.

С.4.2 Деформівні термічно необроблювані сплави

С.4.2.1 Загальні положення

У серії 5xxx до застосування у будівельних конструкціях рекомендовано сплави EN AW-5049, EN AW-5052, EN AW-5454 та EN AW-5754, EN AW-5083 із ступенем довговічності А. Інші термічно необроблювані сплави, які можна розглядати для застосування у конструкціях під меншими навантаженнями, - EN AW-3004, EN AW--3005, EN AW-3103 та EN AW-5005, теж мають ступінь довговічності А.

С.4.2.2 EN AW-5049, EN AW-5052, EN AW-5454 та EN AW-5754

(1) EN AW-5049; EN AW-5052, EN AW-5454 та EN AW-5754 придатні для виготовлення елементів конструкцій, підданих середнім навантаженням і з'єднаних механічно або зварюванням. Ці сплави у відпаленому стані є достатньо пластичними, але після холодного гнуття швидко втрачають пластичність. Вони легко піддаються зварюванню під інертним газом плавким або неплавким електродом, з використанням присадного металу, зазначеного у документі EN 1011-4 і мають дуже гарну антикорозійну стійкість, особливо у морському середовищі. Головним чином доступні у вигляді прокату, а знижений вміст магнію дозволяє виробляти лише прості суцільні пресовані профілі.

(2) Сплави легко піддаються механічній обробці при більш жорстких станах обробки. EN AW-5754 — це найміцніший сплав серії 5xxx, що забезпечує практичну стійкість до міжкристалічної корозії і корозії під

напруженням.

C.4.2.3 EN AW-5083 та EN AW-5383

(1) EN AW-5083 та EN AW-5383 — найміцніші термічно необроблювані конструкційні сплави широкого вжитку з високою корозійною стійкістю та високими експлуатаційними якостями у зварних конструкціях. Ці сплави пластичні в м'якому стані, добре піддаються формуванню, але втрачають пластичність після холодного штампування і можуть стати твердими з низькою пластичністю.

(2) Бідь-які стани обробки (Hx), особливо H32 та H34, EN AW-5083 і EN AW-5383 можуть бути вразливими до міжкристалічної корозії, що за певних обставин може перерости в корозійне розтріскування під напруженням під дією тривалого навантаження. Для зменшення цього ефекту було розроблено спеціальні стани обробки на зразок H116. Однак використання цього сплаву не рекомендовано у випадку, якщо матеріал підлягає подальшій важкій холодній обробці, та/або у випадку, коли очікувана температура експлуатації, вища ніж 65°C. У таких випадках рекомендовано застосовувати сплав EN AW-5754.

(3) Якщо за умовами експлуатації сплаву/стану обробки існує можливість корозійного розтріскування під напруженням, то матеріал рекомендовано випробувати на корозійне розтріскування до його доставки замовнику. Умови випробувань рекомендовано узгодити між зацікавленими сторонами з урахуванням відповідних умов експлуатації та фактичних властивостей сплаву/стану обробки.

(4) EN AW-5083 та EN AW-5383 призначені для зварювання під інертним газом як плавким так і неплавким електродом із застосуванням присадних металів, зазначених у EN 1011-4. У випадку зварювання механічно зміцненого матеріалу його фізико-механічні властивості у зоні термічного впливу відповідатимуть стану відпалу. Сплав EN AW-5083 доступний у вигляді пластин, листів, простих суцільних пресованих

профілів, безшовних труб та штампованих виробів. Через високий вміст магнію він важко піддається пресуванню. Тому цей сплав важко отримати у вигляді відносно товстостінних простих суцільних профілів або безшовних порожнистих профілів з однією порожниною (труб). Сплав EN AW-5383 доступний лише у вигляді пластини.

(5) EN AW-5083 та EN AW-5383 добре піддаються механічній обробці за будь-яких станів обробки.

С.4.2.4 EN AW-3004, EN AW-3005, EN AW-3103 та EN AW-5005

EN AW-3004, EN AW-3005, EN AW-3103 та EN AW-5005 поставляють та використовують переважно вигляді листів та пластин. Ці сплави дещо міцніші та твердіші ніж «комерційно чистий» алюміній з високою пластичністю, доброю зварюваністю та високою антикорозійною стійкістю.

С.4.2.5 EN AW-8011A

Сплав EN AW-8011A належить до групи сплавів AlFeSi і традиційно використовується як матеріал для тари та пакування. Завдяки зручності виробництва сплав EN AW-8011A все більше використовують у будівельній галузі, особливо для фасадів.

С.5 Ливарні вироби

С.5.1 Загальні положення

(1) Ливарні матеріали з таблиці 5.8 дозволено використовувати у несних конструкціях за умови дотримання спеціальних правил розрахунку та вимог до якості, наведених у додатку Е.

(2) Для використання у будівельних конструкціях рекомендовано шість ливарних сплавів: чотири термооброблювані — EN AC-42100, EN AC-42200, EN AC-43000 та два термічно необроблювані — EN AC-44200 і EN AC-51300. Ці сплави описано нижче. Зазвичай ці сплави відповідають вимогам щодо видовження зразка, наведеним у Е.3.2.

Завдяки низькому вмісту міді вони також мають високу корозійну стійкість.

C.5.2 Термооброблювані ливарні сплави EN AC-42100, EN AC-42200, EN AC-43000 and EN AC- 43300

(1) EN AC-42100, EN AC-42200, EN AC-43000 та EN AC-43300 — належать до системи Al-Si-Mg і придатні до термообробки. Усі вони придатні до лиття у піщаних чи постійних формах або кокілях, і зазвичай їх не використовують для лиття під тиском, за винятком використання передових методів лиття. Найбільшу міцність отримують у сплаві EN AC-42200-T6, але з меншою пластичністю ніж у EN AC-42100.

(2) Сплав EN AC-43300 демонструє найкращу ливарну якість одночасно з непоганою стійкістю до корозії, придатністю до механічної обробки та зварюваністю. Сплави EN AC-42100 і EN AC-42200 мають високу ливарну якість, хорошу стійкість до корозії та придатність до механічної обробки.

C.5.3 Термічно необроблювані ливарні сплави EN AC-44200 та EN AC-51300

Сплави EN AC-44100 та EN AC-51300 придатні до лиття у піщаних або постійних формах або кокілях, але не рекомендовані для лиття під тиском. Сплав EN AC-44200 має відмінну ливарну якість, сплав EN AC-51300 — посередню, і придатний лише для простіших форм. Сплав EN AC-51300 має найвищу міцність, чудову стійкість до корозії та придатність до механічної обробки. Сплав EN AC-51300 дозволено для декоративного анодування.

Таблиця С.2 — Порівняння ливарних характеристик та інших загальних властивостей

Ливарний сплав	Форма лиття		Ливарні якості	Міцність	Ступінь довговічності	Декоративне анодування	Здатність до зварювання
Позначки	Пісок	Кокіль або постійна ливарна форма					
EN AC-42100		●	II	II/III	B	IV	II
EN AC-42200		●	II	II	B	IV	II
EN AC-43300	●	●	I	II	B	V	II
EN AC-43000		●	I/II	IV	B	V	II
EN AC-44200	●	●	I	IV	B	V	II
EN AC-51300	●	●	III	IV	A	I	II
<i>Умовні позначки:</i> I Відмінно II Хороша III Середня IV Погана V Не рекомендована ● Вказує на метод лиття, рекомендований для несних частин з кожного сплаву.							
Примітка 1. Ці позначки наведено лише для ознайомлення, і кожне ранжування застосовне лише у відповідних стовпчиках. Примітка 2. Властивості можуть змінюватися залежно від умов виливання.							

ДОДАТОК D (довідковий) КОРОЗІЯ ТА ЗАХИСТ ПОВЕРХОНЬ

D.1 Застосування цього додатка

1) Цей довідковий додаток містить додаткові вказівки до наведених у пунктах 4.1.3, 5.2.1 та 6.

Примітка. Національний вибір щодо застосування цього довідкового додатка наведено в національному додатку. Цей додаток можна застосовувати, за умови, що національний додаток не містить інформації щодо його застосування.

D.2 Застосування цього додатка

(1) Цей довідковий додаток охоплює корозію та захист поверхонь.

D.3 Застосування цього додатка

(1) У цьому додатку наведено відомості щодо корозійних властивостей алюмінієвих сплавів, а також рекомендації щодо вибору і захисту алюмінієвих сплавів залежно від умов навколишнього середовища.

Примітка 1. У зв'язку з наведеною нижче специфічними корозійними властивостями алюмінію та його сплавів, категорії корозійної активності атмосфери від C1 до CX, згідно з EN ISO 9223, малопридатні для оцінки корозійних властивостей та будь-якого необхідного захисту від корозії.

Стандарт EN ISO 9223 визначає категорії корозійної активності для атмосферних середовищ за швидкістю корозії стандартних зразків протягом першого року і надає функції залежності доза-реакція для нормативної оцінки категорії корозійної активності на основі розрахованих втрат стандартних металів від корозії протягом першого року. Алюміній схильний як до рівномірної, так і до місцевої корозії. Швидкості корозії, зазначені в стандарті EN ISO 9223, потрібно розраховувати як рівномірну корозію. Максимальна глибина заглиблення або кількість заглиблень

можуть бути найкращим показником потенційного пошкодження. Це залежить від кінцевого застосування. Рівномірну та локалізовану корозію неможливо оцінити після першого року атмосферного впливу через ефекти пасивації та зниження швидкості корозії. Стандарт EN ISO 9223 не містить інформації щодо швидкості місцевої корозії алюмінію.

Для алюмінію стандарт EN ISO 9223 дозволяє лише довідкове оцінювання категорії корозійної активності, засноване на знанні місцевого довколишнього середовища. У таблиці D.1 наведено короткі приклади типових атмосферних умов зовнішнього середовища, пов'язані з оцінкою категорій корозійної активності. Детальну інформацію наведено у EN ISO 9223.

Примітка 2. Рекомендації щодо довговічності кріпильних елементів у профільованих листах трапецієподібного профілю наведено в EN 1999-1-4.

Таблиця D.1 — Опис типових атмосферних умов, пов'язаних з оцінкою категорій корозійної активності (джерело EN ISO 9223)

Категорія корозійної активності ^a	Корозійна активність	Типове довколишнє середовище — Приклади ^b	
		В приміщенні	Надворі
C1	Дуже низька	Опалювані приміщення з низькою відносною вологістю і незначним забрудненням, наприклад офіси, школи, музеї.	Сухі або холодні зони, атмосферне середовище з дуже низьким рівнем забруднення і тривалістю зволоження, наприклад, деякі пустелі, Центральна Арктика / Антарктика.
C2	Низька	Неопалювані приміщення зі змінною температурою і відносною вологістю. Зони з низькою частотою утворення конденсату і низьким забрудненням навколишнього середовища, наприклад, складські приміщення, спортивні зали.	Помірний пояс, атмосферне середовище з низьким рівнем забруднення ($SO_2 < 5 \text{ мкг/м}^3$), наприклад, сільські райони, невеликі міста. Суха або холодна місцевість, атмосферне середовище з короткочасним зволоженням, наприклад, пустелі, субарктичні регіони.

Продовження таблиці D.1

C3	Середня	Приміщення з помірною частотою утворення конденсату і помірним забрудненням внаслідок виробничого процесу, наприклад, підприємства харчової промисловості, пральні, пивоварні, молокозаводи.	Помірний пояс, атмосферне середовище із середнім рівнем забруднення (SO ₂ від 5 мкг/м ³ до 30 мкг/м ³) або певний вплив хлоридів, наприклад, міські райони, прибережні зони з низьким рівнем осадження хлоридів. Субтропічні і тропічні регіони, атмосфера з низьким рівнем забруднення.
C4	Висока	Приміщення з високою частотою утворення конденсату та високим рівнем забруднення в результаті виробничого процесу, наприклад, промислові переробні підприємства, плавальні басейни.	Помірний пояс, атмосферне середовище з високим рівнем забруднення (SO ₂ : від 30 мкг/м ³ до 90 мкг/м ³) або значним впливом хлоридів, наприклад, забруднені міські райони, промислові зони, прибережні райони без розпилення солоної води або впливу сильного впливу протижелезних солей. Субтропічні і тропічні регіони, атмосфера з середнім рівнем забруднення.
C5	Дуже висока	Приміщення з дуже високою частотою утворення конденсату і / або з високим рівнем забруднення в результаті виробничого процесу, наприклад, шахти, печери промислового призначення, невентильовані ангари в субтропічних та тропічних зонах.	Помірні та субтропічні зони, атмосферне середовище з дуже високим рівнем забруднення (SO ₂ : від 90 мкг/м ³ to 250 мкг/м ³) та / або значним впливом хлоридів, наприклад, промислові зони, прибережні райони, захищені місця на береговій лінії.
CX	Екстремальна	Приміщення з майже постійною конденсацією або тривалими періодами впливу екстремальної вологості та/або з високим рівнем забруднення від виробничого процесу, наприклад, невентильовані ангари у вологих тропічних зонах з проникненням забруднень зовнішнього повітря, включаючи повітряні хлориди та тверді частинки, що стимулюють корозію.	Субтропічні і тропічні зони (дуже тривалий час зволоження), атмосферне середовище з дуже високим рівнем забруднення SO ₂ (більше 250 мкг/м ³), включаючи супутні та виробничі чинники та / або сильний вплив хлоридів, наприклад, екстремальні промислові зони, прибережні та офшорні зони, випадковий контакт із соляними бризками.

Кінець таблиці D.1

Im1			Прісна вода
Im2			Морська вода
Примітка 1. Осадження хлоридів в прибережних районах сильно залежить від змінних, що впливають на перенесення морської солі вглиб країни, таких як напрямок вітру, швидкість вітру, місцева топографія, наявність вздовж узбережжя островів, що захищають від вітру, віддаленість ділянки від моря тощо. Примітка 2. Екстремальний вплив хлоридів, характерний для морських бризок або сильних сольових бризок, поза сферою застосування цього стандарту. Примітка 3. Класифікація корозійної активності конкретних робочих середовищ, наприклад, в хімічній промисловості, поза сферою застосування цього стандарту. Примітка 4. Захищені, в тому числі від дощу, поверхні, в морській атмосфері, де осідають і накопичуються хлориди, можуть зазнавати більш високого корозійного впливу, через присутність гігроскопічних солей. Примітка 5. Детальний опис типів внутрішнього середовища, що належать до категорій корозійної активності C1 і C2, наведено в стандарті ISO 11844-1. Встановлено та класифіковано категорії корозійної активності всередині приміщень від IC1 до IC5.			
^a У середовищах з очікуваною «категорією CX» рекомендовано визначати класифікацію атмосферної корозійної активності на основі втрат від корозії за один рік. ^b Концентрацію діоксиду сірки (SO₂) рекомендовано визначати протягом принаймні одного року і відображати як річний середній показник.			

(2) Корозійна стійкість алюмінієвих сплавів обумовлена захисною оксидною плівкою, що утворюється на поверхні металу безпосередньо від контакту з повітрям. Ця плівка, як правило, невидима, відносно інертна і утворюється природним чином під впливом повітря або кисню, а також у багатьох складних кисневмісних середовищах. Таким чином, захисна плівка є самогерметизованою.

(3) У неагресивних середовищах алюмінієва поверхня зберігає свій первинний вигляд протягом багатьох років, тому для більшості сплавів захист не потрібен. У помірних промислових умовах поверхня дещо темнішає та шорсткішає. Із підвищенням агресивності середовища, наприклад, у певних сильноокислих або сильнолужних середовищах, поверхня все більше втрачає колір і стає шорсткішою; з'являється білий порохоподібний поверхневий оксид, а сама оксидна плівка може стати

розчинною. Метал стає вразливим, і потребує додаткових заходів для захисту. Такі умови можуть також виникнути у щілинах через високий місцевий рівень кислотності або лужності, але чинників, що мають подібний екстремальний ефект, порівняно небагато.

(4) На узбережжях і в морських умовах поверхня стає грубішою, набуває сірого кам'яноподібного вигляду, і захист деяких сплавів стає необхідним. Там, де алюміній занурено у воду, можуть знадобитися спеціальні заходи безпеки.

(5) Коли поверхня дійсно зазнає корозійного впливу, процес корозії для алюмінію та алюмінієвих сплавів зазвичай має експоненційну форму, починаючи з втрати поверхнею блиску під впливом погодних умов. Після цього не відбувається практично ніяких змін протягом дуже довгого часу. На відкритому повітрі перший етап може тривати від кількох місяців до двох-трьох років. Далі відбуваються лише незначні зміни, якщо такі є, протягом двадцяти-тридцяти або навіть вісімдесяти років. Така робота конструкцій характерна для всіх зовнішніх умов відкритого повітря, а також для умов всередині приміщення або під захисною покрівлею, окрім випадків, коли може виникнути сильноокисле або сильнолужне середовище. Тропічний клімат загалом не є для алюмінієвих конструкцій більш небезпечним ніж помірний, хоча на деякі сплави серії 5xxx впливає довготривале перебування у високих температурах, особливо на морському повітрі.

(6) Як правило, конструкцію має бути запроектовано згідно з загальною практикою захисту від корозії. Рекомендовано оцінити можливість гальванічної та щілинної корозії і відповідно врахувати це у проекті. Усім частинам конструкції рекомендовано забезпечити просушування.

(7) Якщо алюмінієва конструкція має зберігати декоративний зовнішній вигляд протягом тривалого часу, доцільно обробити поверхню органічними покриттями (рідкими або порошковими) та анодним

окисленням. У специфікації до виконання мають бути вказані детальні вимоги. Рекомендовано врахувати можливість зміни кольору поверхні, відповідно погодивши його та визначивши, наприклад, на зразках матеріалу. Відмінності у зовнішньому вигляді можуть бути обумовлені різними партіями напівфабрикатів чи матеріалу покриття, і різним устаткуванням для його нанесення. Обираючи належний спосіб обробки поверхні, рекомендовано враховувати різну роботу систем з точки зору зручності ремонту та очищення, а також стійкості до погодних умов. Вказівки щодо анодного окислення наведено у EN ISO 7599.

D.4 Ступені довговічності алюмінієвих сплавів

(1) Алюмінієві сплави, зазначені у таблицях 5.1 та 5.2, за довговічністю бувають трьох ступенів: А, В та С у порядку її зменшення. Ці ступені потрібні, щоб визначити потребу та ступінь необхідного захисту матеріалу. У конструкціях, де застосовано більше одного сплаву, включно з присадними металами у зварних швах, класифікацію рекомендовано виконувати за найнижчим ступенем довговічності.

(2) Рекомендації щодо ступеня довговічності алюмінієвих сплавів наведено у додатку С.

(3) У таблиці D.2 наведено рекомендації щодо антикорозійного захисту матеріалів для трьох ступенів довговічності, яких рекомендовано дотримуватися.

Таблиця D.2 — Рекомендації щодо антикорозійного захисту матеріалів для різних умов впливу навколишнього середовища та ступенів довговічності

Ступінь довговічності сплаву	Товщина матеріалу, мм	Захист залежно від умов навколишнього середовища					
		Атмосферні умови				Підводні умови	
		C1-C3	C4	C5	CX	Im1	Im2
A	Будь-яка	0	(Pr)	(Pr)	(Pr)	0	(Pr)
B	< 3	0	(Pr)	(Pr)	(Pr)	Pr	Pr
	≥ 3	0	0	(Pr)	(Pr)	(Pr)	Pr
C	Будь-яка	0 ^b	(Pr) ^b	(Pr) ^b	(Pr) ^b	(Pr) ^a	NR
Умовні позначки: 0 Зазвичай не потрібно ніякого захисту. Pr Захист потрібен, окрім особливих випадків, див. D.5.2 (Pr) Потреба у захисті залежить від наявності особливих умов роботи конструкції, див. D.5.2. За наявності такої потреби, це рекомендовано вказувати у технічному завданні. NR Занурення у морську воду не рекомендовано							
Примітка. Інформацію щодо захисту листового матеріалу, застосовного для покрівлі та сайдингу, наведено у EN 508-2.							
^a Для сплавів EN AW-7020 захист потрібен лише в зоні термічного впливу, якщо після зварювання не проводилося термооброблення. ^b Якщо після зварювання термооброблення не було виконано, необхідність захисту зони термічного впливу рекомендовано перевірити з урахуванням умов D.5.2.							

D.5 Захист від корозії

D.5.1 Загальні положення

(1) Виконавча документація проєкту має містити опис різновиду та обсяг антикорозійної обробки. Різновид антикорозійної обробки рекомендовано підбирати, враховуючи механізм корозії: поверхнева корозія, гальванічна корозія, щілинна корозія або корозія, спричинена забрудненням іншими будівельними матеріалами. Щілинна корозія може виникати у щілинах будь-якого різновиду, також між металом та пластиком. Корозію можуть спровокувати особливі умови будівництва, наприклад, якщо мідний дах встановлено на алюмінієві конструкції.

(2) Для вибору належного засобу захисту від корозії рекомендовано

враховувати наступне. Пошкодження органічних покриттів до певної міри піддаються ремонту. З анодованими деталями під час перевезення та монтажу рекомендовано поводитися особливо обережно. Тому рекомендовано застосовувати захисну плівку.

(3) Анодне окислення і органічне покриття у багатьох випадках рівноцінні, і за певних умов перевагу, безсумнівно, віддають тій чи іншій обробці поверхні, в залежності від агресивних речовин і навколишнього середовища, що впливають на корозійні ефекти. Якщо захист від корозії одночасно виконує декоративну функцію, див. D.5.2(7). Технічну документацію на анодне окислення рекомендовано розробляти згідно EN ISO 7599.

(4) Для короткострокового захисту або для м'яких умов експлуатації рекомендовано застосовувати пасивацію.

D.5.2 Антикоровійний захист конструкційного алюмінію

(1) Необхідність забезпечення захисту від корозії конструкцій, виготовлених із сплавів, перелічених в таблицях 5.1 та 5.2, якщо вони зазнають впливу різних середовищ наведено в таблиці D.2. Методи забезпечення антикорозійного захисту наведено у EN 1090-3. Інформацію щодо захисту листового матеріалу, застосовного для покрівлі та облицювання, наведено у EN 508-2.

(2) Вибираючи відповідний стовпчик із таблиці D.2 для заданого середовища, рекомендовано враховувати наявність у регіоні зон із місцевим «мікрокліматом», який може суттєво відрізнятися від загальних кліматичних характеристик регіону. У регіоні, позначеному як «сільська місцевість», можуть існувати місця, що скоріше нагадують промислові зони через близькість до промислових підприємств або напрямки вітру від них. Аналогічно, близьке до моря місце, розташоване поруч із береговими спорудами, за певних напрямків вітру може мати характеристики скоріше промислового ніж морського середовища. Також навколишнє середовище

не обов'язково однакове для конструкцій ззовні та всередині будівлі.

(3) Виникнення корозії залежить не лише від корозійної чутливості матеріалу та кліматичних умов у регіоні, але, на практиці, більше від тривалості контакту конструкції з вологою та накопичення бруду і корозійних речовин. Зони елементів чи конструкційних деталей, у яких затримується або накопичується бруд, є більш критичними, ніж зони, де дощ або занесена вітром вода омивають поверхню, а потім швидко висихають. Це означає, що рекомендовано уникати критих виступів, а кишені, у яких може затримуватися вода, рекомендовано або ліквідувати зовсім, або забезпечити у них ефективне дренавання.

(4) Аналізуючи потребу та необхідний рівень у антикорозійного захисту, рекомендовано враховувати проєктний строк експлуатації конструкції. Конструкції з коротким терміном експлуатації можуть потребувати лише мінімального захисту, або не потребувати його зовсім. Якщо плановий огляд та технічне обслуговування дозволять виявити появу корозії на ранніх стадіях з ужиттям відповідних заходів, то первинні вимоги та заходи щодо попередження корозії дозволено пом'якшити. І навпаки, якщо регулярний огляд неможливий чи недоцільний, а появу корозії важко буде виявити, початковий рівень захисту має бути вищим. Тому необхідність захисту у випадках, позначених (Pr) в таблиці D.2, рекомендовано визначати спільно із проєктувальником, виробником та, за необхідності, спеціалістом з корозії.

(5) Ці чинники можуть спричинити появу зон підвищеної корозійної небезпеки. Тому, перед тим, як вибирати відповідний стовпчик у таблиці D.2, доцільно якомога точніше вивчити умови роботи конструкції у реальному середовищі.

(6) У випадку застосування порожнистих профілів рекомендовано розглянути можливість виникнення зсередини обумовленої потраплянням агресивних речовин корозії, і відповідного захисту від неї. Оскільки фарбування таких профілів є утрудненим, дозволено наносити покриття

методом хімічної обробки. Якщо порожнини у профілі надійно ізолювані чи якщо вода не може потрапити всередину, внутрішній захист не є необхідним.

D.5.3 Контакт алюмінію з алюмінієм та іншими металами

(1) Рекомендовано приділяти увагу контактуючим поверхням у щілинах, а також контактів з деякими металами або тонкими плівками металів, що можуть викликати електрохімічне пошкодження алюмінію. Такі умови можуть виникнути у вузлах конструкцій. Контактні поверхні та вузли між алюмінієвими елементами або елементами з інших металів, а також контактні поверхні у болтових, заклепкових, зварних вузлах та вузлах на високоміцних болтах із затягуванням рекомендовано захищати заходами, додатковими до зазначених у таблиці D.2, які наведено у таблиці D.3. Детальний опис методик антикорозійного захисту наведено у EN 1090-3. Питання захисту контактних поверхонь між металами, включаючи вузли для листових матеріалів покрівлі та облицювання розглянуто у EN 508-2.

(2) Під час монтажу фарбованих або захищених покриттям елементів конструкцій у технічному завданні рекомендовано вказувати будь-яку необхідну додаткову ізоляцію контактних поверхонь, включаючи її вид та технологію ізолювання. Вимоги до захисту мають ґрунтуватися на передбаченому терміні експлуатації конструкцій, умовах навколишнього середовища та якості наявного попереднього захисту складових частин.

D.5.4 Алюмінієві поверхні, що контактують з неметалевими матеріалами

D.5.4.1 Контакт з бетоном, цеглою або штукатуркою

(1) Алюмінієві поверхні, розташовані впритул до щільного важкого бетону, цегли або штукатурки, у сухому незабрудненому середовищі або помірному кліматі, рекомендовано вкривати шаром бітумної фарби чи іншим покриттям, яке б забезпечувало рівноцінний захист.

(2) У промисловому або морському середовищі алюмінієві поверхні, що контактують з іншими матеріалами, мають бути вкритими принаймні двома шарами високоміцної бітумної фарби, системою покриття, що забезпечує еквівалентний захист, або іншою захисною системою, здатною забезпечити відсутність контакту між бетоном та алюмінієм (наприклад, фольговою); поверхню матеріалу, з яким контактує алюміній, також доцільно пофарбувати аналогічним чином. Підводний контакт між алюмінієм і такими матеріалами не рекомендований, але якщо цього не уникнути, рекомендовано відділити цей матеріал, використовуючи відповідну мастику або стійкий гідроізоляційний матеріал.

(3) Особливу увагу рекомендовано приділити легким бетонам та аналогічним матеріалам, якщо вода або підвищена вологість може викликати вихід агресивних лугів із цементу. Лужна вода може негативно вплинути на інші алюмінієві поверхні, відмінні від контактних.

Примітка. Агресивність бетону по відношенню до алюмінію можлива лише у присутності вологи. Таким чином, можна не виконувати покриття алюмінієвих елементів, за умови, що можливо гарантувати сухість навколишнього середовища (відсутність попадання конденсату або іншої води в зону контакту). З іншого боку, навіть якщо прямий контакт між алюмінієм і бетоном відсутній, покриття може знадобитися, якщо алюмінієві поверхні зазнають впливу води, що раніше контактувала з бетоном.

(4) Існують швидкотверднучі та бетонні добавки, які є гігроскопічними та особливо агресивними. Якщо їх використання неможливо уникнути, непроникне покриття завжди рекомендовано наносити дуже обережно.

D.5.4.2 Закладка у бетон

(1) Алюмінієві поверхні рекомендовано захищати принаймні двома шарами бітумної фарби або гарячого бітуму. Таке покриття має виступати над поверхнею бетону не менше ніж на 75 мм.

(2) Якщо бетон містить хлориди (наприклад, як добавки чи якщо заповнювач для бетону був добутий з морського дна), то рекомендовано

нанести не менше двох шарів високоміцної бітумної фарби, систему покриття, що забезпечує еквівалентний захист, або іншу захисну систему, здатну забезпечити відсутність контакту між бетоном та алюмінієм (наприклад, фольгову), згідно з рекомендаціями виробника, а після закінчення монтажу та повного застигання бетону рекомендовано пофарбувати у відповідних місцях тим самим матеріалом для герметизації поверхні. Рекомендовано уникати контакту металевих поверхонь між закладеними алюмінієвими деталями і будь-якими сталевими елементами жорсткості.

D.5.4.3 Контакт з деревиною

(1) Деякі консерванти для деревини можуть бути шкідливими для алюмінію. Для використання з алюмінієм без особливих запобіжних заходів, як правило, вважають наступні:

— Креозот; речовини, що містять неіонні органічні біоциди, наприклад пропіконазол, карбендазим, а також консерванти на основі розчинників.

(2) Наступні консерванти рекомендовано використовувати лише у сухих місцях і лише якщо алюмінієва поверхня має значне ізоляційне покриття у місці контакту з обробленим деревом:

— Консерванти, що містять фіксовану мідь; речовини на основі борної кислоти та четвертинних амонієвих сполук.

(3) Наступні консерванти не мають безпосередньо контактувати з алюмінієм:

— фіксуючі неорганічні речовини, що містять сполуки міді, а також речовини, що містять кислотні й лужні компоненти ($\text{pH} < 5$ та $\text{pH} > 8$).

(4) Недостатньо витриманий дуб, каштан, західний червоний кедр можуть спричинити шкоду алюмінію, особливо якщо вони контактують із кріпленнями.

D.5.4.4 Контакт з ґрунтом

Металеві поверхні рекомендовано вкривати принаймні двома шарами бітумної фарби, гарячого бітуму або еквівалентного покриття. Для попередження механічного пошкодження покриття, дозволено використати додаткове обмотування стрічкою.

D.5.4.5 Занурення у воду

(1) Там, де алюмінієві деталі занурені у прісну або морську воду, в тому числі забруднену, рекомендовано застосовувати алюміній ступеня довговічності А, з кріпильними деталями з алюмінію або нержавкої сталі, або ж з'єднані зварюванням. У таблицях D.2 та D.3 наведено вимоги щодо заходів захисту у випадку занурення у прісну та морську воду.

(2) Рекомендовано отримати дані щодо вмісту кисню, показника рН, вмісту хімічних елементів та металів, особливо міді, а також інтенсивності руху води, оскільки усі ці чинники можуть впливати на необхідний ступінь захисту від корозії.

D.5.4.6 Контакт з хімічними речовинами, застосовними у будівельній промисловості

(1) Засоби для захисту від грибків та плісняви можуть містити сполуки таких металів, як мідь, ртуть, олово та свинець, які за умов підвищеної вологості можуть викликати корозію алюмінію. Такий шкідливий вплив можливо попередити захистом контактних поверхонь від потрапляння розчинених чи інфільтрованих хімікатів.

(2) Деякі засоби для миття ($\text{pH} < 5$ та $\text{pH} > 8$) можуть впливати на алюмінієву поверхню. Якщо для чищення алюмінію чи інших матеріалів споруди використовують такі хімікати, рекомендовано вживати заходів для захисту алюмінію від їх впливу. Зазвичай достатнім є своєчасне промивання водою, тоді як у інших ситуаціях можуть знадобитися

тимчасові заходи щодо захисту алюмінію від контакту з мийними засобами.

D.5.4.7 Контакт з ізоляційними матеріалами, застосовними у будівельній промисловості

Такі матеріали, як скловолокно, поліуретан та різні ізоляційні вироби можуть містити шкідливі для алюмінію корозійні речовини, що виділяються під дією вологи. Ізоляційні матеріали рекомендовано випробувати на сумісність з алюмінієм в умовах підвищеної вологості та солоності. У випадку виникнення сумнівів, рекомендовано нанести герметик на відповідні алюмінієві поверхні.

D.5.4.8 Контакт із рідинами та сипучими речовинами, використовуваними в резервуарах, бункерах та силосах

Використання алюмінію та його сплавів для резервуарів, бункерів та силосів обумовлене їх хорошою корозійною стійкістю і може бути економічною альтернативою конструкціям з вуглецевої або нержавкої сталі з покриттям. Матеріали, які в основному використовуються в цій галузі, належать до серії сплавів 5xxx. Однак для забезпечення найкращої довговічності і одночасному скороченні витрат на технічне обслуговування до мінімуму, під час вибору матеріалу, що безпосередньо контактує з рідиною або сипучими речовинами, а також покриття (за необхідності), рекомендовано приділяти належну увагу як фізичним, так і хімічним властивостям таких матеріалів. За необхідності може бути передбачена консультація фахівця з корозії.

Таблиця D.3 — Додаткові заходи щодо захисту поверхонь контакту між металами для попередження щілинної та гальванічної корозії^{a, b, c, d, e}

Метал, з'єднаний з алюмінієм	Матеріал болтів або заклепок	Захист відповідно до умов навколишнього середовища											
		Атмосферні умови								Підводні умови			
		C1-C3		C4		C5		CX		Im1		Im2	
(M)	(B/R)	M	B/R	M	B/R	M	B/R	M	B/R	M	B/R	M	B/R

Алюміній	Алюміній	O O/X	0	O/X X	0 (1)	O/X X	(1)	X	1	X	1	X	1
	Нержавка сталь		0		0 (1)		(1)		1		1		1 2
	Сталевий лист з цинковим покриттям		0 (1) (2)		1 (2)		(1) (2)		1 (2)		1 2		1 2
Сталевий лист з цинковим покриттям Фарбована сталь	Алюміній	O O/X	0	O/X X	0 (1)	O/X X	(1)	X	1	X	1	Y (Z)	1 2
	Нержавка сталь		0		0 (1)		(1)		1		1 (2)		1 2
	Сталевий лист з цинковим покриттям		0 (2)		1 (2)		1 (2)		1 (2)		1 2		1 2
Нержавка сталь	Алюміній	O O/X	0	O/X X	0 (1)	O/X X	1 (1)	X	1	Y	1 2	Y (Z)	1 2
	Нержавка сталь		0		0 (1)		0 (1)		1		1		1 2
	Сталевий лист з цинковим покриттям		0 (2)		1 (2)		1 (2)		1 (2)		1 2		1 2

Умовні позначки:

M = метал

B = болт

R = заклепка

a Захист алюмінієвих конструкцій рекомендовано підбирати за таблицею D.2.

b Елементи у дужках рекомендовано оцінювати з урахуванням розділу D.5.2.

c Інформацію щодо захисту листового матеріалу, застосовного для покрівлі або сайдингу, наведено у EN 508-2.

d Щодо нержавкої сталі див. також EN 1993-1-4.

e Рекомендовані види обробки контактних поверхонь будівельних конструкцій:

Процедура 0

Обробка у даних умовах зазвичай не потрібна.

Процедура 0/X

Обробка залежить від стану конструкцій. Невеликі контактні площі та області, що швидко висихають, можна монтувати без обробки (див. процедуру X).

Продовження таблиці D.3

Процедура X

Обидві контактні поверхні рекомендовано монтувати так, щоб між ними не було щілин для проникнення води. Поверхні контакту, включно з отворами для болтів та заклепок, перед монтажем рекомендовано зачистити, підготувати і нанести один шар ґрунтовки (див. EN 1090-3), або ізоляційного матеріалу, на площі, більшій за область контакту. Поверхні рекомендовано притиснути одну до одної, поки ґрунтовка не висохне. Під час

монтажу пофарбованих або вкритих захисним шаром елементів ізоляція контактних поверхонь може виявитися непотрібною, в залежності від складу використаної фарби або системи захисту, передбаченого терміну експлуатації і навколишнього середовища.

Процедура Y

Для уникнення металевого контакту між матеріалами рекомендовано забезпечити повну електричну ізоляцію між двома металами та всіма кріпильними деталями, помістивши між ними неабсорбуючі та неелектропровідні стрічки, шайби та прокладки. Може знадобитися застосування додаткових покриттів або герметиків.

Процедура Z

Якщо потрібна процедура Y і водночас передача навантажень через місце контакту заважає застосуванню ізоляційного матеріалу, вузол рекомендовано змонтувати без використання ізоляційного матеріалу, а потім у зібраному вигляді повністю заізолювати ззовні, щоб унеможливити проникнення вологи до елементів вузла. Процедури ізоляції мають бути узгоджені між зацікавленими сторонами.

Обробка болтів та заклепок

Процедура 0

Додаткова обробка у даних умовах зазвичай не потрібна.

Процедура 1

Для ізоляції вузлового з'єднання і недопущення вологи між елементами та кріпильними деталями рекомендовано застосовувати шайби з інертного матеріалу або мастику-герметик для ущільнення швів між головками болтів, гайками, шайбами, гайками та з'єднуваними матеріалами. Рекомендовано прослідкувати, щоб наявність шайб або герметика не впливала негативно на передачу зусиль через вузол.

Кінець таблиці D.3

Процедура 2

(1) Якщо вузол не пофарбований чи не вкритий захисним покриттям згідно з іншими вимогами, то рекомендовано захистити принаймні одним шаром ґрунтовки головки болтів, гайки та заклепки, а також навколишні зони матеріалу, як вказано нижче(див. EN 1090-3), з особливою увагою ізолюючи всі щілини. (2) У випадку застосування оцинкованих болтів або заклепок, захищати алюмінієву частину вузла не обов'язково.

(3) У випадку застосування алюмінієвих болтів або заклепок захищати алюмінієву частину вузла не обов'язково. (4) У випадку застосування болтів з нержавкої сталі у сполученні з алюмінієвими та оцинкованими сталевими деталями, то навколишня оцинкована зона вузла має бути захищена аналогічним чином.

Подальша обробка

Процедура а

За відсутності фарбування згідно з іншими вимогами, може виникнути потреба у захисті навколишніх металевих поверхонь навколо зони контакту

відповідним лакофарбовим покриттям для запобігання накопиченню бруду або затриманню води.

Процедура z

Може виявитися необхідним додатковий захист оцинкованих конструкційних елементів у цілому.

ДОДАТОК Е
(обов'язковий)
ВИЛИВКИ

Е.1 Застосування цього додатка

Цей обов'язковий додаток містить додаткові положення до 5.2.1, щодо асортименту матеріалів для конструкцій, виготовлених з алюмінієвих сплавів, і до 5.2.3, щодо властивостей матеріалів для ливарних алюмінієвих сплавів. Див. також С.5 щодо ливарних виробів.

Е.2 Сфера та область застосування

(1) Цей нормативний додаток поширюється на виливки.

Е.3 Загальні проєктні положення для ливарних виробів

Е.3.1 Загальні проєктні положення

(1) Спеціальні правила розрахунку, наведені у цьому додатку, рекомендовано застосовувати до відлитих елементів, в яких не може відбутися згин через геометрію та/або застосовані дії. Для литих елементів не рекомендовані гострі кути, їх не рекомендовано формувати згинанням, зварюванням або механічною обробкою. Для литих елементів дозволено використовувати лише пружний розрахунок. Додаток R і розрахункові формули, наведені в пунктах 8.3 — +8.8 та розділі 10, не можуть бути застосовані до литих елементів. Пункти 8.1 і 8.2 не застосовні до проєктування перерізів нетто.

Примітка. Вказівки, що містяться в додатках H—M і P, Q, не поширюються на литі елементи.

(2) Розрахунок несних конструкційних литих виробів за станом обробки чи способом лиття, наведених у таблиці 5.8, рекомендовано виконувати на основі лінійно-пружної моделі через порівняння

еквівалентного розрахункового напруження формули (Е.1)

$$\sigma_{eq,Ed} = \sqrt{\sigma_{x,Ed}^2 + \sigma_{y,Ed}^2 - \sigma_{x,Ed}\sigma_{y,Ed} + 3\tau_{xy,Ed}^2} \quad (E.1)$$

з розрахунковою міцністю σ_{Rd} , де σ_{Rd} — менше з $f_{oc}/\gamma_{Mo,c}$ та $f_{uc}/\gamma_{Mu,c}$.

Примітка. Значення часткових коефіцієнтів: $\gamma_{Mo,c} = 1,1$ та $\gamma_{Mu,c} = 2,0$, якщо в національному додатку не вказано інше.

(3) Розрахунковий опір зминанню болтів і заклепок рекомендовано приймати як менше значення з обчислених за формулами (Е.2) і (Е.3), на основі таблиці 10.3.

$$F_{b,Rd} = \frac{2,5f_{oc}dt}{\gamma_{Mo,c}} \quad (E.2)$$

$$F_{b,Rd} = \frac{2,5f_{uc}dt}{\gamma_{Mu,c}} \quad (E.3)$$

якщо на частину елемента, навпроти місця з'єднання болта і елемента, не діють напруження. В іншому випадку розрахунок рекомендовано виконати згідно з параграфом (2).

Примітка. Значення часткових коефіцієнтів: $\gamma_{Mo,c} = 1,1$ та $\gamma_{Mu,c} = 2,0$, якщо в національному додатку не вказано інше.

(4) Технічне завдання на литу деталь має містити наступну інформацію:

а) області напружень розтягу з використанням більше ніж 70 % розрахункового опору (області Н);

б) області напружень розтягу з використанням від 70 % до 30 % розрахункового опору (області М);

с) області напружень розтягу з використанням від 100 % до 30 % розрахункового опору (області М);

д) області з використанням розрахункового опору менше ніж на 30 % (області Н);

е) місце і напрямок, у яких рекомендовано брати зразки матеріалу для випробувань. Місце має бути ідентичним або наближеним до того, у якому досягнуто максимальне напруження. Якщо є кілька областей з високими напруженнями, вибирати зразки також рекомендовано у кількох областях;

ф) усі випробування, які потрібно провести, та будь-які відхили умов випробувань від документа EN 1706, методика та вимоги до кваліфікаційних випробувань;

г) необхідні мінімальні значення міцності та видовження зразка.

Е.3.2 Вимоги до якості, випробувань та документації з контролю якості

(1) Для аналізу механічних властивостей кожної області, вказаної як область високих напружень, з партії виробів рекомендовано взяти два випробні зразки. У деяких випадках до областей, у яких необхідні випробування, рекомендовано зараховувати також зони з умовами, важкими для виливання. Результати випробувань на границю міцності та границю текучості мають бути не меншими, ніж значення таблиці 5.8. На відміну від таблиці 5.8, подовження $A_{5,65}\sqrt{A_0}$ має бути не меншим ніж 2 %.

Якщо ливарні роботи виконують за допомогою піщаної ливарної форми, ливарну деталь дозволено виготовити товщою у місцях найвищих напружень або там, де братимуть випробні зразки, щоб їх можливо було відібрати без руйнування виливка.

(2) Діють наступні вимоги до внутрішніх дефектів:

а) У ливарних деталях не має бути тріщин.

б) Рекомендовано дотримуватися наступних граничних значень для пористості:

— області H: 4 %

— області M: 6 %

— області N: 8 %

Діаметр пор має бути меншим ніж 2 мм.

с) Кожна ливарна деталь має підлягати капілярній дефектоскопії на наявність зовнішніх тріщин та просвічуванню на наявність внутрішніх дефектів із використанням електронно-оптичного підсилювача зображення, якщо не вказано інше. Обсяг випробувань дозволено зменшити, якщо на ливарні деталі діє лише напруження стиску. Методику випробувань регламентовано у наступних нормативних документах: EN ISO 3452-1 разом із EN 571 із капілярної дефектоскопії, а також EN 13068 (радіоізотопна дефектоскопія) або EN 12681 (рентгенівська дефектоскопія) разом із EN ISO 5579 із радіаційної дефектоскопії.

(3) Методики випробувань та деталі поставляння, на які розповсюджуються вимоги до якості згідно з EN 1559-1 та EN 1559-4, рекомендовано узгоджувати і надавати у письмовому вигляді, у формі технічного завдання на випробування. Ремонтне зварювання дозволено лише для ліквідації незначних дефектів лиття. Виробник має інформувати замовника щодо будь-якої потреби в такому ремонті та про його результат.

(4) Постачальник ливарних виробів має підтвердити відповідність властивостей матеріалу вимогам і виконання усіх випробувань, необхідних для задоволення поставлених умов, свідоцтвом про проведення технічного огляду за формою 3.1 згідно з EN 10204.

ДОДАТОК F

(довідковий)

АНАЛІТИЧНІ МОДЕЛІ ЗАЛЕЖНОСТІ МІЖ НАПРУЖЕННЯМ І ДЕФОРМАЦІЄЮ

F.1 Застосування цього додатка

(1) Цей довідковий додаток містить додаткові рекомендації щодо моделювання залежності між напруженням і деформацією для подальшого використання у розрахунку конструкцій, див. також додаток В.

Примітка. Національний вибір щодо застосування цього довідкового додатка наведено в національному додатку. Цей додаток можна застосовувати, за умови, що національний додаток не містить інформації щодо його застосування.

F.2 Сфера та область застосування

(1) У цьому довідковому додатку наведено ідеалізовані фізико-математичні моделі співвідношень між напруженнями та деформаціями у алюмінієвих сплавах. Ці моделі розроблено з метою врахування реальної пружно-пластичної роботи таких матеріалів зі зміцненням.

(2) Запропоновані моделі мають різний рівень складності залежно від необхідної точності розрахунків.

Примітка. Позначки у додатку F належать до конкретних моделей і не обов'язково узгоджені з позначками 3.2. цього стандарту.

F.3 Аналітичні моделі

F.3.1 Загальні положення

(1) Аналітичний опис співвідношення між напруженнями σ та деформаціями ε у тому чи іншому алюмінієвому сплаві забезпечує одна з наступних моделей:

— кускові моделі

— неперервні моделі

(2) Числові параметри, що описують кожну модель, рекомендовано калібрувати за фактичними механічними властивостями матеріалу. Останні рекомендовано отримати відповідним випробуванням на розтяг або взяти для них номінальні значення, наведені для кожного сплаву у розділі 5.

F.3.2 Кусково-лінійні моделі

F.3.2.1 Загальні положення

(1) Ці моделі ґрунтуються на допущенні, що закон $\sigma - \varepsilon$ для матеріалу описано ламаною лінією, окремі сегменти якої представляють пружну, непружну і пластичну області відповідно. Залежно від мети аналізу, а також від типу сплаву, в моделі рекомендовано враховувати деформаційне зміцнення.

(2) Згідно з цим допущенням характеризувати діаграму напружень-деформацій дозволено такими моделями:

- білінійна модель зі зміцненням або без нього (рисунок F.1);
- трилінійна модель зі зміцненням або без нього (рисунок F.2).

F.3.2.2 Білінійна модель

(1) Якщо застосовано білінійну модель зі зміцненням (рисунок F.1 а), то дозволено застосовувати співвідношення (F.1) та (F.2):

$$\sigma = E\varepsilon \text{ для } 0 < \varepsilon \leq \varepsilon_e \quad (\text{F.1})$$

$$\sigma = f_e + E_1(\varepsilon - \varepsilon_e) \text{ для } \varepsilon_e < \varepsilon \leq \varepsilon_{\text{uni}}, \quad (\text{F.2})$$

де

f_e — умовна границя пружності

ε_e — деформація, що відповідає напруженню f_e

ε_{uni} — деформація, що відповідає напруженню f_{max} (див. F.3.1.2(3))

E — номінальне значення модуля пружності (див. розділ 5).

E_1 — модуль деформаційного зміцнення.

(2) Якщо вибрано ідеальну пружно-пластичну модель (рисунок F.1 b), то матеріал залишається ідеально пружним до досягнення граничного пружного напруження f_e . Пластичні деформації без зміцнення ($E_1 = 0$) рекомендовано розглядати до значення ε_{uni} .

(3) За відсутності більш точних значень вищезгаданих параметрів у обох моделях на рисунках F.1 а) та b) дозволено приймати наступні значення:

f_e — номінальне значення f_o (див. розділ 5);

f_{max} — номінальне значення f_u (див. розділ 5);

$\varepsilon_{uni} = 0,5\varepsilon_u$ (приблизно);

ε_u — характеристичне значення видовження під час розриву (гранична деформація). Значення A_{50} у таблиці 5.3 та A у таблиці 5.4 дозволено застосовувати як ε_u

$$\varepsilon_e = f_o/E$$

$$E_1 = (f_u - f_o)/(\varepsilon_{uni} - \varepsilon_e)$$

F.3.2.3 Трилінійна модель

(1) У випадку використання трилінійної моделі зі зміцненням (рисунок F.2a), дозволено приймати наступні співвідношення:

$$\sigma = E\varepsilon \text{ для } 0 < \varepsilon \leq \varepsilon_p \quad (F.3)$$

$$\sigma = f_p + E_1(\varepsilon - \varepsilon_p) \text{ для } \varepsilon_p < \varepsilon \leq \varepsilon_e \quad (F.4)$$

$$\sigma = f_e + E_2(\varepsilon - \varepsilon_e) \text{ for } \varepsilon_e < \varepsilon \leq \varepsilon_{uni} , \quad (F.5)$$

де

f_p — стандартна пружна межа пропорційності (див. F.3.1.3(3));

f_e — умовна границя пружності (див. F.3.1.3(3));

ε_p — деформація, що відповідає напруженню f_p ;

ε_e — деформація, що відповідає напруженню f_e ;

ε_{uni} — деформація, що відповідає напруженню f_{max} ;

E — номінальне значення модуля пружності (див. розділ 5);

E_1 — перший модуль деформаційного зміцнення;

E_2 — другий модуль деформаційного зміцнення.

(2) У випадку застосування ідеально пластичної моделі (Рисунок F.2b), рекомендовано розглядати пластичну деформацію без зміцнення ($E_2 = 0$) у діапазоні значень від ε_e до ε_{uni} .

(3) За відсутності більш точних значень вищезгаданих параметрів у обох моделях на рисунках F.2 а) та б) дозволено приймати наступні значення:

$$f_p = f_{0,01};$$

f_e — номінальне значення f_o (див. розділ 5);

f_{max} якщо номінальне значення f_u (див. Рисунок F.2a) і розділ 5) або f_e (див. рисунок F.2 b));

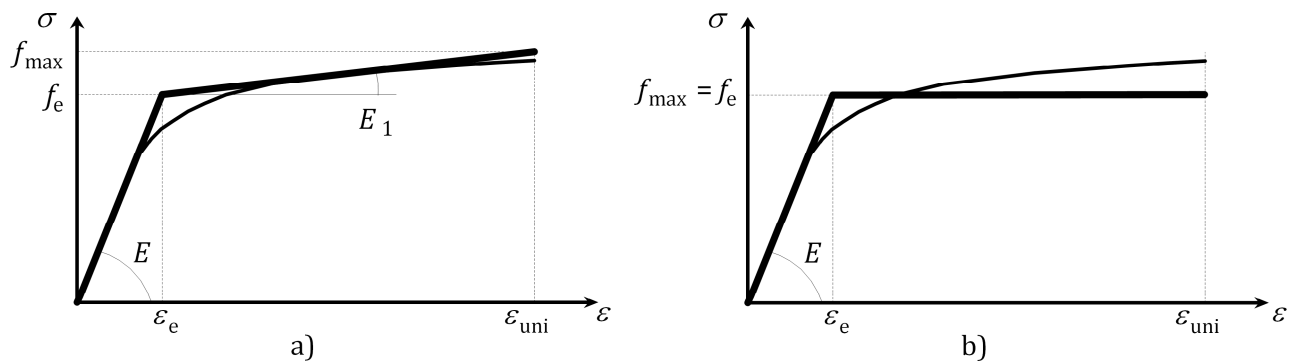
$$c = 0,5\varepsilon_u \text{ (приблизно);}$$

ε_u — характеристичне значення видовження під час розриву (гранична деформація). Значення A_{50} у таблиці 5.3 та A у таблиці 5.4 дозволено застосовувати як ε_u ;

$$\varepsilon_p = f_{0,01}/E;$$

$$E_1 = (f_e - f_p)/(\varepsilon_e - \varepsilon_p);$$

$$E_2 = (f_{max} - f_e)/(\varepsilon_{uni} - \varepsilon_e) \text{ на рисунку F.2 а).}$$



Умовні позначки:

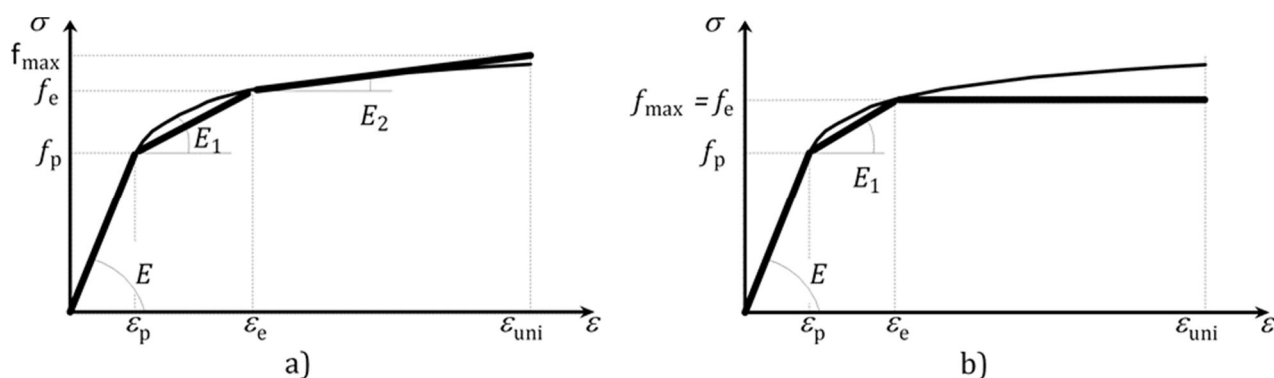
f_e — умовна границя пружності (див. F.3.1.2(3));

$f_{\max}$ — номінальне значення f_u (див. рисунок F.1a і пункт (5)) або f_e (див. рисунок F.1b);

ε_{uni} — деформація, що відповідає напруженню $f_{\max}$;

E_1 — перший модуль деформаційного зміцнення.

Рисунок F.1 — Білінійна модель



Умовні позначки:

f_p — стандартна пружна межа пропорційності див. F.3.1.3(3))

f_e — умовна границя пружності (див. F.3.1.3(3))

$f_{\max}$ — номінальне значення f_u (див. рисунок F.2a і пункт (5)) або f_e (див. рисунок F.2b)

ε_{uni} — деформація, що відповідає напруженню $f_{\max}$

ε_p — деформація, що відповідає напруженню f_p

E_1 — перший модуль деформаційного зміцнення

E_2 — другий модуль деформаційного зміцнення

Рисунок F.2 — Трилінійна модель

F.3.3 Неперервні моделі

F.3.3.1 Загальні положення

(1) Ці моделі ґрунтуються на допущенні, що закон $\sigma - \varepsilon$ для матеріалу описано неперервною залежністю, що представляє пружну, непружну і пластичну області відповідно. Такі моделі зазвичай здатні повністю описати роботу матеріалу у процесі зміцнення.

(2) Згідно з цим допущенням характеризувати діаграму напружень-деформацій дозволено такими моделями:

- неперервні моделі форми $\sigma = \sigma(\varepsilon)$;
- неперервні моделі форми $\varepsilon = \varepsilon(\sigma)$.

F.3.3.2 Неперервні моделі форми $\sigma = \sigma(\varepsilon)$

(1) Якщо приймають закон у формі $\sigma = \sigma(\varepsilon)$, то зручно виділити на графіку три окремі ділянки, визначені наступним чином (див. рисунок F.3(a)):

- ділянка 1: пружна робота;
- ділянка 2: непружна робота;
- ділянка 3: деформаційне зміцнення.

(2) На кожній ділянці роботу матеріалу описано своїм співвідношенням напруження – деформація, які забезпечують неперервність на кінцях ділянок. Згідно з цим допущенням характеристики залежності напруження – деформація дозволено виразити через формули (F.6), (F.7) та (F.8) наступним чином (рисунок F.3(b)):

Ділянка 1: для $0 \leq \varepsilon \leq \varepsilon_p$ з $\varepsilon_p = 0,5\bar{\varepsilon}_e$ і $\bar{\varepsilon}_e = f_e/E$

$$\sigma = E\varepsilon \quad (F.6)$$

Ділянка 2; для $\varepsilon_p < \varepsilon \leq 1,5\bar{\varepsilon}_e$

$$\sigma = f_e \left(-0,2 + 1,85 \frac{\varepsilon}{\bar{\varepsilon}_e} - \left(\frac{\varepsilon}{\bar{\varepsilon}_e} \right)^2 + 0,2 \left(\frac{\varepsilon}{\bar{\varepsilon}_e} \right)^3 \right) \quad (F.7)$$

Ділянка 3: для $1,5\bar{\varepsilon}_e < \varepsilon \leq \varepsilon_{uni}$

$$\sigma = f_e \left(\frac{0,85f_{max}}{f_e} - \left(\frac{1,5f_o}{\varepsilon E} \right)^{0,25} \left(\frac{0,85f_{max}}{f_e} - 1 \right) \right) + \frac{E}{100} \left(\varepsilon - \frac{1,5f_o}{E} \right), \quad (F.8)$$

де

f_e — умовна границя пружності;

f_{max} — зусилля розтягу у верхній точці кривої $\sigma - \varepsilon$;

ε_e — деформація, що відповідає напруженню f_e ($\varepsilon_e = 1,5\bar{\varepsilon}_e$);

ε_{uni} — деформація, що відповідає напруженню f_{max} ;

E — номінальне значення модуля пружності (див. розділ 5).

(3) За відсутності більш точних даних щодо перелічених вище параметрів дозволено приймати їх у такому вигляді:

f_e — номінальне значення f_o (див. розділ 5);

f_{max} — номінальне значення f_u (див. розділ 5);

$\varepsilon_{uni} = 0,5\varepsilon_u$ (приблизно);

ε_u — характеристичне значення видовження під час розриву (гранична деформація) Значення A_{50} у таблиці 5.3 та A у таблиці 5.4 дозволено застосовувати як ε_u ;

E — номінальне значення модуля пружності (див. розділ 5).

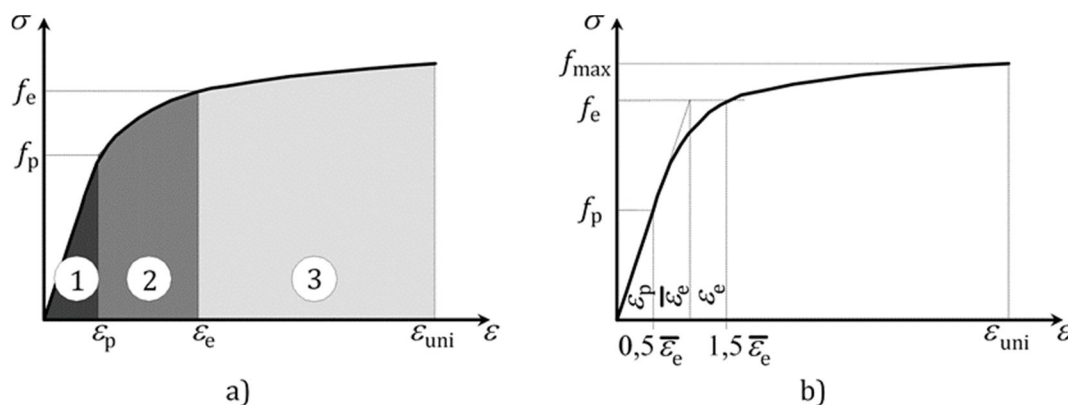


Рисунок F.3 — Неперервні моделі форми $\sigma = \sigma(\varepsilon)$

F.3.3.3 Неперервні моделі форми $\sigma = \sigma(\varepsilon)$

(1) Для матеріалів з нелінійною механічною поведінкою, таких як

алюмінієві сплави, дозволено застосовувати модель Рамберга – Осгуда, що описує діаграму напружень-деформацій у формі $\varepsilon = \varepsilon(\sigma)$. Таку модель дозволено представити у загальному вигляді формулою (F.9) (див. рисунок F.4a)):

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} + \varepsilon_{0,e} \left(\frac{\sigma}{f_e} \right)^n \quad (\text{F. 9})$$

f_e — умовна границя пружності;

$\varepsilon_{0,e}$ — залишкова деформація, що відповідає напруженню f_e ;

n — показник ступеня, що характеризує зміцнення на кривій.

(2) Для обчислення показника ступеня n , необхідно вибрати будь-яке друге характерне напруження f_x на додаток до умовної границі пружності f_e . Приймаємо (рисунок F.4 b)):

f_x — друге характерне напруження;

$\varepsilon_{0,x}$ — залишкова деформація, що відповідає напруженню f_x .

Показник n виражений через формулу (F.10):

$$n = \frac{\ln(\varepsilon_{0,e}/\varepsilon_{0,x})}{\ln(f_e/f_x)} \quad (\text{F. 10})$$

(3) За умовну границю пружності дозволено прийняти границю текучості f_0 , визначену методом зміщення від початкової лінії напруження-деформації на 0,2 %, тобто:

$$f_e = f_0$$

$$\varepsilon_{0,e} = 0,002,$$

тоді формула моделі матиме вигляд (F.11):

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} + 0,002 \left(\frac{\sigma}{f_0} \right)^n \text{ і } n = \frac{\ln(0,002/\varepsilon_{0,x})}{\ln(f_0/f_x)} \quad (\text{F. 11})$$

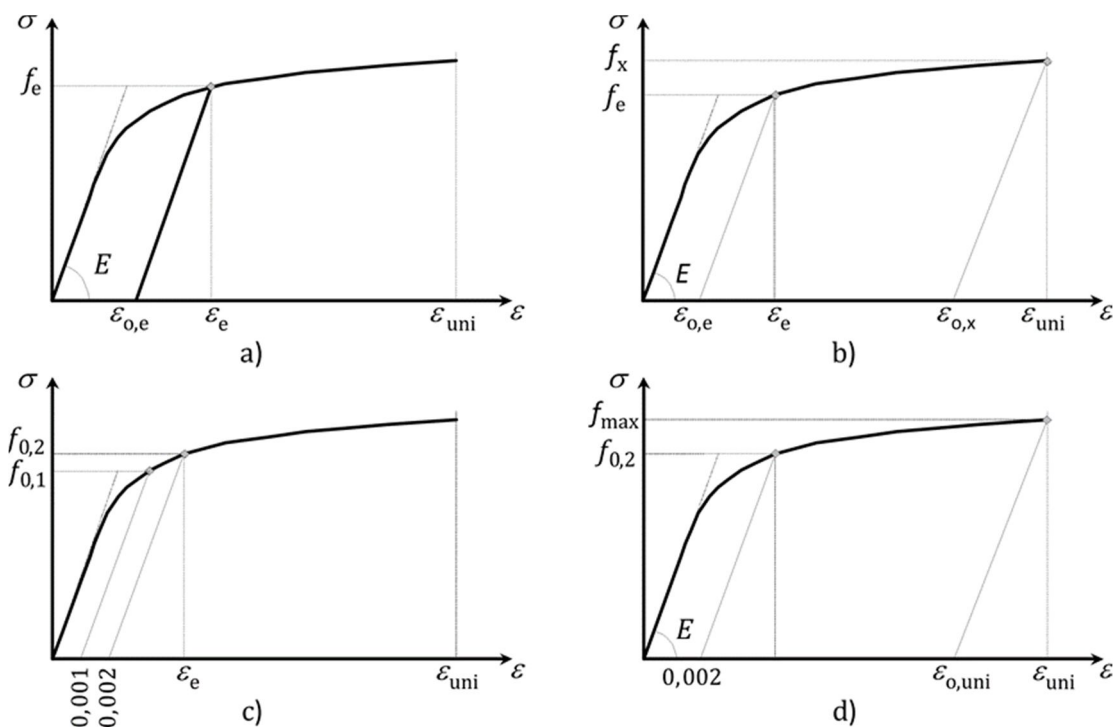


Рисунок F.4 — Неперервні моделі форми $\varepsilon = \varepsilon(\sigma)$

(4) Вибір другої характерної точки ($f_x - \varepsilon_{o,x}$) має ґрунтуватися на діапазоні деформацій, що відповідає досліджуваному явищу. Дозволено розглянути наступні граничні випадки:

а) якщо розрахунок стосується діапазону пружних деформацій, другу характерну точку дозволено прийняти як границю текучості, визначену методом зміщення від початкової лінії напруження-деформації на 0,1 % (див. рисунок F.4c), що дає:

$$f_x = f_{0,1}$$

$$\varepsilon_{o,x} = 0,001$$

і тоді формула (F.12),

$$n = \frac{\ln 2}{\ln(f_o/f_{0,1})} \quad (\text{F.12})$$

б) якщо розрахунок обіймає діапазон пластичних деформацій, другу характерну точку дозволено прийняти у вигляді напруження розтягу у верхній точці кривої $\sigma - \varepsilon$ (див. рисунок F.4d), що дає:

$$f_x = f_{\max}$$

$$\varepsilon_{o,x} = \varepsilon_{o,\text{uni}} \text{ — залишкова деформація, що відповідає напруженню}$$

$f_{\max}$ і тоді формула (F.13),

$$n = \frac{\ln(0,002/\varepsilon_{o,uni})}{\ln(f_o/f_{\max})} \quad (F.13)$$

(5) На основі достатнього обсягу випробувань дозволено прийняти наступні значення формул (F.14) — (F.18) замість тих, які було наведено у F.3.2.3(4):

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} + 0,002 \left(\frac{\sigma}{f_o} \right)^n, \quad (F.14)$$

де:

а) пружний діапазон ($f_x = f_p$, $\varepsilon_p = 0,000\ 001$)

$$n = \frac{\ln(0,000001/0,002)}{\ln(f_p/f_o)}, \quad (F.15)$$

де границя пропорційності f_p залежить лише від значення f_o 0,2 % границі міцності:

$$f_p = f_{0,2} - 2\sqrt{10f_{0,2}(\text{Н/мм}^2)}, \text{ якщо } f_{0,2} > 160 \text{ Н/мм}^2 \quad (F.16)$$

$$f_p = f_{0,2}/2, \text{ якщо } f_{0,2} \leq 160 \text{ Н/мм}^2 \quad (F.17)$$

б) пластичний діапазон ($f_x = f_u$)

$$n = n_p = \frac{\ln(0,002/\varepsilon_{uni,max})}{\ln(f_o/f_u)}, \quad (F.18)$$

де f_o і f_u умовні значення міцності з таблиць 5.3 і 5.4 та $\varepsilon_{uni,max}$ — відповідне значення для верхньої межі (максимальне значення) рівномірного подовження (див. F.4).

F.4 Наближене обчислення $\varepsilon_{uni,max}$

На основі даних випробувань матеріалів на виробництві, що містять велику і репрезентативну кількість сплавів і станів обробки, можна визначити емпіричну формулу для оцінки верхньої межі ε_{uni} ($= \varepsilon_{uni,max}$), як функції f_o , що не може бути перевищена для жодного сплаву і стану обробки. Це співвідношення задане формулами (F. 19) і (F. 20):

$$\varepsilon_{\text{uni,max}} = 0,30 - 0,22 \frac{f_o (\text{Н/мм}^2)}{400} \text{ if } f_o < 400 \text{ Н/мм}^2 \quad (\text{F. 19})$$

$$\varepsilon_{\text{uni,max}} = 0,08, \text{ якщо } f_o \geq 400 \text{ Н/мм}^2 \quad (\text{F. 20})$$

Примітка. Цю інформацію можливо використати для аналітичного продовження діаграми напружень — деформацій за межу пружності для потреб розрахунку з урахуванням пластичності, але вона непридатна щодо виявлення реальної пластичності матеріалу. Для особливих потреб проєктування може виявитися вигідним, а також можливим для певних сплавів і станів обробки знайти конкретні дані для $\varepsilon_{\text{uni,max}}$. Однак це можливо лише у співпраці з виробником розглянутого матеріалу.

ДОДАТОК G

(довідковий)

ГЕОМЕТРИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ПОПЕРЕЧНИХ ПЕРЕРІЗІВ

G.1 Застосування цього додатка

(1) Цей довідковий додаток містить додаткові вказівки до наведених у розділі 8.2.

Примітка. Національний вибір щодо застосування цього довідкового додатка наведено в національному додатку. Цей додаток можна застосовувати, за умови, що національний додаток не містить інформації щодо його застосування.

G.2 Сфера та область застосування

(1) У цьому довідковому додатку наведено формули та таблиці властивостей алюмінієвих поперечних перерізів.

G.3 Константа кручення I_t

(1) Для відкритого тонкостінного перерізу, складеного виключно з плоских пластин незмінної товщини, підсилених кутовими швами та/або потовщеннями (бульбами), значення константи кручення I_t визначають за формулою:

$$I_t = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^{n_r} b_i t_i^3 - 0,105 \sum_{j=1}^{n_e} t_j^4 + \sum_{k=1}^{n_f} \alpha_k D_k^4 + \sum_{l=1}^{n_{fb}} (\beta_l + \delta_l \gamma_l)^4 t_l^4, \quad (G.1)$$

де перша сума відноситься до плоских пластин, другий член враховує вільні кінці пластин без потовщень, а остання сума, відповідно, описує кутові шви та потовщення;

t — товщина плоских частин поперечного перерізу;

β , δ і γ — коефіцієнти урахування кутових швів або потовщень, див. таблицю G.1, випадки 3 — 11;

α і δ — коефіцієнти для кутових швів і D — діаметр вписаного кола, див. таблицю G.1, випадки 1 і 2;

b — ширина плоских частин перерізу, виміряна у габаритах заштрихованої області в таблиці G.1 для плоских частин поперечних перерізів, прилеглих до кутових швів або потовщень;

n_r — кількість прямокутників;

n_e — кількість вільних кінців прямокутників;

n_f — кількість кутових швів згідно з таблицею G.1, випадків 1 і 2;

n_{fb} — кількість кутових швів та потовщень згідно з таблицею G.1, випадки 3 — 11.

(2) Для простого прямокутного поперечного перерізу з будь-яким відношенням $b/t \geq 1$ приймають формулу (G. 2):

$$I_t = \frac{bt^3}{3} \left(1 - 0,63 \frac{t}{b} + 0,052 \frac{t^5}{b^5} \right) \quad (G. 2)$$

(3) Для замкнутих поперечних перерізів I_t наведено на рис.8.

G.4 Момент опору під час кручення W_t

(1) Для тонкостінних виробів відкритого поперечного перерізу з невеликими кутовими швами чи потовщеннями, рекомендовано використовувати формулу (G.22). Для відкритого поперечного перерізу із кутовими швами додайте 0,25 D4 до першої формули в (G.22), де D — діаметр вписаного кола.

G.5 Розташування центра зсуву S

(1) У таблиці G.2 вказано положення центру зсуву для ряду поперечних перерізів. Щодо відкритих тонкостінних поперечних перерізів див. G.6 і G.7. Для поперечного перерізу з будь-якою лінією симетрії, центр зсуву лежить на цій лінії.

G.6 Константа депланації I_w

(1) Значення константи депланації I_w для деяких форм поперечних перерізів дозволено знаходити так:

а) якщо переріз складений виключно з консольних частин, що виходять з одного центра (наприклад, тавр, кутик, хрест), то I_w дозволено консервативно прийняти рівним нулю, або за формулою (G.3), як

$$I_w = \Sigma b^3 t^3 / 36, \quad (G.3)$$

де b — ширина і t — товщина консольних частин поперечного перерізу, див. кутиковий та тавровий перерізи у таблиці G.2.

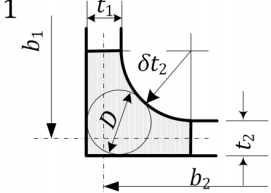
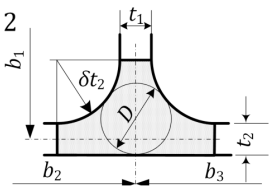
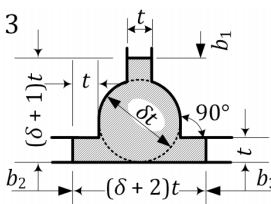
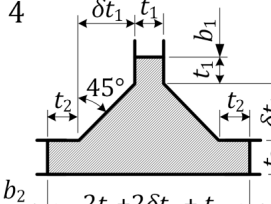
б) для простого прямокутного перерізу з будь-яким співвідношенням $b/t \geq 1$ за формулою (G.4), як

$$I_w = \frac{b^3 t^3}{144} \left(1 - 4,884 \frac{t^2}{b^2} + 4,97 \frac{t^3}{b^3} - 1,067 \frac{t^5}{b^5} \right) \quad (G.4)$$

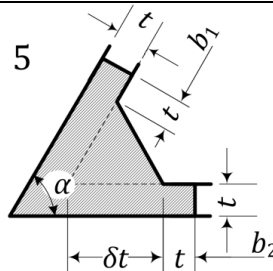
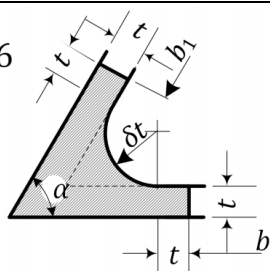
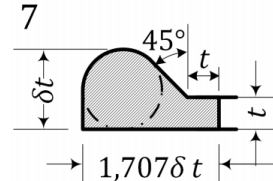
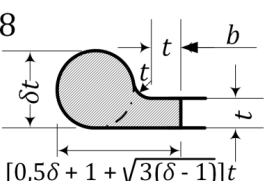
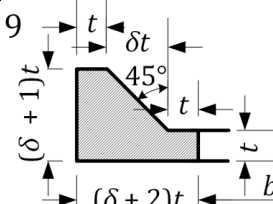
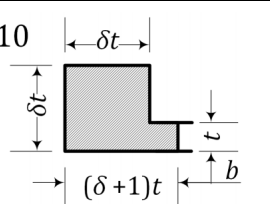
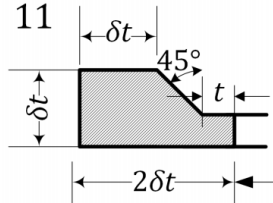
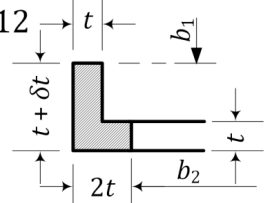
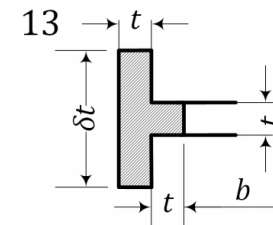
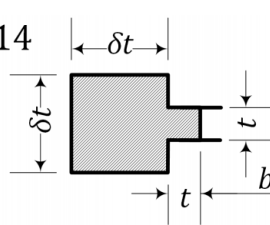
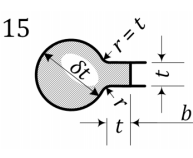
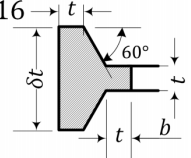
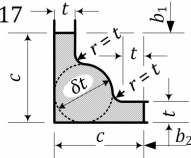
с) для конкретних типів перерізів, наведених у таблиці G.2, значення I_w дозволено розраховувати з використанням наведених там формул.

д) формули для констант перерізу, включно з розташуванням центру зсуву та константи депланації I_w для відкритих тонкостінних поперечних перерізів, наведено у G.7.

Таблиця G.1 — Коефіцієнти констант кручення для деяких видів кутових швів та потовщень

1  $\alpha = (0,07\delta + 0,76)t_1/t_2$ $1 \leq \delta \leq 2$ $1 \leq t_2/t_2 \leq 2$ $D = 2 \left[3\delta + \frac{t_1}{t_2} + 1 - \sqrt{2 \left(2\delta + \frac{t_1}{t_2} \right) (2\delta + 1)} \right] t_2$	2  $\alpha = (0,10\delta + 0,15)t_1/t_2$ $1 \leq \delta \leq 2$ $1 \leq t_2/t_2 \leq 5$ $D = \frac{(\delta + 1)^2 + (\delta + 0,25 t_1/t_2) t_1/t_2}{2\delta + 1} t_2$
3  $\beta = 0,20$ $\gamma = 1,1$ $2 \leq \delta \leq 10$	4  $\beta = 0,94$ $\gamma = 1,54$ $1 \leq \delta \leq 6$ $t_2 > t_1$

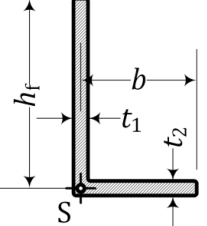
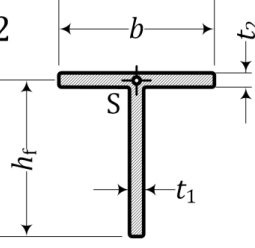
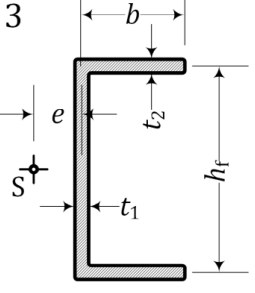
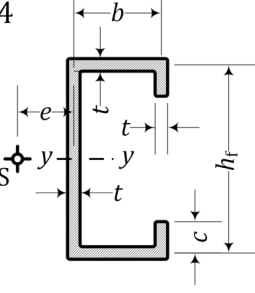
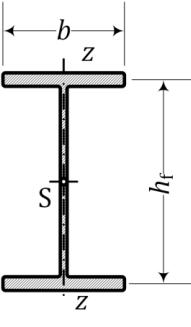
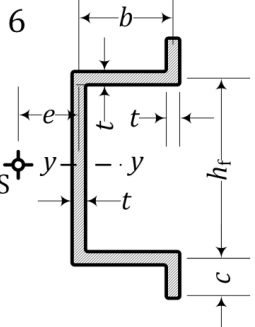
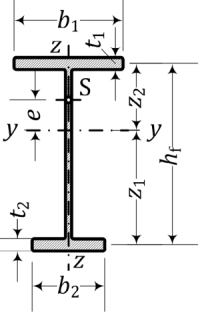
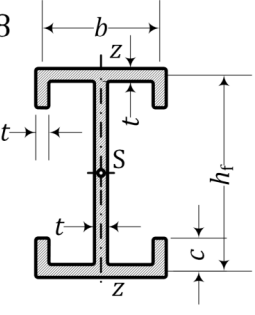
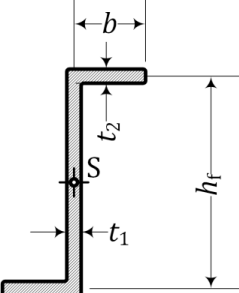
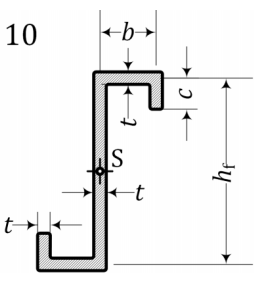
Кінець таблиці G1

5  $\beta = 1,21 - 0,039\alpha^\circ$ $\gamma = 0,25 + 0,0016\alpha^\circ$ $1 \leq \delta \leq 6$ $45^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	6  $\beta = 1,12 - 0,017\alpha^\circ$ $\gamma = 0,94 + 0,0081\alpha^\circ$ $1 \leq \delta \leq 6$ $45^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	
7  $\beta = 0,04$ $\gamma = 0,63$ $1,4 \leq \delta \leq 6$	8  $\beta = 0,26$ $\gamma = 0,51$ $1,4 \leq \delta \leq 6$	
9  $\beta = 0,83$ $\gamma = 0,39$ $1,4 \leq \delta \leq 6$	10  $\beta = 0,13$ $\gamma = 0,58$ $1,4 \leq \delta \leq 6$	
11  $\beta = 0,003$ $\gamma = 0,71$ $2 \leq \delta \leq 6$	12  $\beta = 0,92$ $\gamma = 0,06$ $1 \leq \delta \leq 6$	
13  $\beta = 0,88$ $\gamma = 0,063$ $2 \leq \delta \leq 6$	14  $\beta = 0,12$ $\gamma = 0,58$ $2 \leq \delta \leq 6$	
15  $\beta = 0,16$ $\gamma = 0,52$ $2 \leq \delta \leq 6$	16  $\beta = 0,69$ $\gamma = 0,20$ $1 \leq \delta \leq 6$	17  $\beta = 0,36$ $\gamma = 1,05$ $2 \leq \delta \leq 6$

Національна примітка

У комірках 1 та 2 допущено помилку. Має бути $1 \leq t_1/t_2 \leq 2$

Таблиця G.2 — Розташування центрів зсуву S та константи депланації I_w для деяких тонкостінних перерізів

1  $I_w = \frac{h_f^3 t_1^3 + b^3 t_2^3}{36}$	2  $I_w = \frac{h_f^3 t_1^3}{36} + 2 \frac{(b/2)^3 t_2^3}{36}$
3  $e = \frac{3b^2 t_2}{h_f t_1 + 6b t_2}$ $I_w = \frac{h_f^2 b^3 t_2}{12} \cdot \frac{2h_f t_1 + 3b t_2}{h_f t_1 + 6b t_2}$	4  $e = \frac{h_f^2 b^2 t}{I_y} \left(\frac{1}{4} + \frac{c}{2b} - \frac{2c^3}{3h_f^2 b} \right)$ $I_w = \frac{b^2 t}{6} (4c^3 + 6h_f c^2 + 3h_f^2 c + h_f^2 b) - e^2 I_y$
5  $I_w = \frac{h_f^2 I_z}{4}$	6  $e = \frac{h_f^2 b^2 t}{I_y} \left(\frac{1}{4} + \frac{c}{2b} - \frac{2c^3}{3h_f^2 b} \right)$ $I_w = \frac{b^2 t}{6} (4c^3 - 6h_f c^2 + 3h_f^2 c + h_f^2 b) - e^2 I_y$
7  $e = \frac{z_1 I_1 - z_2 I_2}{I_1 + I_2}$ $I_w = \frac{h_f^2 I_1 I_2}{I_1 + I_2}, \text{ де}$ $I_1 = \frac{1}{12} b_1^3 t_1$ $I_2 = \frac{1}{12} b_2^3 t_2$	8  $I_w = \frac{h_f^2 I_z}{4} + \frac{c^2 b^2 t}{6} (3h_f + 2c)$
9  $I_w = \frac{h_f^2 b^3 t_2}{12} \cdot \frac{2h_f t_1 + b t_2}{h_f t_1 + 2b t_2}$	10  $I_w = \frac{b^2 t}{12(2b + h_f + 2c)} \times$ $\times (h_f^2 (b^2 + 2bh_f + 4bc + 6h_f c) + 4c^2 (3bh_f + 3h_f^2 + 4bc) + 2h_f c + c^2))$

G.7 Характеристики відкритих тонкостінних перерізів

(1) Постійні поперечного перерізу для відкритих тонкостінних поперечних перерізів (див. рисунок G. 1) дозволено визначати за наступною процедурою:

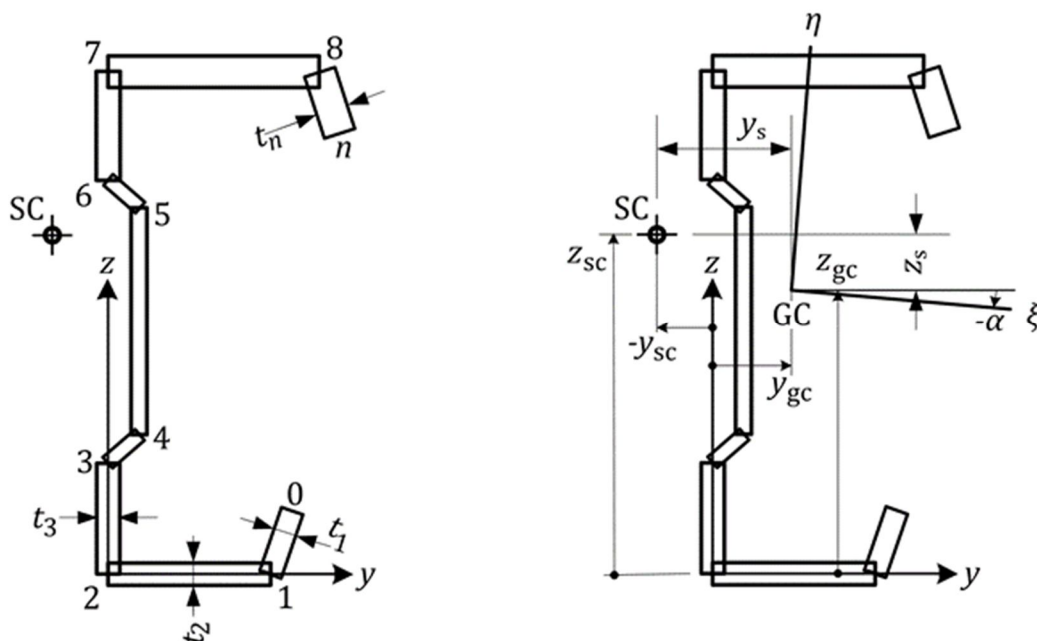


Рисунок G.1 — Вузли перерізу 0 – n

а) розділіть поперечний переріз на n частин. Пронумеруйте частини від 1 до n :

Вставте вузли між частинами. Пронумеруйте вузли від 0 до n . Тоді частину i буде визначено вузлами $i - 1$ та i .

Вкажіть вузли, координати та (ефективну) товщину.

Вузли і частини $j = 0 \dots n, i = 1 \dots n$

б) обчисліть наступні геометричні величини: Площа частин поперечного перерізу за формулою (G.5):

$$\Delta A_i = t_i \cdot \sqrt{(y_i - y_{i-1})^2 + (z_i - z_{i-1})^2} \quad (G.5)$$

Площа поперечного перерізу за формулою (G.6), як

$$A = \sum_{i=1}^n \Delta A_i \quad (G.6)$$

Статичний момент площі відносно осі y - y і координати центру ваги за

формулою (G.7):

$$S_{y0} = \sum_{i=1}^n (z_i + z_{i-1}) \frac{\Delta A_i}{2} z_{gc} = \frac{S_{y0}}{A} \quad (G.7)$$

Момент інерції відносно первинної осі у-у та нової осі у-у, що проходить через центр ваги за формулою (G.8):

$$I_{y0} = \sum_{i=1}^n ((z_i)^2 + (z_{i-1})^2 + z_i z_{i-1}) \frac{\Delta A_i}{3} I_y = I_{y0} - A \cdot z_{gc}^2 \quad (G.8)$$

Перший момент площі відносно осі z і центру ваги за формулою (G.9):

$$S_{z0} = \sum_{i=1}^n (y_i + y_{i-1}) \frac{\Delta A_i}{2} y_{gc} = \frac{S_{z0}}{A} \quad (G.9)$$

Момент інерції відносно первинної осі z та нової осі z, що проходить через центр ваги за формулою (G.10):

$$I_{z0} = \sum_{i=1}^n ((y_i)^2 + (y_{i-1})^2 + y_i y_{i-1}) \frac{\Delta A_i}{3} I_z = I_{z0} - A \cdot y_{gc}^2 \quad (G.10)$$

Змішаний момент площі відносно первинних осей у та z, а також нових осей, які проходять через центр ваги за формулою (G.11):

$$I_{yz0} = \sum_{i=1}^n (2y_{i-1} \cdot z_{i-1} + 2y_i \cdot z_i + y_{i-1} \cdot z_i + y_i \cdot z_{i-1}) \frac{\Delta A_i}{6} \quad (G.11)$$

$$I_{yz} = I_{yz0} - \frac{S_{y0} S_{z0}}{A}$$

Головні осі за формулами (G.12), (G.13) і (G.14):

$$\alpha = \frac{1}{2} \arctan \left(\frac{2I_{yz}}{I_z - I_y} \right) \text{ if } I_z - I_y \neq 0, \text{ otherwise } \alpha = 0 \quad (G.12)$$

$$I_\xi = \frac{1}{2} \left(I_y + I_z + \sqrt{(I_y - I_z)^2 + 4(I_{yz})^2} \right) \quad (G.13)$$

$$I_\eta = \frac{1}{2} \left(I_y + I_z - \sqrt{(I_y - I_z)^2 + 4(I_{yz})^2} \right) \quad (G.14)$$

Секторіальні координати за формулою (G.15):

$$\omega_0 = 0 \quad \omega_{0_i} = y_{i-1} \cdot z_i - y_i \cdot z_{i-1}, \quad \omega_i = \omega_{i-1} + \omega_{0_i} \quad (G.15)$$

Середні значення секторіальних координат за формулою (G.16):

$$I_\omega = \sum_{i=1}^n (\omega_{i-1} + \omega_i) \frac{\Delta A_i}{2} \quad \omega_{\text{mean}} = \frac{I_\omega}{A} \quad (G.16)$$

Секторіальні константи за формулами (G.17), (G.18) та (G.19):

$$I_{y\omega 0} = \sum_{i=1}^n (2y_{i-1} \cdot \omega_{i-1} + 2y_i \cdot \omega_i + y_{i-1} \cdot \omega_i + y_i \cdot \omega_{i-1}) \frac{\Delta A_i}{6} \quad (\text{G.17})$$

$$I_{y\omega} = I_{y\omega 0} - \frac{S_{y0} I_{\omega}}{A}$$

$$I_{z\omega 0} = \sum_{i=1}^n (2z_{i-1} \cdot \omega_{i-1} + 2z_i \cdot \omega_i + z_{i-1} \cdot \omega_i + z_i \cdot \omega_{i-1}) \frac{\Delta A_i}{6} \quad (\text{G.18})$$

$$I_{z\omega} = I_{z\omega 0} - \frac{S_{y0} I_{\omega}}{A}$$

$$I_{\omega\omega 0} = \sum_{i=1}^n ((\omega_i)^2 + (\omega_{i-1})^2 + \omega_i \cdot \omega_{i-1}) \frac{\Delta A_i}{3} \quad (\text{G.19})$$

$$I_{\omega\omega} = I_{\omega\omega 0} - \frac{I_{\omega}^2}{A}$$

Центр зсуву за формулою (G.20):

$$y_{sc} = \frac{I_{z\omega} \cdot I_z - I_{y\omega} \cdot I_{yz}}{I_y \cdot I_z - I_{yz}^2} \quad z_{sc} = \frac{-I_{y\omega} \cdot I_y + I_{z\omega} \cdot I_{yz}}{I_y \cdot I_z - I_{yz}^2} \quad (I_y \cdot I_z - I_{yz}^2 \neq 0) \quad (\text{G.20})$$

Константа депланації за формулою (G.21):

$$I_w = I_{\omega\omega} + z_{sc} \cdot I_{y\omega} - y_{sc} \cdot I_{z\omega} \quad (\text{G.21})$$

Константи кручення за формулою (G.22):

$$I_t = \sum_{i=1}^n (t_i)^2 \frac{\Delta A_i}{3} \quad W_t = \frac{I_t}{\max(t)} \quad (\text{G.22})$$

Секторіальні координати відносно центра зсуву за формулою (G.23):

$$\omega_{s_j} = \omega_j - \omega_{\text{mean}} + z_{sc}(y_j - y_{gc}) - y_{sc}(z_j - z_{gc}) \quad (\text{G.23})$$

Максимальна секторіальна координата і модуль депланації за формулою (G.24):

$$\omega_{\max} = \max(|\omega_s|) \quad W_w = \frac{I_w}{\omega_{\max}} \quad (\text{G.24})$$

Відстань між центром зсуву та центром маси за формулою (G.25):

$$y_s = y_{sc} - y_{gc}, \quad z_s = z_{sc} - z_{gc} \quad (\text{G.25})$$

Полярний момент інерції відносно центра зсуву за формулою (G.26):

$$I_p = I_y + I_z + A(y_s^2 + z_s^2) \quad (\text{G.26})$$

Коефіцієнти асиметрії z_j та y_j згідно з додатком I за формулами (G.27) та (G.28):

$$z_j = z_s - \frac{0,5}{I_y} \sum_{i=1}^n \left[(z_{ci})^3 + z_{ci} \left(\frac{(z_i - z_{i-1})^2}{4} + y_{ci}^2 + \frac{(y_i - y_{i-1})^2}{12} \right) + y_{ci} \frac{(y_i - y_{i-1})(z_i - z_{i-1})}{6} \right] \cdot \Delta A_i \quad (G.27)$$

$$y_j = y_s - \frac{0,5}{I_z} \sum_{i=1}^n \left[(y_{ci})^3 + y_{ci} \left(\frac{(y_i - y_{i-1})^2}{4} + z_{ci}^2 + \frac{(z_i - z_{i-1})^2}{12} \right) + z_{ci} \frac{(z_i - z_{i-1})(y_i - y_{i-1})}{6} \right] \cdot \Delta A_i \quad (G.28)$$

де координати центрів частин поперечного перерізу відносно центра ваги задано формулою (G.29):

$$y_{ci} = \frac{y_i + y_{i-1}}{2} - y_{gc} \quad z_{ci} = \frac{z_i + z_{i-1}}{2} - z_{gc} \quad (G.29)$$

Примітка. $z_j = 0$ $y_j = 0$ для поперечних перерізів із віссю симетрії у-у(з-з), див. рисунок G.1.

(2) У перерізах з відгалуженнями можливо користуватися формулами з G.7(1). Однак, потрібно рухатися по гілках ззовні до розгалуження (від товщини $t = 0$) до наступної частини з товщиною $t \neq 0$, див. гілки 3 - 4 - 5 та 6 - 7 на рисунку G.2.

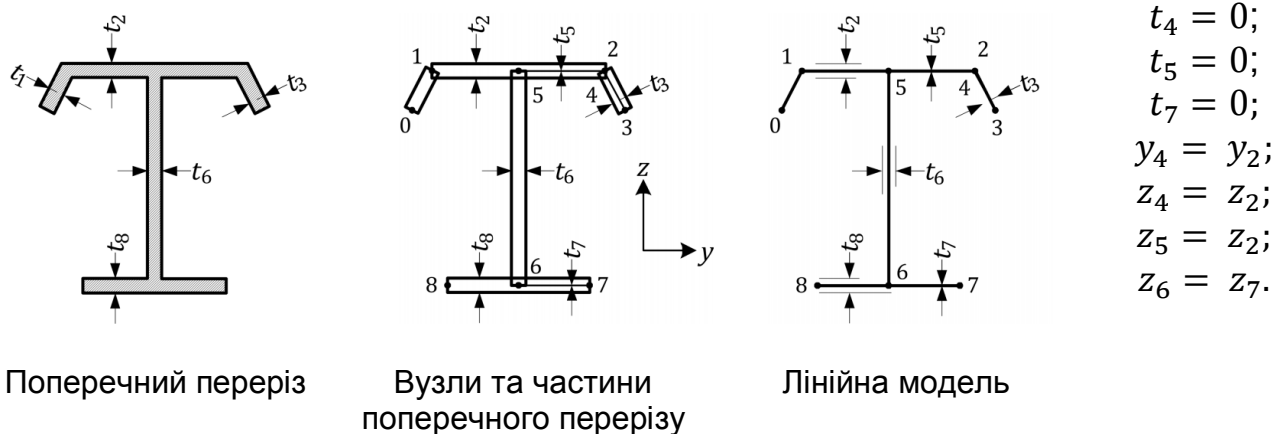


Рисунок G.2 — Вузли і частини поперечного перерізу з відгалуженнями

G.8 Константа кручення перерізу із замкнутою частиною

(1) Для симетричного або несиметричного поперечного перерізу, до складу якого входить замкнута частина (див. рисунок G.3), константу

кручення визначають за формулою:

$$I_t = \frac{4A_t^2}{S_t} \text{ і } W_t = 2A_t \min(t_i) , \quad (\text{G. 30})$$

де

$$A_t = 0,5 \sum_{i=2}^n (y_i - y_{i-1}) (z_i + z_{i-1}) \quad (\text{G. 31})$$

$$S_t = \sum_{i=2}^n \frac{\sqrt{(y_i - y_{i-1})^2 + (z_i - z_{i-1})^2}}{t_i} (t_i \neq 0) \quad (\text{G. 32})$$

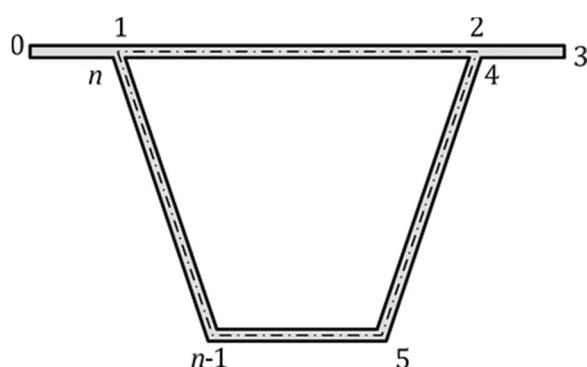


Рисунок G.3 — Переріз, що містить замкнуту частину

G.9 Площа зсуву

(1) Поперечний переріз розділено на n прямокутних частин, як показано у G.7. Зона зрізу для вигину в площині $x - z$ — задано формулами (G.33), (G.34) та (G.35):

$$A_{V,z} = \frac{I_y^2}{\sum_{i=1}^n \left(\left(\frac{S_{y,i}}{t_i} \right)^2 A_i \right)} , \quad (\text{G. 33})$$

де

$$S_{y,i} = S_{y,i-1} + 0,5(z_i + z_{i-1})A_i \text{ для } i = 1 \text{ to } n \quad (\text{G. 34})$$

$$A_i = t_i \sqrt{(y_i - y_{i-1})^2 + (z_i - z_{i-1})^2} \quad (\text{G. 35})$$

Початок системи координат має співпадати з центром ваги поперечного перерізу. Будь-яка стінка, що працює на зсув має бути розділена принаймні на чотири частини. Для поперечних перерізів з

відгалуженнями див. G.7(2), $S_y = 0$ на кінцях відгалужень. Якщо $t_i = 0$, то щоб уникнути ділення на нуль, (див. G.7(1)), t_i присвоюють мале значення.

(2) Для області зсуву під час згину у площині x–y застосовна формула (G.33), але із заміною y та z.

(3) Для симетричних двотаврових поперечних перерізів під час згину у площині x-z, $A_{V,z}$ задають формулою (G.36):

$$A_{V,z} = \frac{h_f t_w \left(\frac{1}{6} + \frac{t_f}{t_w} \frac{b_f}{h_f} \left(1 + \frac{1}{3} \left(\frac{t_f}{h_f} \right)^2 \right) \right)^2}{\frac{1}{30} + \frac{t_f}{t_w} \frac{b_f}{h_f} \left(\frac{1}{3} + \frac{b_f}{h_f} \left(\frac{t_f}{t_w} + \frac{b_f}{6h_f} \right) \right)}, \quad (G.36)$$

де b_f — ширина полиці поперечного перерізу, h_f — відстань між центрами ваги полиць, t_f — товщина полиць, та t_w — товщина стінки.

(4) Константа зсувного кручення для кручення навколо осі x-x задана формулами (G.37) та (G.38):

$$I_{T,s} = \frac{I_\omega^2}{\int_A \left(\frac{S_\omega(s)}{t(s)} \right)^2 dA} \quad \text{або відповідне підсумування} \quad I_{T,s} = \frac{I_\omega^2}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{S_{\omega,i}}{t_i} \right)^2 A_i} \quad (G.37)$$

де I_ω наведено у G.6 та G.7, а

$$S_{\omega,i} = S_{\omega,i-1} + 0,5(\omega_i + \omega_{i-1})A_i \quad \text{для } i = 1 \text{ до } n \quad (G.38)$$

Див. відповідні формули у G.7.

G.10 Пластичний момент опору перерізу і рівняння взаємодії

C.10.1 Пластичний момент опору

(1) Поперечний переріз розділено на n частин, як показано у G.7. Див. також рисунок G.4(a). Для визначення пластичного моменту опору $W_{y,pl}$ дозволено застосовувати наступну процедуру:

1) додати додатковий вузол у частині, яку перетне пластична нейтральна вісь;

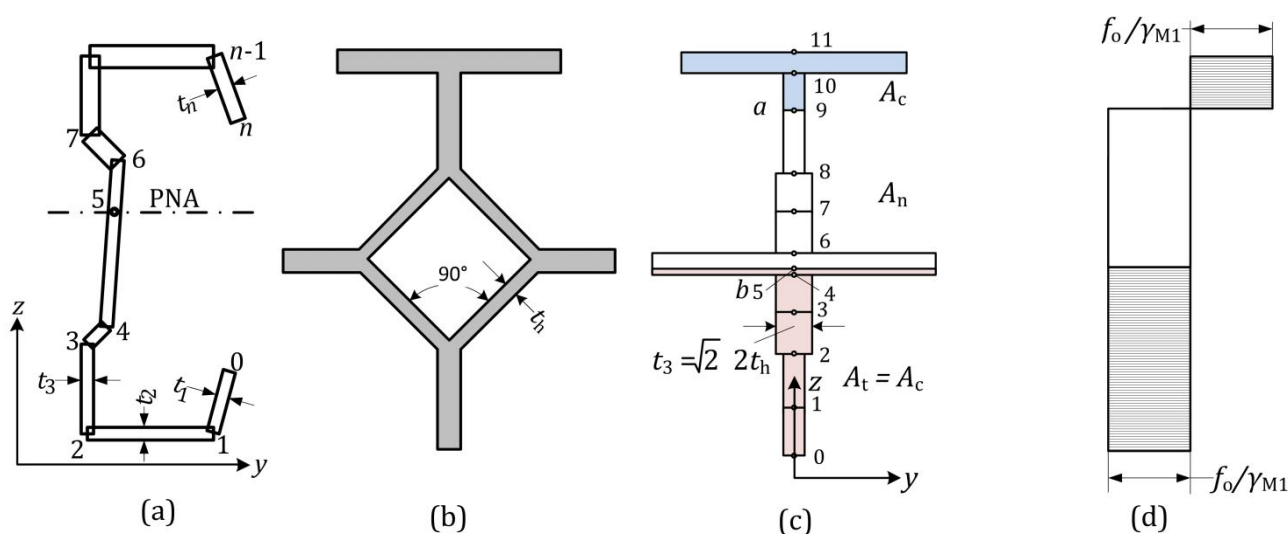
2) визначити пластичну нейтральну вісь так, щоб області над і під нею були однаковими ($= A/2$);

3) замінити товщину t_i під пластичною нейтральною віссю на від'ємне значення мінус t_i ;

4) пластичний момент опору $W_{y,pl}$ тоді буде задано формулою (G.39).

$$W_{y,pl} = \sum_{i=1}^n 0,5t_i(z_i + z_{i-1}) \sqrt{(z_i - z_{i-1})^2 + (y_i + y_{i-1})^2} \quad (G.39)$$

(2) Для пластичного моменту опору $W_{z,pl}$, замінити y та z , додати вертикальну лінію пластичної нейтральної осі та додатковий вузол (вузли) на ній.



Відкритий переріз з додатковим вузлом (5) та пластичною нейтральною віссю,

Поперечний переріз з похилими частинами

Поперечний переріз у (b), де товщину похилих частин виміряно горизонтально,

Напруження, під дією яких у частинах з 6 по 9 утворюється осьове зусилля, а у частинах з 1 по 5 (A_t) та з 6 по 11 (A_c) утворюється момент

Рисунок G.4 — Частини на які ділиться поперечний переріз

G.10.2 Рівняння пластичної взаємодії

(1) Поперечний переріз розділено на частини, пронумеровані як показано у G.7. Поперечний переріз з більш ніж однією стінкою може бути сконцентрованим, як показано на рисунку G.4(c).

(2) Для знаходження точки на діаграмі взаємодії осьової сили і згинального моменту дозволено використовувати наступну процедуру:

1) Виберіть вузол a (=9 на рисунку G.4(c)), над яким є напруження стиску;

- 2) Обчисліть площу A_c над цим вузлом a ;
- 3) Додайте на розтягнутому боці додатковий вузол b ($= 5$ на рисунку G.4 (с)), розташований так, щоб область A_t під цим вузлом була такою ж, як і A_c ;
- 4) Задайте товщину рівною t_i для частин від 1 до b і 0 для частин від $b + 1$ до a ;
- 5) Обчисліть приведений пластичний момент опору перерізу за формулою (G.39);
- 6) Обчисліть площу $A_n = A - 2A_c$;
- 7) Точка на діаграмі взаємодії тепер задана через $M_{Rd} = W_{y,pl}f_o/\gamma_{M1}$ і $N_{Rd} = A_n f_o/\gamma_{M1}$.
- 8) Повторіть процедуру для інших вузлів a ;
- 9) Якщо опір згинальному моменту шукають для конкретної осьової сили, то вузол a рекомендовано вибирати таким чином, щоб $A_c = 0,5(A - N_{Rd}/(f_o/\gamma_{M1}))$.

ДОДАТОК Н

(довідковий)

РОБОТА ПОПЕРЕЧНИХ ПЕРЕРІЗІВ ЗА МЕЖЕЮ ПРУЖНОСТІ

Н.1 Застосування цього додатка

(1) Цей довідковий додаток містить додаткові вказівки до наведених у розділах 8.1.4, 8.2.5, К.3 та М.10. 1.

Примітка. Національний вибір щодо застосування цього довідкового додатка наведено в національному додатку. Цей додаток можна застосовувати, за умови, що національний додаток не містить інформації щодо його застосування.

Н.2 Сфера та область застосування

(1) Цей додаток надає класифікацію поперечних перерізів залежно від їх роботи за межею пружності встановленням граничних значень граничного опору для різних класів роботи.

(2) Геометричні характеристики перерізу, що впливають на виникнення місцевої втрати стійкості як в зоні пружних деформацій, так і в зоні пластичних, в цьому додатку безпосередньо не враховуються. Для оцінки граничного опору з урахуванням місцевої втрати стійкості пластинчастих елементів, що складають секцію елемента, див. додаток L.

(3) Класифікація, наведена у пункті 8.1.4, не враховує взаємодію між пластинчастими елементами, що складають поперечний переріз, оскільки класифікацію перерізу отримують залежно від найвищого класу його стиснутих частин згідно з пунктом 8.1.4.2(4). Таким чином, порівняно з критеріями класифікації, наведеними в цьому додатку, буде отримано консервативний результат.

(4) Фактичну роботу поперечних перерізів за межею пружності рекомендовано розглядати у будь-якому різновиді непружного розрахунку, включаючи випадок простого пружного аналізу з урахуванням перерозподілу внутрішніх дій (див. 7.4). Крім того, у випадку розрахунку

тонкостінних перерізів, у пружному аналізі рекомендовано також враховувати певні обмеження на міцність у пружній області.

(5) Вибір залежності узагальнене зусилля – переміщення для поперечних перерізів має бути узгоджений з допущеннями про закон роботи матеріалу і геометричними властивостями самого перерізу (див.Н.4).

(6) Коректність допущень щодо роботи поперечних перерізів можливо перевірити або за допомогою випробувань, або через урахування виникнення місцевої втрати стійкості, згідно з додатком L.

Примітка. Правила проведення випробування можливо знайти у Національному додатку.

Н.3 Визначення граничних станів поперечних перерізів

(1) Робота поперечних перерізів і відповідна модель, призначена для використання у розрахунках конструкцій, має бути здатною до досягнення перелічених нижче граничних станів, кожен із яких відповідає певному допущенню щодо напруженого стану у перерізі.

(2) З точки зору глобальної роботи перерізу, незалежно від розглянутих внутрішніх дій (осьове навантаження, згинальний момент або зсувне зусилля), можливо визначити такі граничні стани:

- граничний стан за пружною втратою стійкості;
- пружний граничний стан;
- пластичний граничний стан;
- граничний стан за руйнівними навантаженнями.

(3) Граничний стан за пружною втратою стійкості пов'язаний із міцністю, що відповідає виникненню явища місцевої втрати стійкості у стиснутих частинах перерізу.

(4) Пружний граничний стан пов'язаний із міцністю, що відповідає досягненню умовної границі пружності f_0 у матеріалі найбільш напружених частин перерізу.

(5) Пластичний граничний стан пов'язаний із міцністю перерізу, що відповідає допущенню щодо ідеальної пластичної поведінки матеріалу за граничного значення, що дорівнює умовній границі пружності f_o , без урахування ефекту зміцнення.

(6) Граничний стан за руйнівними навантаженнями пов'язаний із граничною міцністю перерізу, що відповідає допущенню щодо розподілу внутрішніх зусиль з урахуванням фактичного характеру зміцнення матеріалу і виникнення місцевої втрати стійкості в зоні або пружних або пластичних деформацій. Залежно від співвідношення ширини до товщини пластинчастих елементів, що складають поперечний переріз, крива узагальнене зусилля — переміщення може зростати аж до руйнування матеріалу або може утворювати гілку пом'якшення внаслідок виникнення місцевої втрати стійкості у зоні пластичних деформацій. У першому випадку граничний стан за руйнівними навантаженнями пов'язаний із досягненням граничної фактичної деформації в крайньому волокні. У другому випадку граничним опором є максимальне значення, досягнуте кривою узагальненого зусилля – переміщення.

(7) Характеристичне значення граничної фактичної деформації має бути отримане на основі експериментальних даних, що стосуються коефіцієнта звуження, оціненого за допомогою випробувань на розтяг. Відповідна інформація має бути надана виробником сплаву. Якщо такі дані недоступні, можливо отримати надійний прогноз, прийнявши в якості граничної деформації значення граничної міцності на розтяг згідно з таблицями 5.3 і 5.4.

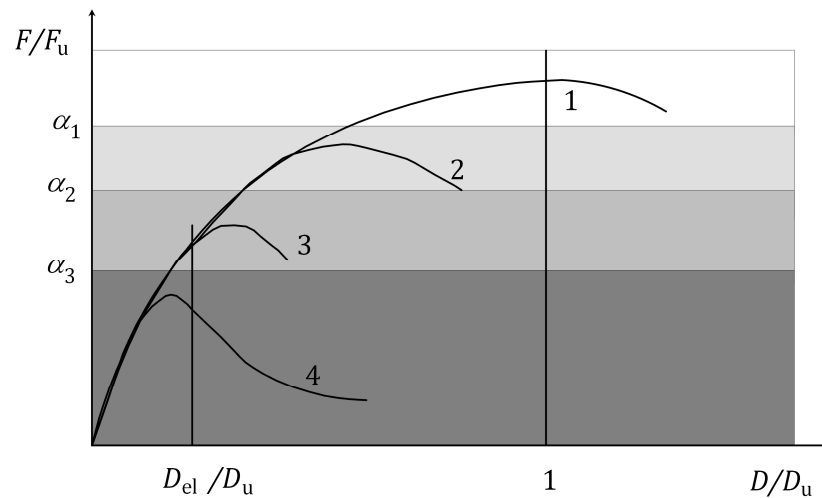
Примітка. Додаткову інформацію наведено у додатку L.

Н.4 Класифікація поперечних перерізів за граничними станами

(1) Поперечні перерізи можливо класифікувати, виходячи з їх здатності досягати одного з вищезгаданих граничних станів. Така класифікація є додатковою до класифікації з 8.1.4 і може бути застосована

тоді, коли треба уточнити здатність перерізу переходити у пластичний стан. У такому розумінні, з залученням співвідношення між узагальненою силою F та переміщенням D , перерізи можливо класифікувати наступним чином (див. рисунок Н.1):

- пластичні перерізи (клас 1);
- компактні перерізи (клас 2);
- напівкомпактні перерізи (клас 3);
- тонкостінні перерізи (клас 4).



Умовні позначки:

- 1 — клас 1 (пластичні);
- 2 — клас 2 (компактні);
- 3 — клас 3 (напівкомпактні);
- 4 — клас 4 (тонкостінні).

Рисунок Н.1 — Класифікація поперечних перерізів

(2) Пластичний переріз (1 клас): дозволяє розвиток пластичного моменту опору, з утворенням пластичного шарніра з необхідною для пластичного розрахунку поворотною здатністю.

(3) Компактний переріз (2 клас): дозволяє розвиток пластичного моменту опору, але поворотна здатність обмежена місцевою втратою стійкості у зоні пластичних деформацій.

(4) Напівкомпактний переріз (Клас 3): у таких розрахункових напруженнях у крайньому стиснутому волокні може досягти умовної границі текучості, проте розвитку повного пластичного моменту опору

перешкоджає місцева втрата стійкості.

(5) Тонкостінний переріз (клас 4): у таких місцева втрата стійкості відбувається до того, як у будь-якій частині перерізу буде досягнуто умовну границю текучості в умовах стиску.

Н.5 Граничні значення граничного осьового навантаження

(1) Граничні значення між суміжними класами роботи за несною здатністю перерізу під осьовим стискальним навантаженням дозволено розрахувати на основі перелічених вище граничних станів за наступними практичними рекомендаціями, з урахуванням того, що для елементів під дією лише осьової сили, класи 2 і 3 збігаються.

(2) Значення осьового навантаження для даного граничного стану може бути виражене узагальненою формулою (Н.1):

$$N_{ed} = \alpha_{N,j} A f_{o,d} , \quad (\text{Н. 1})$$

де

$f_{o,d} = f_o / \gamma_{M1}$ — розрахункове значення умовної 0,2 % границі текучості, див. 8.1.2.

A — площа поперечного перерізу

$\alpha_{N,j}$ — безрозмірний коефіцієнт, наведений у таблиці Н.1, що залежить від передбачуваного граничного стану, який відповідає межі між двома суміжним класами роботи.

Таблиця Н.1 — Значення граничного осьового навантаження на межі класів

Значення на межі між	Безрозмірний коефіцієнт $\alpha_{N,j}$
класом 1 та класом 2	для сплавів з $4\% \leq A \leq 8\%$: $\alpha_{N,1} = \frac{\sigma_5}{f_{o,d}}$ для сплавів з $A > 8\%$ $\alpha_{N,1} = \frac{\sigma_{10}}{f_{o,d}} \text{ but } \geq 1,00$
класом 2/3 та класом 4	$\alpha_{N,3} = 1$
<i>Умовні позначки:</i> σ_5 — напруження, що відповідає деформації, що у п'ять разів перевищує межу пружності $\varepsilon_o = \frac{f_o}{E}$ σ_{10} — напруження, що відповідає деформації, що у десять разів перевищує межу пружності $\varepsilon_o = \frac{f_o}{E}$	

Н.6 Граничні значення граничного моменту

(1) Значення несної здатності поперечних перерізів під дією згинального моменту на межі між суміжними класами роботи можуть бути оцінені з урахуванням вищезазначених граничних станів за допомогою наступних правил.

(2) Значення згинального моменту для даного граничного стану може бути виражене узагальненою формулою (Н.2):

$$M_{Rd} = \alpha_{M,j} W_{el} f_{o,d}, \quad (\text{Н. 2})$$

де

$f_{o,d} = \frac{f_o}{\gamma_{M1}}$ — розрахункове значення 0,2 % умовної границі текучості, див. 8.1.2

W_{el} — пружний момент опору перерізу;

$\alpha_{M,j}$ — безрозмірний коефіцієнт, наведений у таблиці Н.2, що залежить від передбачуваного граничного стану, який відповідає межі між

двома суміжним класами роботи.

Таблиця Н.2 — Значення граничного згинального моменту на межі класів

Значення на межі між	Безрозмірний коефіцієнт $\alpha_{M,j}$
класом 1 та класом 2	для сплавів з $4\% \leq A \leq 8\%$: $\alpha_{M,1} = \alpha_5 = 5 - \frac{3,89 + 0,00190n}{\alpha_0^{0,27+0,0014n}}$ для сплавів з $A > 8\%$ $\alpha_{M,1} = \alpha_{10} = \alpha_0^{0,21 \log(1000n)} \cdot 10^{0,0796 - 0,0809 \log(n/10)}$ з A згідно з таблицями 5.3 і 5.4.
класом 2 та класом 3	$\alpha_{M,2} = \alpha_0 = W_{pl}/W_{el}$
класом 3 та класом 4	$\alpha_{M,3} = 1$, див. також таблицю 8.4
Умовні позначки: $n = n_p$ показник ступеня для закону Рамберга–Осгуда, що представляє поведінку матеріалу в зоні пластичних деформацій (див. додаток F) α_5 та α_{10} — узагальнені коефіцієнти форми перерізу, що відповідають значенням граничної кривини $\chi_u = 5\chi_{el}$ та $10\chi_{el}$, χ_{el} — кривизна на границі пружності; α_0 — геометричний коефіцієнт форми; W_{pl} — пластичний момент опору перерізу.	

Н.7 Граничний опір

(1) Граничний опір з урахуванням впливу місцевої втрати стійкості в зоні або пружних або пластичних деформацій, залежно від співвідношення ширини до товщини пластинчастих елементів, що складають переріз елемента, потрібно обчислювати згідно з додатком L, а поперечний переріз потрібно класифікувати згідно з таблицями Н.1 та Н.2.

(2) У разі, якщо оцінювання граничного опору балок під дією нерівномірного вигину виконано за допомогою емпіричної формули (L.23), наведеної в додатку L, вплив товщини пластинчастих елементів, з урахуванням моделі товщини середньої лінії поперечного перерізу, може бути враховано за допомогою оцінки безрозмірного граничного опору за формулою (Н.3):

$$\alpha_M = \frac{M_{\max}}{M_0} \frac{W_{el,line}}{W_{el}}, \quad (\text{Н. 3})$$

де

$M_{\max}/M_0$ — граничний безрозмірний опір, розрахований згідно з формулою L. 23 додатка L;

$W_{\text{el,line}}$ — пружний момент опору перерізу, розрахований на основі моделі товщини середньої лінії поперечного перерізу.

ДОДАТОК І

(довідковий)

ПОПЕРЕЧНО-КРУТИЛЬНА ВТРАТА СТІЙКОСТІ БАЛОК ТА КРУТИЛЬНА АБО ЗГИНАЛЬНО- КРУТИЛЬНА ВТРАТА СТІЙКОСТІ СТИСНУТИХ ЕЛЕМЕНТІВ

І.1 Застосування цього додатка

(1) Цей довідковий додаток містить додаткові вказівки до наведених у пунктах 8.3.1 та 8.3.2.

Примітка. Національний вибір щодо застосування цього довідкового додатка наведено в національному додатку. Цей додаток можна застосовувати, за умови, що національний додаток не містить інформації щодо його застосування.

І.2 Сфера та область застосування

(1) У цьому довідковому додатку наведено формули та таблиці для пружної поперечно-крутильної втрати стійкості балок та згинально-крутильної втрати стійкості стиснутих елементів

І.3 Пружний критичний момент та гнучкість

І.3.1 Загальні положення

(1) Пружний критичний момент для поперечно-крутильної втрати стійкості рівнополичної балки постійного симетричного перерізу зі стандартними умовами закріплення на кінцях і навантаженням у вигляді постійного моменту у площині, що проходить через центр зсуву, обчислюють за формулою:

$$M_{cr} = \frac{\pi^2 EI_z}{L^2} \sqrt{\frac{L^2 GI_t}{\pi^2 EI_z} + \frac{I_w}{I_z}} = \frac{\pi \sqrt{EI_z GI_t}}{L} \sqrt{1 + \frac{\pi^2 EI_w}{L^2 GI_t}}, \quad (I.1)$$

де

I_t — константа кручення;

I_w — константа депланації;

I_z — момент інерції навколо другої головної осі;

L — це довжина балки між точками, що мають закріплення від поперечного зміщення;

ν — коефіцієнт Пуассона.

(2) Стандартними умовами закріплення на кінцях є:

— закріплення від бічного переміщення; вільний поворот у площині ($k_z = 1$);

— закріплення від повороту навколо поздовжньої осі, вільна депланація ($k_w = 1$);

— закріплення від переміщення у площині навантаження, вільний поворот у цій площині ($k_y = 1$).

1.3.2 Загальна формула для балок постійного перерізу, симетричного відносно другої або першої головної осі

(1) У випадку балки з постійним поперечним перерізом, симетричним відносно другої головної осі, пружний критичний момент поперечно-крутильної втрати стійкості під час згину відносно першої головної осі обчислюють за загальною формулою, як показано у формулах (I.1)— (I.8):

$$M_{cr} = \mu_{cr} \frac{\pi \sqrt{EI_z GI_t}}{L}, \quad (I.2)$$

де критичний момент μ_{cr} дорівнює

$$\mu_{cr} = \frac{C_1}{k_z} \left[\sqrt{1 + \kappa_{wt}^2 + (C_2 \zeta_g - C_3 \zeta_j)^2} - (C_2 \zeta_g - C_3 \zeta_j) \right] \quad (I.3)$$

відносний параметр кручення: $\kappa_{wt} = \frac{\pi}{k_w L} \sqrt{\frac{EI_w}{GI_t}}$;

відносна координата точки прикладення навантаження відносно

центру зсуву: $\zeta_g = \frac{\pi z_g}{k_z L} \sqrt{\frac{EI_z}{GI_t}}$;

параметр відносної моносиметрії поперечного перерізу: ζ_j

$$= \frac{\pi z_j}{k_z L} \sqrt{\frac{EI_z}{GI_t}},$$

де

C_1 , C_2 та C_3 — коефіцієнти, що залежать переважно від навантаження та умов закріплення на кінцях (див. таблиці I.1 та I.2);

k_z і k_w — коефіцієнти розрахункової довжини;

$$z_g = z_a - z_s;$$

$$z_j = z_s - \frac{0,5}{I_y} \int_A (y^2 + z^2) z dA \text{ — коефіцієнт осьової симетрії}$$

поперечного перерізу (I.4)

$$\begin{aligned} \int_A (y^2 + z^2) z dA &= \left(\frac{b_{f1}^2}{12} + z_1^2 \right) z_1 b_{f1} t_{f1} + \\ &+ \left(\frac{b_{f2}^2}{12} + (z_1 - h_f)^2 \right) (z_1 - h_f) b_{f2} t_{f2} + \frac{z_1^4 - (z_1 - h_f)^4}{4} \cdot t_w \\ &+ \left(\frac{z_1^4 - (z_1 - c)^4}{2} + \frac{2z_1 - c}{4} \cdot b_{f1}^2 c \right) \cdot t_c \end{aligned} \quad (I.5)$$

з позначеннями розмірів поперечного перерізу згідно з рисунком I.1

z_a — координата точки прикладення навантаження відносно центра ваги (див. рисунок I.1);

z_s — координата центру зсуву відносно центра ваги;

z_g — координата точки прикладення навантаження відносно центра зсуву.

Коефіцієнт несиметричності z_j може бути обчислений за формулою (G.27).

Примітка 1. Правила знаків див. у I.3.2(7) та (8).

Примітка 2. $z_j = 0$ ($y_j = 0$) для поперечних перерізів із віссю симетрії у-у(з-з).

Для z_j дозволено застосувати наступне наближення:

$$z_j = 0,45 \Psi_f h_s \left(1 + \frac{c}{2h_f} \right), \quad (I.6)$$

де

c — висота відгина;

h_f — це відстань між середніми лініями полиць;

$\Psi_f = \frac{I_{fc} - I_{ft}}{I_{fc} + I_{ft}}$ — коефіцієнт осьової симетрії поперечного перерізу; (I.7)

I_{fc} — момент інерції стиснутої полиці відносно другої головної осі перерізу;

I_{ft} — момент інерції розтягнутої полиці відносно другої головної осі перерізу;

h_s — відстань між центрами зсуву верхньої та нижньої полиць (S_u та S_b на рисунку I.1).

Для двотаврового нерівнополичного перерізу з полицями без відгинів, а також як наближення за наявності відгинів:

$$I_w = (1 - \psi_f^2) I_z (h_s/2)^2 \quad (I.8)$$

(2) Коефіцієнти розрахункової довжини k_z (для граничних умов поперечного згину) і k_w (для граничних умов кручення) змінюються від 0,5 у випадку жорсткого закріплення двох кінців до 1,0 у випадку їх шарнірного обпирання; значення 0,7 справедливе для випадку защемлення одного кінця (лівого чи правого) і шарнірного обпирання іншого(правого чи лівого).

(3) Коефіцієнт k_z описує поворот кінця у плані. Він аналогічний відношенню L_{cr}/L для стиснутого елемента.

(4) Коефіцієнт k_w описує депланацію кінця. Якщо не вжито спеціальних заходів для уникнення депланації на обох кінцях балки ($k_w = 0,5$), k_w рекомендовано приймати рівним 1,0.

(5) Значення C_1 , C_2 і C_3 наведено у таблицях I.1 та I.2 для різних

сполучень навантажень, про що свідчать епюри згинального моменту за довжиною L між точками поперечного закріплення. Значення у таблиці I.1 відповідають різним значенням k_z , а у таблиці I.2 різним значенням k_w .

(6) Для випадків $k_z = 1,0$ значення C_1 для будь-якого відношення кінцевих моментних навантажень, як вказано у таблиці I.1, можна приблизно визначити за формулою (I.9):

$$C_1 = (0,310 + 0,428\Psi + 0,262\Psi^2)^{-0,5} \quad (\text{I. 9})$$

(7) Правило знаків для визначення z та z_j , див. на рисунку I.1:

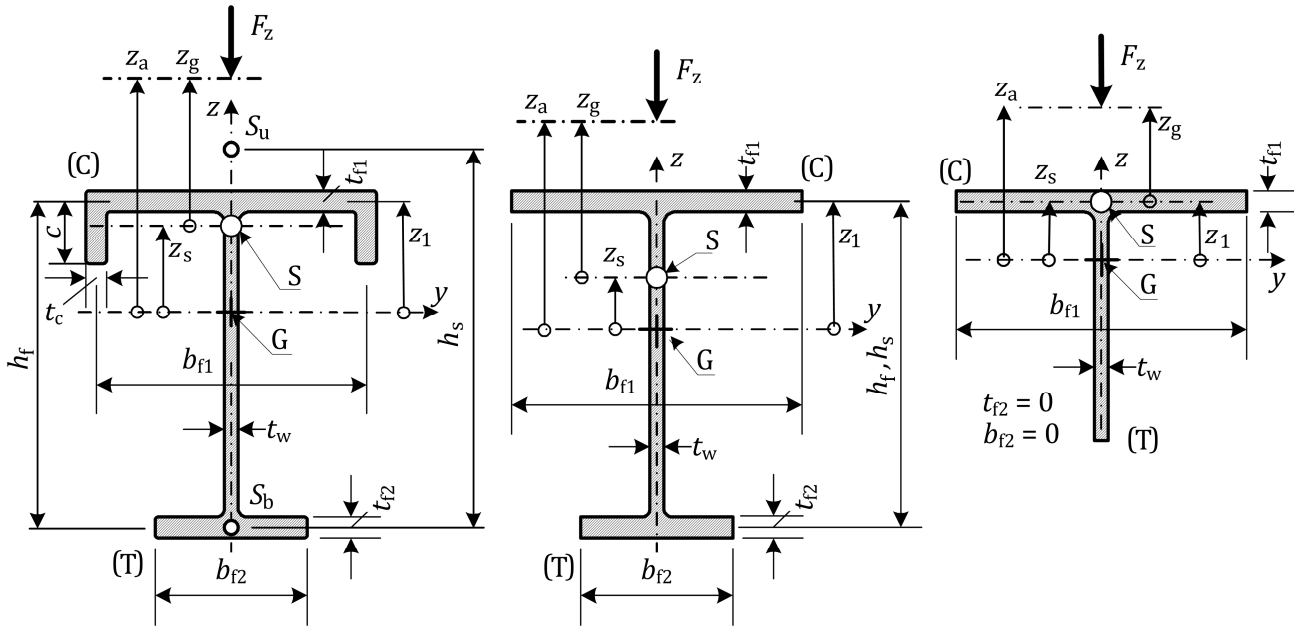
— координата z є додатною для стиснутої полиці; під час визначення z_j за формулою з I.3.2(1), додатна координата z спрямована догори для балок під дією спрямованого униз навантаження, або для консолей під дією підйомної сили, і донизу — для балок під дією підйомної сили та для консолей під дією навантаження, спрямованого донизу.

— знак z_j такий самий, що і знак коефіцієнта осьової симетрії перерізу Ψ_f у I.3.4(1). Потрібно брати переріз з боку M , якщо прикладено моментне навантаження, таблиця I.1, та переріз посередині прогону балки, якщо прикладено поперечне навантаження, таблиця I.2.

(8) Правила знаків для визначення z_g :

— у випадку спрямованого донизу навантаження z_g є додатнім для навантажень, прикладених вище центра зсуву;

— у загальному випадку z_g є додатнім для навантажень, що діють у напрямку центра зсуву від точки їх прикладення.



Умовні позначки:

(C) — стиснута сторона

(T) — розтягнута сторона

S — центр зсуву

G — центр ваги

S_u — центр верхньої полиці

S_b — центр нижньої полиці

Рисунок I.1 — Умовні позначки і правила знаків для балок під дією спрямованого донизу навантаження F_z , або для консолей під дією підйомної сили (мінус F_z)

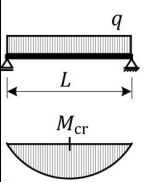
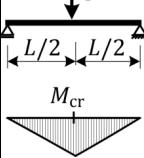
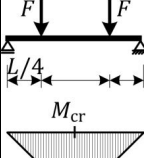
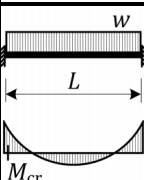
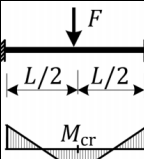
Таблиця І.1 — Значення коефіцієнтів C_1 та C_3 , що відповідають різним співвідношенням кінцевих моментів ψ , значенням коефіцієнта приведеної довжини k_z та характеристикам поперечного перерізу ψ_f та κ_{wt} . Кінцевий момент, прикладений до шарнірно обертої балки з коефіцієнтами розрахункової довжини $k_y = 1$ для згину відносно основної осі, та $k_w = 1$ для кручення.

Навантаження та умови обпирання Коефіцієнт осової симетрії перерізу ψ_f	Епюра згинального моменту Співвідношення моментів ψ . Сторонна М та сторона ψ_M	k_z^b	Значення коефіцієнтів					
			C_1		C_3			
			$C_{1,0}$	$C_{1,1}$	$\psi_f = -1$ 	$-0,9 \leq \psi_f \leq 0$ 	$0 \leq \psi_f \leq 0,9$ 	$\psi_f = 1$
 Beam M-side: Beam M-side: $\psi_f = \frac{I_{fc} - I_{ft}}{I_{fc} + I_{ft}}$		1,0	1,000	1,000	1,000			
		0,7L	1,016	1,100	1,025		1,000	
		0,7R	1,016	1,100	1,025		1,000	
		0,5	1,000	1,127	1,019			
		1,0	1,139	1,141	1,000			
		0,7L	1,210	1,313	1,050		1,000	
		0,7R	1,109	1,201	1,000			
		0,5	1,139	1,285	1,017			
		1,0	1,312	1,320	1,150	1,000		
		0,7L	1,480	1,616	1,160		1,000	
		0,7R	1,213	1,317	1,000			
		0,5	1,310	1,482	1,150	1,000		
		1,0	1,522	1,551	1,290	1,000		
		0,7L	1,853	2,059	1,600	1,260	1,000	
		0,7R	1,329	1,467	1,000			
		0,5	1,516	1,730	1,350	1,000		
		1,0	1,770	1,847	1,470	1,000		
		0,7L	2,331	2,683	2,000	1,420	1,000	
		0,7R	1,453	1,592	1,000			
		0,5	1,753	2,027	1,500	1,000		
		1,0	2,047	2,207	1,65	1,000	0,850	
		0,7L	2,827	3,322	2,40	1,550	0,850	-0,30
		0,7R	1,582	1,748	1,38	0,850	0,700	0,20
		0,5	2,004	2,341	1,75	1,000	0,650	-0,25
		1,0	2,331	2,591	1,85	1,000	$1,3 - 1,2\psi_f$	-0,70
		0,7L	3,078	3,399	2,70	1,450	$1 - 1,2\psi_f$	-1,15
		0,7R	1,711	1,897	1,45	0,780	$0,9 - 0,75\psi_f$	-0,53
		0,5	2,230	2,579	2,00	0,950	$0,75 - \psi_f$	-0,85
		1,0	2,547	2,852	2,00	1,000	$0,55 - \psi_f$	-1,45
		0,7L	2,592	2,770	2,00	0,850	$0,23 - 0,9\psi_f$	-1,55
		0,7R	1,829	2,027	1,55	0,700	$0,68 - \psi_f$	-1,07
		0,5	2,352	2,606	2,00	0,850	$0,35 - \psi_f$	-1,45
		1,0	2,555	2,733	2,00	$-\psi_f$		-2,00
		0,7L	1,921	2,103	1,55	0,380	-0,580	-1,55
		0,7R	1,921	2,103	1,55	0,580	-0,380	-1,55
		0,5	2,223	2,390	1,88	$0,125 - 0,7\psi_f$	$-0,125 - 0,7\psi_f$	-1,88

^a $C_1 = C_{1,0} + (C_{1,1} - C_{1,0})\kappa_{wt} \leq C_{1,1}$, ($C_1 = C_{1,0}$ для $\kappa_{wt} = 0$, $C_1 = C_{1,1}$ для $\kappa_{wt} \geq 1$)

^b 0,7L = защемлено лівий кінець, 0,7R = защемлено правий кінець

Таблиця І.2 — Значення коефіцієнтів C_1 , C_2 та C_3 для різних сценаріїв поперечних навантажень, значення коефіцієнтів приведеної довжини k_y , k_z , k_w , коефіцієнта осевої симетрії перерізу ψ_f та параметра кручення κ_{wt} .

Навантаження та умови опирання	Коефіцієнти розрахункової довжини			Значення коефіцієнтів							
	k_y	k_z	k_w	C_1^a		C_2			C_3		
				$C_{1,0}$	$C_{1,1}$	$\perp$ $\psi_f = -1$	I $-0,9 \leq \psi_f \leq 0$	II $\psi_f = 1$	$\perp$ $\psi_f = -1$	I $-0,9 \leq \psi_f \leq 0$	II $\psi_f = 1$
	1	1	1	1,127	1,132	0,33	0,459	0,50	0,93	0,525	0,38
	1	1	0,5	1,128	1,231	0,33	0,391	0,50	0,93	0,806	0,38
	1	0,5	1	0,947	0,997	0,25	0,407	0,40	0,84	0,478	0,44
	1	0,5	0,5	0,947	0,970	0,25	0,310	0,40	0,84	0,674	0,44
	1	1	1	1,348	1,363	0,52	0,553	0,42	1,00	0,411	0,31
	1	1	0,5	1,349	1,452	0,52	0,580	0,42	1,00	0,666	0,31
	1	0,5	1	1,030	1,087	0,40	0,449	0,42	0,80	0,338	0,31
	1	0,5	0,5	1,031	1,067	0,40	0,437	0,42	0,80	0,516	0,31
	1	1	1	1,038	1,040	0,33	0,431	0,39	0,93	0,562	0,39
	1	1	0,5	1,039	1,148	0,33	0,292	0,39	0,93	0,878	0,39
	1	0,5	1	0,922	0,960	0,28	0,404	0,30	0,88	0,539	0,50
	1	0,5	0,5	0,922	0,945	0,28	0,237	0,30	0,88	0,772	0,50
	0,5	1	1	2,576	2,608	1,00	1,562	0,15	1,00	-0,859	-1,99
	0,5	0,5	1	1,490	1,515	0,56	0,900	0,08	0,61	-0,516	-1,20
	0,5	0,5	0,5	1,494	1,746	0,56	0,825	0,08	0,61	0,002712	-1,20
	0,5	1	1	1,683	1,726	1,20	1,388	0,07	1,15	-0,716	-1,35
	0,5	0,5	1	0,936	0,955	0,69	0,763	0,03	0,64	-0,406	-0,76
	0,5	0,5	0,5	0,937	1,057	0,69	0,843	0,03	0,64	-0,0679	-0,76

^a $C_1 = C_{1,0} + (C_{1,1} - C_{1,0})\kappa_{wt} \leq C_{1,1}$, ($C_1 = C_{1,0}$ для $\kappa_{wt} = 0$, $C_1 = C_{1,1}$ для $\kappa_{wt} \geq 1$).
 Параметр ψ_f відноситься до середини прогону.
 Значення критичного моменту M_{cr} відносяться до перерізу, де знаходиться M_{max}

І.3.3 Балки постійного перерізу, симетричного відносно головної осі, центрально симетричного та подвійно симетричного перерізу

(1) Для балок постійного перерізу, симетричного відносно головної осі, центрально симетричного та подвійно симетричного перерізу, навантажених перпендикулярно до головної осі у площині, що проходить через центр зсуву (рисунк 1.2), $z_j = 0$, таким чином формула (1.10):

$$\mu_{cr} = \frac{C_1}{k_z} \left[\sqrt{1 + \kappa_{wt}^2 + (C_2 \zeta_g)^2} - C_2 \zeta_g \right] \quad (1.10)$$

(2) Для навантаження кінцевими моментами $C_2 = 0$, а для поперечних навантажень, прикладених через центр згину $z_g = 0$. У цих випадках застосовна формула (1.11)

$$\mu_{cr} = \frac{C_1}{k_z} \sqrt{1 + \kappa_{wt}^2} \quad (1.11)$$

(3) Якщо також $\kappa_{wt} = 0$, то $\mu_{cr} = C_1/k_z$

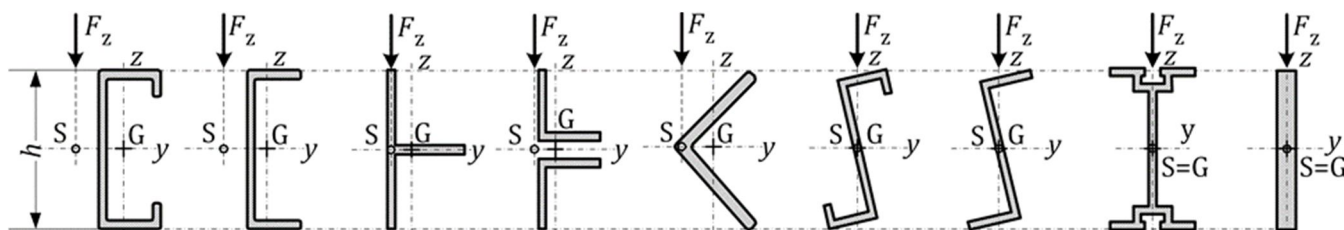


Рисунок 1.2 — Балки постійного перерізу, симетричного відносно головної осі, центрально симетричного та подвійно симетричного поперечного перерізу.

(4) Для балок, опертих на обох кінцях, ($k_y = 1, k_z = 1, 0,5 \leq k_w \leq 1$), або для ділянок балок, закріплених у поперечному напрямку на обох кінцях, під будь-яким навантаженням (наприклад, під різними кінцевими моментами у поєднанні з будь-яким поперечним навантаженням), обчислення наближеного значення критичного моменту за двома вищевказаними формулами, наведеними у 1.3.3 (2) і (3), дозволено використовувати наступне значення коефіцієнта C_1 , задане формулою (1.12):

$$C_1 = \frac{1,7|M_{\max}|}{\sqrt{M_{0,25}^2 + M_{0,5}^2 + M_{0,75}^2}} \leq 2,5, \quad (\text{I.12})$$

де

$M_{\max}$ — це максимальний розрахунковий згинальний момент,

$M_{0,25}, M_{0,75}$ — це розрахункові згинальні моменти на чверті відстані від кінців, і

$M_{0,5}$ — це розрахунковий згинальний момент у середині балки або ділянки балки з довжиною, що дорівнює відстані між сусідніми закріпленими від поперечного зміщення перерізами.

(5) Коефіцієнт C_1 , визначений за формулою (I.12) дозволено також використовувати у формулі (I.10), але лише у поєднанні з відповідним значенням коефіцієнта C_2 , дійсним для заданого навантаження та граничних умов. Це означає, що для шести випадків із таблиці I.2 з граничними умовами ($k_y = 1, k_z = 1, 0,5 \leq k_w \leq 1$), як встановлено вище, за наближення дозволено приймати значення $C_2 = 0,5$, разом із формулою (I.12) у формулі (I.10).

(6) Для жорсткої балки дозволено застосовувати наступний наближений метод. Ефект неперервності у поперечному напрямку між сусідніми ділянками не враховують, і кожен ділянку розглядають як шарнірно обперту по боках. Отже, пружну втрату стійкості будь-якої ділянки розраховують для заданого розподілу моментів у площині балки (дозволено використати формулу (I.12) для C_1) з приведеною довжиною, що дорівнює довжині ділянки L . Найменший із критичних моментів, розрахованих для кожної ділянки, приймають у якості пружного критичного навантаження жорсткої балки. Цей метод дає оцінку нижньої межі.

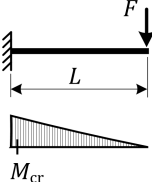
I.3.4 Консольні балки постійного поперечного перерізу, симетричного відносно другої головної осі

(1) Для консольної балки постійного поперечного перерізу,

симетричного відносно другої головної осі, пружний критичний момент у випадку поперечно-крутильної втрати стійкості, задано формулою формулою (І.2), де відносний критичний момент μ_{cr} приймають за таблицями І.3 та І.4. У таблицях І.3 та І.4 потрібно використовувати нелінійну інтерполяцію, тобто інтерполяцію з використанням більш ніж двох значень.

(2) Правило знаків для z_j та z_g наведено у І.3.2(7) та (8).

Таблиця І.3 — Відносний безрозмірний критичний момент μ_{cr} для консольних балок ($k_y = k_z = k_w = 2$) під дією зосередженої кінцевої сили F .

Навантаження та умови обпирання	$\frac{\pi}{L} \sqrt{\frac{EI_w}{GI_t}} = k_w k_{wt} = k_{wt0}$	$\frac{\pi z_g}{L} \sqrt{\frac{EI_z}{GI_t}} = k_w \zeta_g = \zeta_{g0}$	$\frac{\pi z_j}{L} \sqrt{\frac{EI_z}{GI_t}} = k_z \zeta_j = \zeta_{j0}$						
			$\begin{matrix} \downarrow (T) \\ \uparrow (C) \end{matrix}$	$\begin{matrix} \uparrow (C) \\ \downarrow (T) \end{matrix}$				$\begin{matrix} \uparrow (C) \\ \downarrow (T) \end{matrix}$	$\begin{matrix} \downarrow (T) \\ \uparrow (C) \end{matrix}$
			-4	-2	-1	0	1	2	4
	0	4	0,107	0,156	0,194	0,245	0,316	0,416	0,759
		2	0,123	0,211	0,302	0,463	0,759	1,312	4,024
		0	0,128	0,254	0,478	1,280	3,178	5,590	10,730
		-2	0,129	0,258	0,508	1,619	3,894	6,500	11,860
		-4	0,129	0,258	0,511	1,686	4,055	6,740	12,240
	0,5	4	0,151	0,202	0,240	0,293	0,367	0,475	0,899
		2	0,195	0,297	0,393	0,560	0,876	1,528	5,360
		0	0,261	0,495	0,844	1,815	3,766	6,170	11,295
		-2	0,329	0,674	1,174	2,423	4,642	7,235	12,595
		-4	0,364	0,723	1,235	2,529	4,843	7,540	13,100
	1	4	0,198	0,257	0,301	0,360	0,445	0,573	1,123
		2	0,268	0,391	0,502	0,691	1,052	1,838	6,345
		0	0,401	0,750	1,243	2,431	4,456	6,840	11,920
		-2	0,629	1,326	2,115	3,529	5,635	8,115	13,365
		-4	0,777	1,474	2,264	3,719	5,915	8,505	13,960
	2	4	0,335	0,428	0,496	0,588	0,719	0,916	1,795
		2	0,461	0,657	0,829	1,111	1,630	2,698	7,815
		0	0,725	1,321	2,079	3,611	5,845	8,270	13,285
		-2	1,398	3,003	4,258	5,865	7,845	10,100	15,040

Кінець таблиці I.3

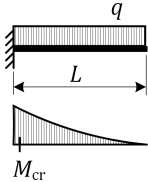
		-4	2,119	3,584	4,760	6,360	8,385	10,715	15,825
	4	4	0,845	1,069	1,230	1,443	1,739	2,168	3,866
		2	1,159	1,614	1,992	2,569	3,498	5,035	10,345
		0	1,801	3,019	4,231	6,100	8,495	11,060	16,165
		-2	3,375	6,225	8,035	9,950	11,975	14,110	18,680
		-4	5,530	8,130	9,660	11,375	13,285	15,365	19,925

^a Для $z_j = 0, z_g = 0$ та $\kappa_{wt0} \leq 8$: $\mu_{cr} = 1,27 + 1,14\kappa_{wt0} + 0,017\kappa_{wt0}^2$
^b Для $z_j = 0, -4 \leq \zeta_g \leq 4$ and $\kappa_{wt} \leq 4$: μ_{cr} дозволено також обчислювати за формулами (I.10) та (I.11), де для консолі, навантаженої зосередженим кінцевим навантаженням F , рекомендовано використовувати наступні приблизні значення коефіцієнтів C_1 і C_2 :
 $C_1 = 2,56 + 4,675\kappa_{wt} - 2,62\kappa_{wt}^2 + 0,5\kappa_{wt}^3$ якщо $\kappa_{wt} \leq 2$
 $C_1 = 5,55$ якщо $\kappa_{wt} > 2$
 $C_1 = 1,255 + 1,566\kappa_{wt} - 0,931\kappa_{wt}^2 + 0,245\kappa_{wt}^3 - 0,024\kappa_{wt}^4$ якщо $\zeta_g \geq 0$
 $C_2 = 0,192 + 0,585\kappa_{wt} - 0,054\kappa_{wt}^2 - (0,032 + 0,102\kappa_{wt} - 0,013\kappa_{wt}^2)\zeta_g$ якщо $\zeta_g < 0$

Таблиця I.4 — Відносний критичний момент μ_{cr} для консольних балок

$k_y = k_z = k_w = 2$ навантажених рівномірно розподіленим навантаженням

$q^{a, b}$

Навантаження та умови обпирання	$\frac{\pi}{L} \sqrt{\frac{EI_w}{GI_t}} = \kappa_w \kappa_{wt} = \kappa_{wt0}$	$\frac{\pi z_g}{L} \sqrt{\frac{EI_z}{GI_t}} = k_w \zeta_g = \zeta_{g0}$	$\frac{\pi z_j}{L} \sqrt{\frac{EI_z}{GI_t}} = k_z \zeta_j = \zeta_{j0}$						
			$\begin{matrix} \uparrow (T) \\ \downarrow (C) \end{matrix}$	$\begin{matrix} \uparrow (C) \\ \downarrow (T) \end{matrix}$	$\begin{matrix} \uparrow (T) \\ \downarrow (C) \end{matrix}$	$\begin{matrix} \uparrow (T) \\ \downarrow (C) \end{matrix}$	$\begin{matrix} \uparrow (T) \\ \downarrow (C) \end{matrix}$	$\begin{matrix} \uparrow (T) \\ \downarrow (C) \end{matrix}$	$\begin{matrix} \uparrow (T) \\ \downarrow (C) \end{matrix}$
			-4	-2	-1	0	1	2	4
	0	4	0,113	0,173	0,225	0,304	0,431	0,643	1,718
		2	0,126	0,225	0,340	0,583	1,165	2,718	13,270
		0	0,132	0,263	0,516	2,054	6,945	12,925	25,320
		-2	0,134	0,268	0,537	3,463	10,490	17,260	30,365
		-4	0,134	0,270	0,541	4,273	12,715	20,135	34,005
	0,5	4	0,213	0,290	0,352	0,443	0,586	0,823	2,046
		2	0,273	0,421	0,570	0,854	1,505	3,229	14,365
		0	0,371	0,718	1,287	3,332	8,210	14,125	26,440
		-2	0,518	1,217	2,418	6,010	12,165	18,685	31,610
		-4							

Кінець таблиці I.4

		-4	0,654	1,494	2,950	7,460	14,570	21,675	35,320
	1	4	0,336	0,441	0,522	0,636	0,806	1,080	2,483
		2	0,449	0,663	0,865	1,224	1,977	3,873	15,575
		0	0,664	1,263	2,172	4,762	9,715	15,530	27,735
		-2	1,109	2,731	4,810	8,695	14,250	20,425	33,075
		-4	1,623	3,558	6,025	10,635	16,880	23,555	36,875
	2	4	0,646	0,829	0,965	1,152	1,421	1,839	3,865
		2	0,885	1,268	1,611	2,185	3,282	5,700	18,040
		0	1,383	2,550	4,103	7,505	12,770	18,570	30,570
		-2	2,724	6,460	9,620	3,735	18,755	24,365	36,365
		-4	4,678	8,635	11,960	16,445	21,880	27,850	40,400
	4	4	1,710	2,168	2,500	2,944	3,565	4,478	8,260
		2	2,344	3,279	4,066	5,285	7,295	10,745	23,150
		0	3,651	6,210	8,845	13,070	18,630	24,625	36,645
		-2	7,010	13,555	17,850	22,460	27,375	32,575	43,690
		-4	12,270	18,705	22,590	26,980	31,840	37,090	48,390

а Для $z_j = 0$, $z_g = 0$ та $\kappa_{wt0} \leq 8$: $\mu_{cr} = 2,04 + 2,68\kappa_{wt0} + 0,021\kappa_{wt0}^2$

б Для $z_j = 0$, $-4 \leq \zeta_g \leq 4$ і $\kappa_{wt} \leq 4$: μ_{cr} дозволено також обчислювати за формулами (I.10) та (I.11), де для консолі, навантаженої рівномірно розподіленим навантаженням q , рекомендовано використовувати наступні приблизні значення коефіцієнтів C_1 і C_2 :

$$C_1 = 4,11 + 11,2\kappa_{wt} - 5,65\kappa_{wt}^2 + 0,975\kappa_{wt}^3 \text{ якщо } \kappa_{wt} \leq 2$$

$$C_1 = 12 \text{ якщо } \kappa_{wt} > 2$$

$$C_1 = 1,661 + 1,0686\kappa_{wt} - 0,609\kappa_{wt}^2 + 0,153\kappa_{wt}^3 - 0,014\kappa_{wt}^4 \text{ якщо } \zeta_g \geq 0$$

$$C_2 = 0,535 + 0,426\kappa_{wt} - 0,029\kappa_{wt}^2 - (0,061 + 0,074\kappa_{wt} - 0,0085\kappa_{wt}^2)\zeta_g \text{ якщо } \zeta_g < 0$$

I.4 Гнучкість у разі поперечно-крутильної форми втрати стійкості

(1) Загальний коефіцієнт гнучкості $\lambda\bar{\lambda}_{LT}$ для поперечно-крутильної втрати стійкості обчислюють за формулою а (I.13):

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{\alpha W_{el} f_o}{M_{cr}}}, \quad (I.13)$$

де

α — коефіцієнт форми, див. таблицю 8.5.

(2) В якості альтернативи, якщо двотаври або швелери не наведено у

таблиці I.5, значення $\bar{\lambda}_{LT}$ дозволено обчислювати за формулами (I.14) та (I.15):

$$\bar{\lambda}_{LT} = \lambda_{LT} \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{\alpha f_o}{E}}, \quad (\text{I. 14})$$

де

$$\lambda_{LT} = \frac{XL_{cr,z}/i_z}{\left[1 + Y \left(\frac{L_{cr,z}/i_z}{h/t_2}\right)^2\right]^{\frac{1}{4}}} \quad (\text{I. 15})$$

$L_{cr,z}$ — розрахункова довжина для поперечно-крутильної втрати стійкості;

i_z — радіус інерції перерізу бруто відносно другої головної осі;

h — повна висота перерізу;

t_2 — товщина полиць ($t_2 = t$ для варіантів 2 та 4 у таблиці I.5);

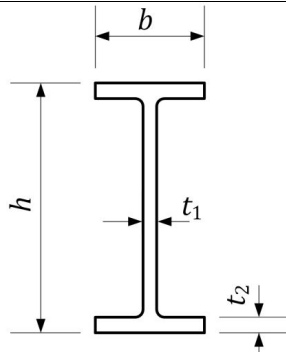
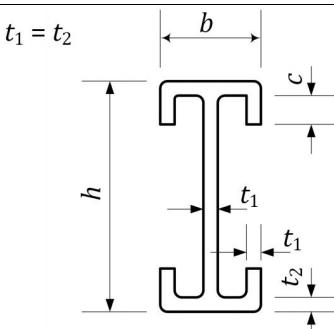
X та Y — коефіцієнти з таблиці I.5. Для швелерів з відгином (профіль 18 у таблиці I.8) $X=0,95$, а $Y=0,071$. Для усіх випадків консервативну оцінку можна отримати прийнявши $X=1,0$, а $Y=0,05$.

(3) Якщо підсилення полиць у двотаврі або швелері постійної товщини t не має точно такої форми, як у таблиці I.5 (простий відгин), дозволено обчислювати λ_{LT} за вищенаведеною формулою за умови, що X та Y прийнято як для еквівалентного простого відгину з такою самою внутрішньою висотою, тоді як i_z обчислюють для перерізу з фактичним підсиленням.

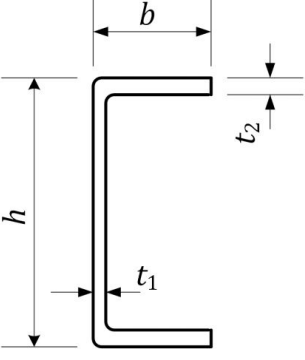
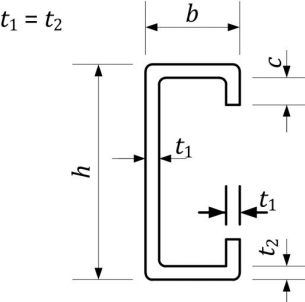
(4) Зазвичай $L_{cr,z} = 1,0L$, де L — фактична відстань між точками поперечного закріплення стиснутої полиці. Якщо у цих точках обидві полиці на кінцях ділянки закріплено від повороту навколо осі z , то довжину L дозволено зменшити з коефіцієнтом 0,5 у випадку теоретичного повного защемлення, з коефіцієнтом 0,7 у випадку практично досяжного повного защемлення, і з коефіцієнтом 0,85 у випадку часткового защемлення. Ці

значення розрахункової довжини рекомендовано збільшити з коефіцієнтом 1,2, якщо балки з перерізами з таблиці I.5 перебувають під поперечним дестабілізуючим навантаженням, прикладеним на рівні верхньої полиці. Для балки, що може вільно втрачати стійкість по всій своїй довжині, відсутність кінцевих опорних ребер можливо врахувати додатковим збільшенням $L_{cr,z}$ на величину $2h$ у порівнянні зі значенням, що були б застосовані в іншому випадку. Спрощені методики з I.4(2) та (3) не рекомендовано використовувати для консольних балок, якщо невідоме відповідне значення $L_{cr,z}$, у якому враховано всі типи консольних закріплень та дестабілізуючий ефект поперечних навантажень.

Таблиця I.5 — Поперечно-крутильна втрата стійкості балок, коефіцієнти X та Y^a

1 	$1,5 \leq h/b \leq 4,5$ $1 \leq t_2/t_1 \leq 2$	$X = 0,90 - 0,03 h/b + 0,04 t_2/t_1$ $Y = 0,05 - 0,010 \sqrt{(t_2/t_1 - 1) h/b}$
2 	$1,5 \leq h/b \leq 4,5$ $0 \leq t_2/t_1 \leq 0,5$	$X = 0,94 - (0,03 - 0,07 c/b) h/b - 0,3 c/b$ $Y = 0,05 - 0,06 c/h$

Кінець таблиці I.5

3 	$1,5 \leq h/b \leq 4,5$ $1 \leq t_2/t_1 \leq 2$	$X = 0,95 - 0,03 h/b + 0,06 t_2/t_1$ $Y = 0,07 - 0,014 \sqrt{(t_2/t_1 - 1) h/b}$
4 	$1,5 \leq h/b \leq 4,5$ $0 \leq c/b \leq 0,5$	$X = 1,01 - (0,03 - 0,06 c/b) h/b - 0,3 c/b$ $Y = 0,07 - 0,010 c/h$
^a Вирази для X та Y дійсні для $1,5 \leq h/b \leq 4,5$, $1 \leq t_2/t_1 \leq 2$ та $0 \leq c/b \leq 0,5$		

I.5 Пружна критична осьова сила у разі втрати стійкості за крутильною або згинально-крутильною формою

(1) Пружну критичну осьову силу N_{cr} для крутильної та крутильно-згинальної втрати стійкості елемента постійного поперечного перерізу зі стандартними умовами закріплення на кожному кінці під дією рівномірного осьового навантаження, прикладеного до центра ваги, визначають за формулами (I.16) — (I.20):

$$(N_{cr,y} - N_{cr})(N_{cr,z} - N_{cr})(N_{cr,T} - N_{cr})i_p^2 - \alpha_{zw}z_s^2 N_{cr}^2(N_{cr,y} - N_{cr}) - \alpha_{yw}y_s^2 N_{cr}^2(N_{cr,z} - N_{cr}) = 0 \quad (I.16)$$

де

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 E I_y}{k_y^2 L^2}, N_{cr,z} = \frac{\pi^2 E I_z}{k_z^2 L^2}, N_{cr,T} = \frac{1}{i_p^2} \left(G I_t + \frac{\pi^2 E I_w}{k_w^2 L^2} \right) \quad (I.17), (I.18), (I.19)$$

$I_t, I_w, I_z, k_y, k_z, k_w$ та G наведено у I.3.1.

. L — довжина елемента між точками, що мають закріплення від

поперечного зміщення;

$$i_p^2 = \frac{I_y + I_z}{A} + y_s^2 + z_s^2 \quad (I.20)$$

y_s та z_s — це координати центру зсуву щодо центру ваги.

$\alpha_{yw}(k_y, k_w)$ та $\alpha_{zw}(k_z, k_w)$ залежать від комбінації граничних умов згину та кручення (див. таблицю I.6), де позначки граничних умов для кручення розшифровано у таблиці I.7.

Таблиця I.6 — Значення α_{yw} або α_{zw} для комбінацій граничних умов згину і кручення

Граничні умови згину 1-10 (FBCs; Flexural Boundary Conditions) (Коефіцієнт розрахункової довжини k_y та k_z)		Граничні умови згину I-X (TBCs; Torsional Boundary Conditions), (Коефіцієнт розрахункової довжини k_w)									
		TBCs без перекошення				TBCs з перекошенням					
		 I (0,5)	 II (0,7)	 III (0,7)	 IV (1,0)	 V (1,0)	 VI (1,0)	 VII (2,0)	 VIII (2,0)	 IX (2,0)	 X (2,0)
a	1.  (0,5)	1	0,9	0,9	0,9	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8
	2.  (0,7)	0,9	1	0,8	0,9	0,6	0,6	0,7	0,8	0,8	0,7
	3.  (0,7)	0,9	0,8	1	0,9	0,6	0,6	0,8	0,7	0,7	0,8
	4.  (1,0)	0,9	0,9	0,9	1	0,4	0,4	0,7	0,7	0,7	0,7
b	5.  (1,0)	0,1	0,1	0,1	0,1	1	1	0,9	0,9	0,9	0,9
	6.  (1,0)	0,1	0,1	0,1	0,1	1	1	0,9	0,9	0,9	0,9
	7.  (2,0)	0,2	0,2	0,2	0,2	0,9	0,9	1	0,6	0,6	1
	8.  (2,0)	0,2	0,2	0,2	0,2	0,9	0,9	0,6	1	1	0,6
	9.  (2,0)	0,2	0,2	0,2	0,2	0,9	0,9	0,6	1	1	0,6
	10.  (2,0)	0,2	0,2	0,2	0,2	0,9	0,9	1	0,6	0,6	1
Примітка. Дозволено консервативно прийняти $a_{yw} = 1,0$ або $a_{zw} = 1,0$ для будь-якої комбінації граничних умов згину 1 - 10 та кручення I – X.											
a FBCs без перекошення											
b FBCs з перекошенням											

Таблиця I.7 — Граничні умови кручення у таблиці I.6

Позначка у таблиці I.6	Деформація кінця елемента	Гранична умова для кручення

		Поворот заборонений, депланація дозволена
		Поворот заборонений, депланація заборонена
		Поворот дозволений, депланація дозволена
		Поворот дозволений, депланація заборонена

(2) Для перерізів, симетричних відносно осі $z-z$, $y_s = 0$, і розв'язання за формулами (I.16), (I.21) та (I.22) має вигляд:

Згинальна втрата стійкості:

$$N_{cr,1} = N_{cr,y} \quad (I.21)$$

Крутильно-згинальна втрата стійкості:

$$N_{cr,2,3} = \frac{1}{2(1 - \alpha_{zw} z_s^2 / i_p^2)} \left[(N_{cr,z} + N_{cr,T}) \pm \sqrt{(N_{cr,z} + N_{cr,T})^2 - 4N_{cr,z}N_{cr,T}(1 - \alpha_{zw} z_s^2 / i_p^2)} \right] \quad (I.22)$$

Для подвійно-симетричних перерізів $y_s = 0$ та $z_s = 0$ і розв'язання формули (I.16) має вигляд:

$N_{cr,1} = N_{cr,y}$, $N_{cr,2} = N_{cr,z}$, (згинальна втрата стійкості) та $N_{cr,3} = N_{cr,T}$ (крутильна втрата стійкості)

(4) Наближені формули гнучкості для деяких поперечних перерізів наведено у I.6(2).

I.6 Гнучкість у разі втрати стійкості за крутильною або згинально-крутильною формою

(1) Загальна формула (I.23) для відносної гнучкості $\bar{\lambda}_{LT}$ у випадку

втрати стійкості за крутильною або крутильно-згинальною формою

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{A_{eff} f_o}{N_{cr}}}, \quad (I. 23)$$

де

A_{eff} — ефективна площа для крутильної та крутильно-згинальної втрати стійкості, див. 8.3.1.3, таблиця 8.6;

N_{cr} — пружне критичне навантаження для крутильної втрати стійкості з урахуванням взаємодії зі згинальною втратою стійкості у разі потреби (крутильно-згинальна втрата стійкості). Див. I.5.

(2) Інакше, для перерізів з таблиці I.8, за формулами (I.24) — (I.27) отримаємо:

$$\bar{\lambda}_{LT} = k \lambda_t \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{A_{eff} f_o}{A E}}, \quad (I. 24)$$

де k отримують з рисунка I.3 або обчислюють за формулою:

$$k = \sqrt{\frac{2Xs^2}{1 + s^2 - \sqrt{(1 + s^2)^2 - 4Xs^2}}}, \quad (I. 25)$$

де $X > 0$, а s отримують з таблиці I.8.

λ_t обчислюють за формулою:

1) для кутиків, таврів, хрестів

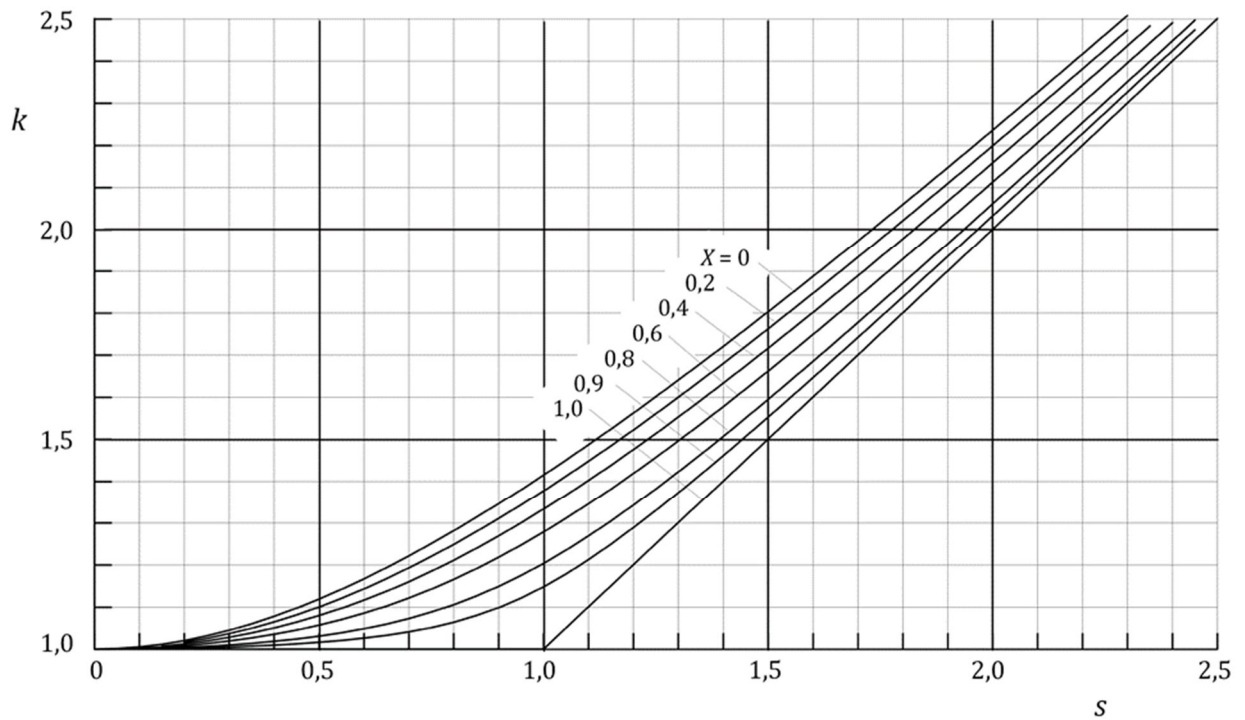
$$\lambda_t = \lambda_0 \quad (I. 26)$$

2) для мілких та глибоких швелерів

$$\lambda_t = \frac{\lambda_0}{\sqrt{1 + Y \lambda_0^2 / \lambda_y^2}} \quad (I. 27)$$

Таблиця I.8 містить формули для λ_0 та Y , а також s та X (що необхідні для обчислення (I.25) та для рисунка I.3).

У формулі (I.27) величина λ_y має дорівнювати ефективній гнучкості для втрати стійкості колоною навколо осі у-у (див. таблицю I.8, випадки 15 — 18).



Умовні позначки:

s — див. визначення в таблиці I.8

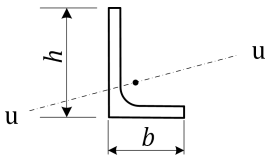
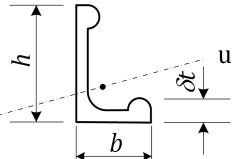
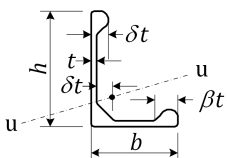
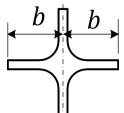
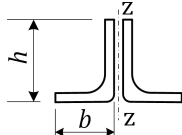
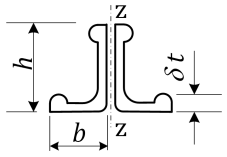
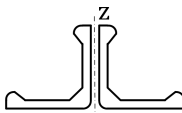
Рисунок I.3 — Крутильна втрата стійкості стиснутих елементів, коефіцієнт взаємодії k

Таблиця I.8 — Параметри крутильної втрати стійкості для стиснутих елементів a, b, c, d

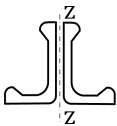
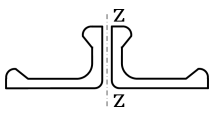
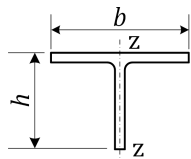
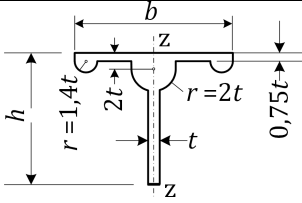
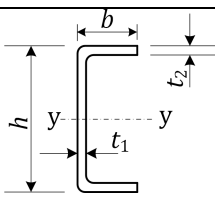
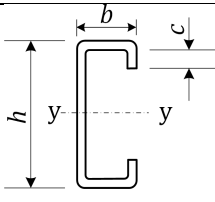
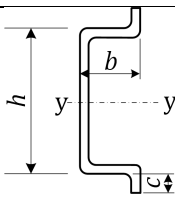
	$\rho \leq 5$ Див ^c для ρ	$\lambda_0 = 5b/t - 0,6\rho^{1,5}(b/t)^{0,5}$ $s = \lambda_u/\lambda_0$ $X = 0,6$
	$\rho \leq 5$ $1 \leq \delta \leq 2,5$ Див ^c для ρ	$\lambda_0 = 5b/t - 0,6\rho^{1,5}(b/t)^{0,5}$ $-(\delta - 1)[2(\delta - 1)^2 - 1,5\rho]$ $s = \lambda_u/\lambda_0$ $X = 0,6$

Продовження таблиці I.8

	$b/t = 20$ $r_i/t = 2$ $\delta = 3$ $\beta \approx 4$	$\lambda_0 = 66$ $s = \lambda_u/\lambda_0$ (Рівні полицки) $X = 0,61$

	Див. примітку 3 для r_i	
4 	$\rho \leq 5$ $0,5 \leq b/h \leq 1$ Див ^c для ρ	$\lambda_0 = \frac{h}{t} \left[4,2 + 0,8 \left(\frac{b}{h} \right)^2 \right] - 0,6 \rho^{1,5} \left(\frac{h}{t} \right)^{0,5}$ $s = [1 + 6(1 - b/h)^2] \lambda_u / \lambda_0$ $X = 0,6 - 0,4(1 - b/h)^2$
5 	$\rho \leq 5$ $0,5 \leq b/h \leq 1$ $1 \leq \delta \leq 2,5$ Див ^c для ρ	$\lambda_0 = \frac{h}{t} \left[4,2 + 0,8 \left(\frac{b}{h} \right)^2 \right] - 0,6 \rho^{1,5} \left(\frac{h}{t} \right)^{0,5} + 1,5 \rho (\delta - 1) - 2(\delta - 1)^3$ $s = [1 + 6(1 - b/h)^2] \lambda_u / \lambda_0$ $X = 0,6 - 0,4(1 - b/h)^2$
6 	$h/t = 20$ $b/t = 15$ $r_i/t = 2$ $\delta = 3$ $\beta \approx 4$ Див. ^c для r_i	$\lambda_0 = 57$ $s = 1,4 \lambda_u / \lambda_0$ $X = 0,6$ (не рівні полиці, однакові потовщення)
7 	$\rho \leq 3,5$ Див ^c для ρ	$\lambda_0 = 5,1 b/t - \rho^{1,5} (b/t)^{0,5}$ $X = 1$
8 	$\rho \leq 5$ $0,5 \leq h/b \leq 2$ Див ^c для ρ	$\lambda_0 = [4,4 + 1,1(b/h)^2] b/t - 0,7 \rho^{1,5} (b/t)^{0,5}$ $s = \lambda_z / \lambda_0$ $X = 1,1 - 0,3 h/b$
9 	$\rho \leq 5$ $0,5 \leq b/h \leq 2$ $1 \leq \delta \leq 2,5$ Див ^c для ρ	$\lambda_0 = [4,4 + 1,1(b/h)^2] b/t - 0,7 \rho^{1,5} (b/t)^{0,5} + 1,5 \rho (\delta - 1) - 2(\delta - 1)^3$ $s = \lambda_z / \lambda_0$ $X = 1,1 - 0,3 h/b$
10 	Переріз із кутиків, як у випадку 3.	$\lambda_0 = 70$ $s = \lambda_z / \lambda_0$ $X = 0,83$

Продовження таблиці І.8

11		Переріз із кутиків, як у випадку 6.	$\lambda_0 = 60$ $s = \lambda_z / \lambda_0$ $X = 0,76$
12		Переріз із кутиків, як у випадку 6.	$\lambda_0 = 63$ $s = \lambda_z / \lambda_0$ $X = 0,89$
13		$\rho \leq 3,5$ $0,5 \leq b/h \leq 2$ Див ^c для ρ	$\lambda_0 = (1,4 + 1,5 b/h + 1,1 h/b) h/t$ $- \rho^{1,5} (h/t)^{0,5}$ $s = \lambda_z / \lambda_0$ $X = 1,3 - 0,8 h/b + 0,2 (h/b)^2$
14		$h/t = 25$ $b/h = 1,2$ $ri/t = 0,5$ Див. с для ri	$\lambda_0 = 65$ $s = \lambda_z / \lambda_0$ $X = 0,78$
15		$1 \leq h/b \leq 3$ $1 \leq t_2/t_1 \leq 2$	$\lambda_0 = (b/t_2)(7 + 1,5(h/b)t_2/t_1)$ $s = \lambda_y / \lambda_t$ $X = 0,38 h/b + 0,04 (h/b)^2$ $Y = 0,14 - 0,02 h/b - 0,02 t_2/t_1$
16		$1 \leq h/b \leq 3$ $c/b \leq 0,4$	$\lambda_0 = (b/t)(7 + 1,5(h/b) + 5c/b)$ $s = \lambda_y / \lambda_t$ $X = 0,38 h/b - 0,04 (h/b)^2 - 0,25 c/b$ $Y = 0,12 - 0,02 h/b + \frac{(c/b)^2}{h/b - 0,5}$
17		$1 \leq h/b \leq 3$ $c/b \leq 0,4$	$\lambda_0 = (b/t)(7 + 1,5(h/b) + 5c/b)$ $s = \lambda_y / \lambda_t$ $X = 0,38 h/b - 0,04 (h/b)^2$ $Y = 0,12 - 0,02 h/b + \frac{0,05 (c/b)^2}{h/b - 0,5}$

Кінець таблиці І.8

18		$h/t = 32$ $b/h = 0,5$ $r_i/t = 2$ Див. ^c для r_i	$\lambda_0 = 126$ $s = \lambda_y/\lambda_t$ $X = 0,59$ $Y = 0,104$
^a Перерізи загалом мають постійну товщину t, крім класів 14 та 15; ^b λ_u, λ_y або λ_z— гнучкості для втрати стійкості навколо осі u-u, y-y або z-z відповідно; ^c ρ — коефіцієнт, що залежить від об'єму матеріалу у внутрішньому куті перерізу наступним чином: закруглений кутовий шов $\rho = r/t$ кутовий шов 45° $\rho = 1,6z/t$, r_i — внутрішній радіус Значення для λ_0, X та Y дійсні лише в обумовлених границях. У випадку кутиків, скріплених зовнішніми гранями (випадки 8—12) формули недійсні, якщо проміжок між кутиками більший ніж $2t$.			

ДОДАТОК J

(довідковий)

ЕФЕКТ ЗАПІЗНЕННЯ ЗСУВУ ПІД ЧАС РОЗРАХУНКУ ЕЛЕМЕНТА**J.1 Застосування цього додатка**

(1) Цей довідковий додаток містить додаткові вказівки до наведених у пунктах 7.2.1, 8.2.1, 8.2.2 та 8.2.7.

Примітка. Національний вибір щодо застосування цього довідкового додатка наведено в національному додатку. Цей додаток можна застосовувати, за умови, що національний додаток не містить інформації щодо його застосування.

J.2 Сфера та область застосування

(1) Ефект запізнення зсуву у полицях дозволено не враховувати за умови, що $b_0 < L_e/50$, де ширина полиці b_0 , прийнята як довжина консольної частини або половина ширини внутрішньої частини перерізу, а L_e — відстань між точками нульового згинального моменту, див. J.3.1(2).

(2) Запізнення зсуву у фланцях можна знехтувати в граничних станах за несною здатністю для опорних зон, консолей і зон із зосередженим навантаженням, якщо $b_0 < L_e/25$ і для прогнутих зон згину, якщо $b_0 < L_e/15$.

(3) Якщо вищевказані обмеження перевищено, то ефект запізнення зсуву у полицях рекомендовано враховувати у перевірках граничних станів за експлуатаційною придатністю та за втомою, застосовуючи ефективну ширину згідно з J.3.1 і розподіл напружень згідно з J.3.2. Ефективну ширину для граничних станів за несною здатністю наведено у J.4.

(4) Напруження у пружній області роботи від передачі місцевих навантажень у площині на стінку перерізу через його полицю рекомендовано визначати згідно з J.3.3.

Ж.3 Ефективна ширина для ефекту пружного запізнення зсуву

Ж.3.1 Коефіцієнт розрахункової ширини для запізнення зсуву

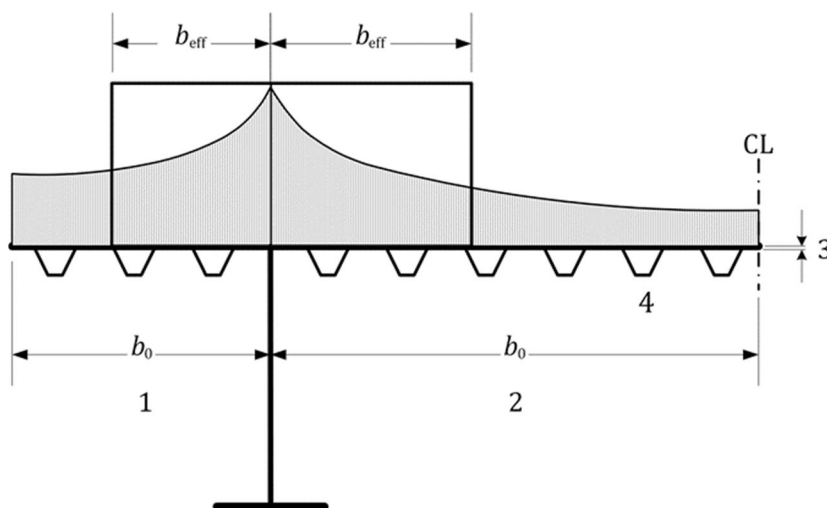
(1) Ефективну ширину b_{eff} (рисунок Ж.1) для врахування ефекту запізнення зсуву у пружній області роботи рекомендовано визначати за формулою (Ж.1):

$$b_{\text{eff}} = \beta_s b_0, \text{ (Ж. 1)}$$

де коефіцієнт розрахункової ширини β_s наведено у таблиці Ж.1.

Примітка. Ефективна ширина може бути застосована до граничних станів експлуатаційної придатності.

(2) За умови, що сусідні внутрішні прогони не відрізняються більше ніж на 50%, а консольний прогін не довший за половину сусіднього прогону, ефективну ширину L_e дозволено визначати за рисунком Ж.2. У інших випадках L_e має дорівнювати відстані між сусідніми точками нульового згинального моменту.



Умовні позначки:

1 — для консольної полиці

2 — для внутрішньої полиці

3 — товщина пластини t

4 — елементи жорсткості

$$A_{\text{st}} = \sum A_{\text{st},i}$$

Рисунок Ж.1 — Позначення для запізнення зсуву

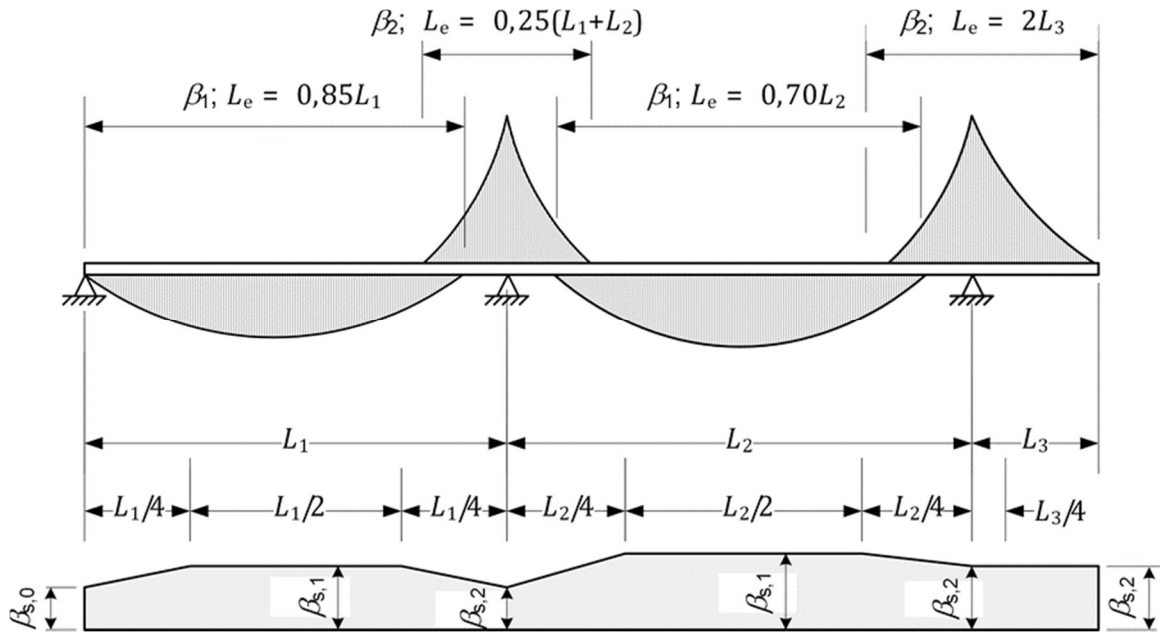


Рисунок J.2 — Ефективна довжина L_e для жорстких балок та розподіл ефективної ширини

Таблиця J.1 — Коефіцієнт ефективної ширини β_s

κ	Область перевірки	β_s
$\kappa \leq 0,02$		$\beta_s = 1,0$
$0,02 < \kappa \leq 0,70$	Прогин униз	$\beta_s = \beta_{s,1} = \frac{1}{1 + 6,4\kappa^2}$
	Вигин вгору	$\beta_s = \beta_{s,2} = \frac{1}{1 + 6,0(\kappa - 0,0004/\kappa) + 1,6\kappa^2}$
$\kappa > 0,70$	Прогин униз	$\beta_s = \beta_{s,1} = \frac{1}{5,9\kappa}$
	Вигин вгору	$\beta_s = \beta_{s,2} = \frac{1}{8,6\kappa}$
All κ	Кінцеві опори	$\beta_{s,0} = (0,55 + 0,025/\kappa)\beta_{s,1}$ але $\beta_{s,0} \leq \beta_{s,1}$
All κ	Консоль	$\beta_s = \beta_{s,2}$ на опорі і на кінці

Умовні позначки:

$$\kappa = a_0 b_0 / L_e \text{ з } a_0 = \sqrt{1 + A_{st} / (b_0 t)}$$

де A_{st} площа усіх поздовжніх елементів жорсткості в межах ширини b_0 , а інші позначки відповідають наведеним на рисунках J.1 та J.2.

J.3.2 Розподіл напружень для запізнення зсуву

(1) Розподіл поперек пластини поздовжніх напружень, спричинених ефектом запізнення зсуву, рекомендовано приймати згідно з таблицею J.2.

Таблиця J.2 — Розподіл поперек пластини поздовжніх напружень, спричинених ефектом запізнення зсуву

$\beta_s > 0,20$ $a_2 = 1,25(\beta_s - 0,20)\sigma_1$ $\sigma(y) = \sigma_2 + (\sigma_1 - \sigma_2)(1 - y/b_0)^4$ σ_1 обчислено з урахуванням ефективної ширини полиці b_{eff}	$\beta_s \leq 0,20$ $a_2 = 0$ $\sigma(y) = \sigma_1(1 - y/b_1)^4$ σ_1 обчислено з урахуванням ефективної ширини полиці b_{eff}

J.3.3 Ефекти від передачі зусиль у площині

(1) Розподіл пружних напружень у підкріпленій або непідкріпленій пластині, викликаний місцевою передачею зусиль у площині (див. рисунок J.3), рекомендовано визначати за формулою J.2):

$$\sigma_1 = \frac{F_{Ed}}{b_{eff}(t + a_{st,1})} \quad (J.2)$$

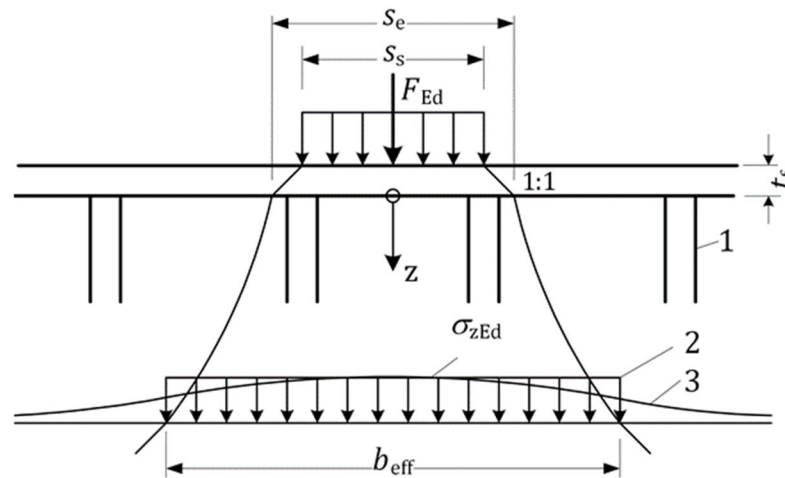
3

$$b_{eff} = s_e \sqrt{1 + \left(\frac{z}{s_e n}\right)^2}$$

$$n = 0,636 \sqrt{1 + \frac{0,878 a_{st,1}}{t}}$$

$$s_e = s_s + 2t_f ,$$

де $a_{st,1}$ — площа поперечного перерізу рівномірно розподілених на одиницю довжини елементів жорсткості, тобто площа елемента жорсткості поділена на відстань між їх центрами.



Умовні позначки:

- 1 — елемент жорсткості;
- 2 — спрощений розподіл напружень;
- 3 — фактичний розподіл напружень.

Рисунок J.3 — Передавання навантаження у площині

(2) Розподіл напружень рекомендовано використовувати для перевірки на втому.

J.4 Ефект запізнення зсуву у граничному стані за несною здатністю

(1) У граничному стані за несною здатністю ефект запізнення зсуву дозволено визначити одним із наступних методів:

- а) пружні ефекти запізнення зсуву;
- б) взаємодія ефектів запізнення зсуву з геометричними ефектами від втрати стійкості пластини;
- с) пружно-пластичні ефекти запізнення зсуву з урахуванням обмежених пластичних деформацій.

(2) Метод а) рекомендовано застосовувати в граничних станах експлуатаційної придатності та втоми, метод б) рекомендовано для

граничного стану за несною здатністю для поперечних перерізів класів 4 і 3, а метод с) дозволено застосовувати для поперечних перерізів класів 1 і 2.

(3) Вплив зміни геометрії пластини у випадку втрати стійкості на запізнення зсуву дозволено врахувати, спершу зменшивши ширину полиць до ефективної, як це визначено для граничних станів експлуатаційної придатності, а потім зменшивши товщину до ефективної для місцевої втрати стійкості на основі гнучкості $\square$, що залежить від ефективної ширини для запізнення зсуву.

ДОДАТОК К

(довідковий)

МЕТОД ПЛАСТИЧНИХ ШАРНІРІВ ДЛЯ ЖОРСТКИХ БАЛОК

К.1 Застосування цього додатка

(1) Цей довідковий додаток містить додаткові вказівки до наведених у пунктах 7.4.3 та L.2.

Примітка. Національний вибір щодо застосування цього довідкового додатка наведено в національному додатку. Цей додаток можна застосовувати, за умови, що національний додаток не містить інформації щодо його застосування.

К.2 Сфера та область застосування

(1) Метод пластичних шарнірів призначено для застосування на основі моделі концентрованої пластичності, в якій всі пластичні деформації зосереджено в декількох місцях на відповідних ділянках, в той час як залишкові частини конструкції залишаються пружними. Для алюмінієвих конструкцій застосовують класичний метод пластичних шарнірів з відповідними поправками, для врахування як особливостей зміцнення, так і наявної пластичності матеріалу (див. К.3).

(2) Загальний аналіз конструкції може бути виконано за допомогою нелінійної процедури зі збільшенням навантаження або зміщення, чи, в якості альтернативи, за допомогою пружного глобального розрахунку з перерозподілом моменту. Граничний аналіз також може бути використано для розрахунку граничного навантаження конструкції, за умови правильного розподілу шарнірів.

(3) Передбачається, що матеріал володіє ідеально еквівалентними пружно-ідеально пластичними властивостями, в той час як модель роботи шарнірів передбачено еластично- або жорстко - ідеально пластичною.

(4) Положення цього додатка відносяться до жорстких балок з перерізами класу 1 по довжині балки, без зони термічного впливу і з

коефіцієнтом геометричної форми не більше 1,5. Крім того, всі отвори для кріпильних елементів у розтягнутій полиці мають задовольняти формулу (К.1):

$$A_{f,\text{net}} 0,9 f_u / \gamma_{M2} \geq A_t f_o / \gamma_{M1} \quad (\text{К. 1})$$

за відстані в обидва боки вздовж елемента від місця розташування пластичного шарніра, не меншої ніж більше з двох значень:

- $2h_w$, де h_w — чиста висота стінки балки;
- відстань до найближчої точки, у якій момент в елементі падає до 0,8 від граничного допустимого значення моменту опору у точці розгляду, де

A_f — площа розтягнутої полиці, а $A_{f,\text{net}}$ — площа нетто у перерізі з отворами для кріпильних елементів.

Ці обмеження частково обумовлені тим фактом, що для можливості розвитку повноцінних пластичних механізмів необхідна достатня пластичність конструкції.

(5) Для розрахунків граничний згинальний момент у пластикових шарнірах M_u , рекомендовано розрахувати як зазначено в К.3(3).

К.3 Визначення граничного згинального моменту M_u

(1) Застосовуючи метод пластичних шарнірів до алюмінієвих конструкцій необхідно враховувати як пластичну роботу, так і характер зміцнення сплаву. Це потребує застосування коригувального коефіцієнта η_{ep} границі текучості f_o , див. (4).

(2) За пластичністю розрізняють дві групи сплавів залежно від її номінального значення, обчисленого як $\mu_\varepsilon = \varepsilon_{uni} / (f_o / E)$, де значення ε_{uni} може бути обчислене згідно з додатками F або B

- поперечні перерізи з низькою поворотною здатністю, для яких $\mu_\varepsilon < 10$;

— висока поворотна здатність поперечних перерізів, для яких $\mu_\varepsilon \geq 10$

(3) Граничний згинальний момент у заданому поперечному перерізі, у місці розвитку пластичного шарніра, обчислюють як повний пластичний момент, заданий формулою (К.2):

$$M_u = \alpha_0 \eta_{ep} f_o W_{el} ,$$

де

α_0 — коефіцієнт геометричної форми поперечного перерізу згідно з додатком Н;

η_{ep} — коригувальний коефіцієнт, визначений у (5), для врахування як зміцнення, так і пластичності;

W_{el} — модуль пружності поперечного перерізу бруто (див. 8.2.5.1)

(4) Коригувальний коефіцієнт η_{ep} для врахування як особливостей зміцнення, так і наявної пластичності матеріалу. Він встановлений таким чином, щоб розрахунок за методом пластичних шарнірів забезпечує фактичну граничну несну здатність конструкції. У загальному випадку η_{ep} виражається формулою (К.3):

$$\eta_{ep} = \frac{1}{a_{ep} - \frac{b_{ep}}{n_p^{c_{ep}}}} , \text{ але } \eta_{ep} \leq \frac{\frac{f_u}{\gamma_{M2}}}{\frac{f_o}{\gamma_{M1}}} \quad (\text{К. 3})$$

де η_p показник ступеня твердості сплаву за моделлю Рамберга–Осгуда, обчислений для зони пластичних деформацій (див. 5.2.2). Коефіцієнти a_{ep} , b_{ep} та c_{ep} з формули (К.3) наведено у таблиці К.1, а значення коригувальних коефіцієнтів η_{ep} показано на рисунку К.1, у вигляді функції η_{ep} для різних значень коефіцієнта геометричної форми ($\alpha_0 = 1,1$ і $1,5$). Для визначення проміжних значень α_0 та χ_u можливо застосувати лінійну інтерполяцію.

(5) Граничний опір конструкції, обчислений методом пластичних шарнірів за формулою (К.2) з $\eta_{ep} < 1$, не має бути нижче опору, обчисленого за допомогою лінійно-пружного розрахунку. Якщо ж таке

перевищення має місце, рекомендовано застосовувати результат пружного розрахунку.

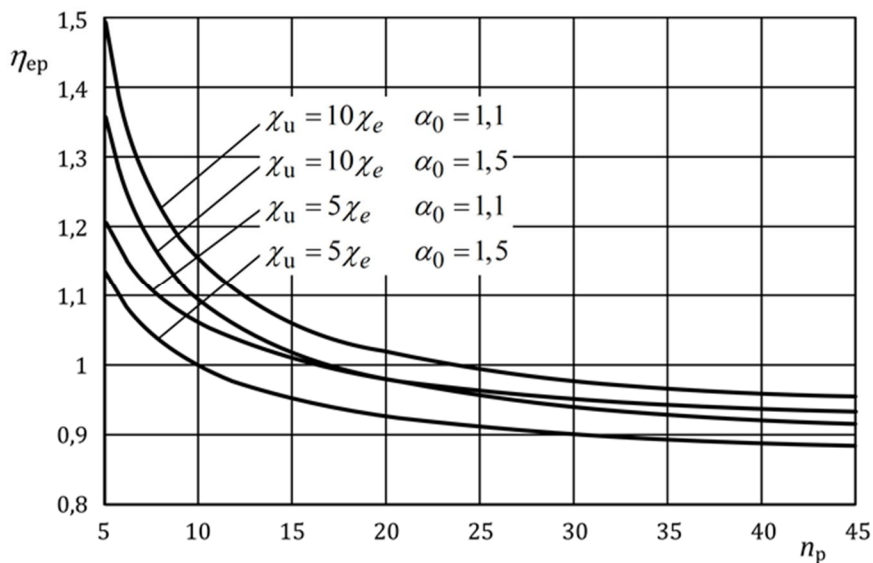


Рисунок К.1 — Значення коригувального коефіцієнта η_{ep}

Таблиця К.1 — Значення коефіцієнтів a_{ep} , b_{ep} та c_{ep}

Коефіцієнти моделі $\eta_{ep} = \frac{1}{a_{ep} - b_{ep}/n_p^{c_{ep}}}$	$\alpha_0 = 1,1$		$\alpha_0 = 1,5$	
	Низька поворотна здатність поперечного перерізу ($\chi_u = 10\chi_e$)	Висока поворотна здатність поперечного перерізу ($\chi_u = 10\chi_e$)	Низька поворотна здатність поперечного перерізу ($\chi_u = 5\chi_e$)	Висока поворотна здатність поперечного перерізу ($\chi_u = 10\chi_e$)
a_{ep} ,	1,15	1,13	1,20	1,18
b_{ep}	0,95	1,70	1,00	1,50
c_{ep}	0,66	0,81	0,70	0,75

ДОДАТОК L

(довідковий)

**ПЛАСТИЧНІСТЬ ПОПЕРЕЧНОГО ПЕРЕРІЗУ ТА ПОВОРОТНА
ЗДАТНІСТЬ****L.1 Застосування цього додатка**

Цей довідковий додаток містить додаткові вказівки до наведених у пунктах 7.4.1, 8.1.4 та Н.6.

Примітка. Національний вибір щодо застосування цього довідкового додатка наведено в національному додатку. Цей додаток можна застосовувати, за умови, що національний додаток не містить інформації щодо його застосування.

L.2 Сфера та область застосування

(1) Цей довідковий додаток застосовний до поперечних перерізів класів 1, 2, 3 з метою визначення їх граничного опору і граничної кривизни з урахуванням виникнення місцевої деформації і знеміцнення зони термічного впливу частин поперечного перерізу в зоні пружних або пластичних деформацій.

(2) В цьому додатку також наведено рекомендації щодо визначення поворотної здатності алюмінієвих балок.

(3) Як граничну кривизну приймають або кривизну, що відповідає максимальній фактичній деформації, що спричиняє руйнування матеріалу, або кривизну, обумовлену роботою внаслідок місцевого вигину, коли момент опору падає нижче стандартного пружного граничного моменту $M_o = W_{el} f_o$.

(4) Якщо діаграму деформацій матеріалу не оцінюють за допомогою спеціальних випробувань зі зразками, потрібно послатися на властивості матеріалу, наведені в розділі 5, а граничну деформацію розумно прийняти рівною мінімальному подовженню матеріалу, зазначеному в розділі 5 для різних сплавів.

(5) Граничний опір балки вигину може бути розрахований за допомогою:

- розрахунку момент/кривизна поперечного перерізу, що враховує нелінійну роботу матеріалу у напружено-деформованому стані (наприклад, закон Рамберга–Осгуда) і виникнення місцевої втрати стійкості, як в пружному, так і в пластичному діапазоні, залежно від відношення ширини до товщини частин поперечного перерізу пластини, що утворюють переріз;
- скінченно-елементної моделі, що враховує як геометричну, так і фізичну нелінійність і включає вплив геометричних недосконалостей;
- емпіричних співвідношень, заснованих на доступних результатах випробувань та/або результатах числового моделювання.

(6) Поворотну здатність алюмінієвих балок можливо розділити на дві складові: стабільну складову поворотної здатності R_0 , що дорівнює відношенню повороту, який відповідає досягненню максимального моменту опору, до граничного пружного повороту, і нестабільну складову, обумовлену роботою після втрати стійкості (рисунк L.1).

(7) Повну поворотну здатність R , з урахуванням роботи після втрати стійкості, визначають як відношення граничного повороту, що відповідає першому падінню моменту опору нижче M_0 , до граничного пружного повороту (рисунк L.1).

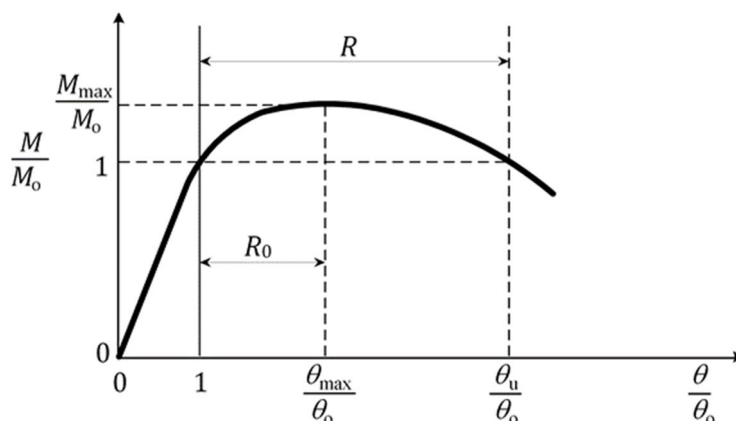


Рисунок L.1 — Визначення поворотної здатності

(8) Стабільну складову поворотної здатності R_0 можливо обчислити:

- об'єднавши значення кривизни вздовж довжини зсуву балки, що

дорівнює відстані між точкою нульового моменту і ділянкою, де очікується формування пластичного шарніра;

— через емпіричні співвідношення, на основі доступних експериментальних результатах та/або результатах числового моделювання на основі скінченно-елементних моделей.

(9) Загальну поворотну здатність R можливо обчислити за допомогою:

— скінченно-елементної моделі, що враховує як геометричну, так і фізичну нелінійність і включає вплив геометричних недосконалостей;

— емпіричних співвідношень, заснованих на доступних результатах випробувань та/або результатах числового моделювання.

L.3 Аналіз залежності «момент/кривизна» для поперечного перетину

(1) Розрахунок момент/кривизна може бути виконаний стандартними методами конструкційних розрахунків за умови врахування місцевої втрати стійкості та геометричних недосконалостей.

(2) Місцеву втрату стійкості, як у зоні пружних так і у зоні пластичних деформацій, може бути враховано за допомогою методу ефективної товщини згідно з 8.1.5, де показник гнучкості β для плоских частин поперечного перерізу рекомендовано приймати за формулою (L.1) як

$$\frac{\beta}{\varepsilon_0} = 17,54\eta \frac{b}{t} \sqrt{\frac{\varepsilon_1}{\mu\zeta\alpha_{Ls}}},$$

де

$\varepsilon_0 = \sqrt{250/f_0}$ (позначено як ε у таблиці 8.1);

η — коефіцієнт градієнта, наведений у пункті 8.1.4.3. У такому випадку коефіцієнт має залежати від деформації по краях розглянутої частини поперечного перерізу ($\psi = \varepsilon_2/\varepsilon_1$, де ε_1 — максимальна деформація під час стиску, а ε_2 — мінімальна деформація; в умовах стиску

обидва значення вважають додатними);

μ — коригувальний коефіцієнт для втрати стійкості у зоні пластичних деформацій згідно з параграфом (3);

ζ — коригувальний коефіцієнт для спільної втрати стійкості згідно з параграфом (6);

α_{Ls} — підвищуючий коефіцієнт, обумовлений градієнтом поздовжнього напруження згідно з параграфом (8)

Примітка. Спільна втрата стійкості — втрата стійкості, що відбувається у різних частинах поперечного перерізу одночасно.

(3) Коригувальний коефіцієнт μ для згину у зоні пластичних деформацій має відповідати формулі (L.2):

$$= \xi \frac{E}{E_s} \frac{1}{1 - \nu^2} \quad (\text{L. 2})$$

де ν — коефіцієнт Пуассона для пружно-пластичної ділянки згідно з параграфом (5), а для випадків, коли до матеріалу застосовують модель Рамберга–Осгуда, ξ обчислюють за формулою (L.3);

$$\xi = \frac{E_s}{E} \left(\frac{n-8}{n} + \frac{8}{n} \sqrt{\frac{E_t}{E_s}} \right) \quad (\text{L. 3})$$

де

n — показник ступеня у формулі «напруження-деформація» за законом Рамберга–Осгуда, E_t — дотичний модуль пружності і

E_s — січний модуль пружності, що залежить від рівня деформації, як задано у формулах (L.4) та (L.5).

$$E_s = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (\text{L. 4})$$

$$E_t = \frac{1}{\frac{1}{E} + \frac{0,002n}{f_0} \left(\frac{\sigma}{f_0} \right)^{n-1}} \quad (\text{L. 5})$$

(4) Для частин поперечного перерізу, підданих нерівномірному стиску, формули (L.2) — (L.3) рекомендовано застосовувати з урахуванням рівня

деформації, що відповідає середній деформації під час стиску ($\varepsilon_1 / 2$), визначеної для стиснутої частини досліджуваної балки.

(5) Коефіцієнт Пуассона у пружно-пластичному діапазоні має бути заданий формулою (L.6):

$$v = v_p - \frac{E_t}{E_s}(v_p - v_e) \quad (\text{L. 6})$$

де $v_e = 0,30$ — коефіцієнт Пуассона у пружно-пластичному діапазоні, і $v_p = 0,50$ — коефіцієнт Пуассона для ідеально пластичного матеріалу.

(6) За відсутності конкретної інформації коригувальний коефіцієнт для спільної втрати стійкості ζ потрібно приймати рівним 1,0, в іншому випадку для поперечних перерізів з постійною товщиною:

— для частин поперечного перерізу пластини, що працюють як полиці, з'єднані зі стінками по обох краях (крива 1 на рисунку L.2) згідно з формулою (L.7):

$$\zeta = 1,75 - \frac{0,45b_2/b_1}{0,15 + b_2/b_1} - 0,022\,75(b_2/b_1)^3 \geq 1 \quad (\text{L. 7})$$

— для частин поперечного перерізу пластини, що працюють як полиці, з'єднані зі стінкою одним краєм та з відгином — другим краєм (крива 2 на рисунку L.2) згідно з формулою (L.8):

$$\zeta = 1,35 - \frac{0,35b_2/b_1}{0,60 + b_2/b_1} - 0,005\,0(b_2/b_1)^3 \geq 1 \quad (\text{L. 8})$$

— для непідкріплених частин поперечного перерізу, що працюють як полиці (Рисунок L.3), як задано формулою (L.9):

$$\zeta = 3,00 - \frac{1,882b_2/b_1}{2,0 + b_2/b_1} - 0,005\,9(b_2/b_1)^3 \geq 1 \quad (\text{L. 9})$$

— для полиць швелера, що працюють як зігнуті частини поперечного перерізу (рисунок L.4), як задано формулою (L.10):

$$\zeta = \frac{(6 + 2\Psi)(1 + b_2/b_1)}{2 + 3\,b_2/b_1} \geq 1 \quad (\text{L. 10})$$

Де Ψ — відношення напруження на краях розгляданої пластини до максимального напруження стиску (див. 8.1.4.3).

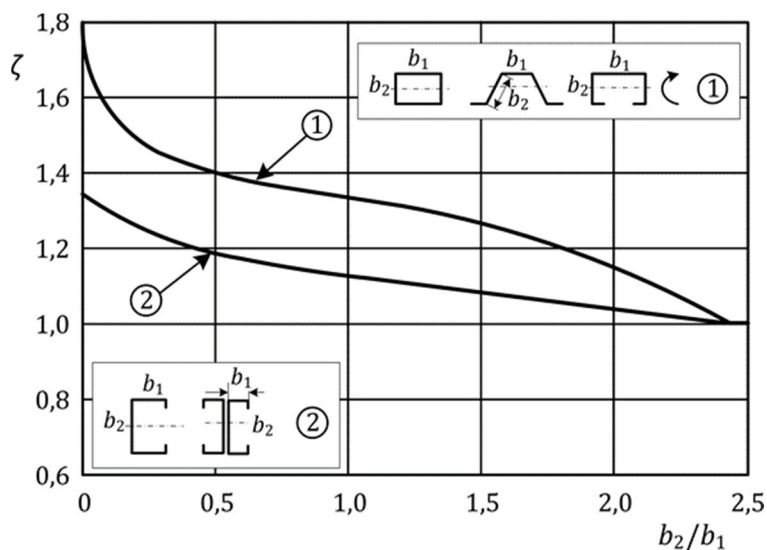


Рисунок L.2 — Коригувальний коефіцієнт для спільної втрати стійкості для підкріплених стиснутих частин балок

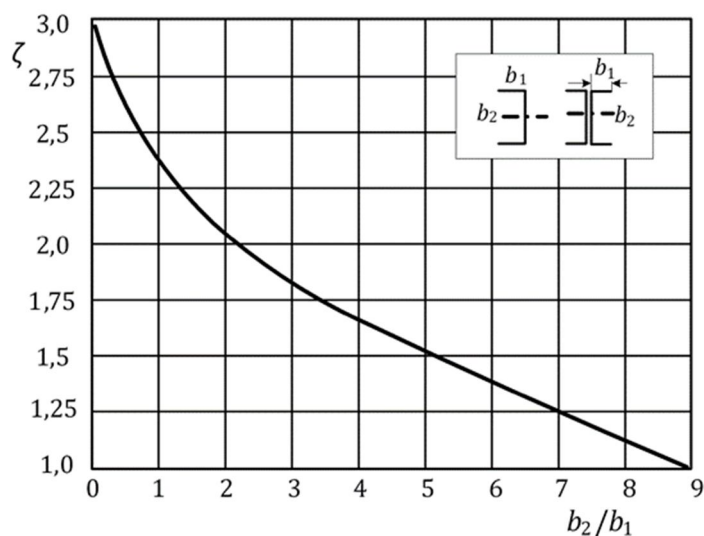


Рисунок L.3 — Коригувальний коефіцієнт для спільної втрати стійкості для невідкріплених стиснутих частин балок

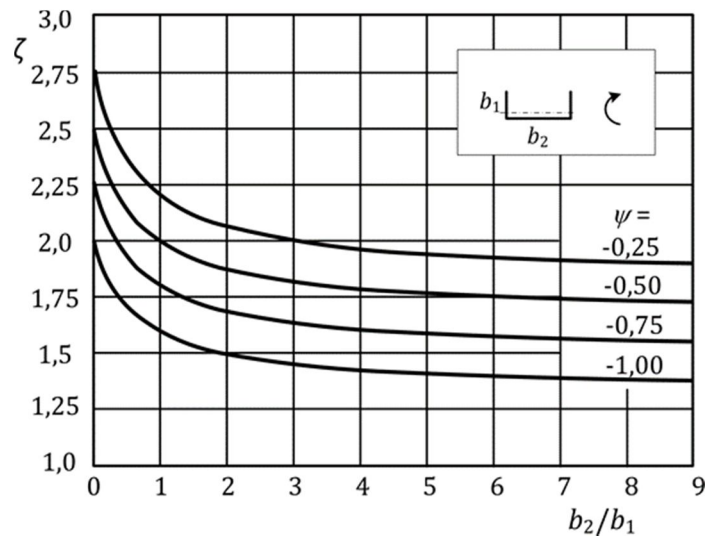


Рисунок L.4 — Коригувальний коефіцієнт для спільної втрати стійкості полиць швелерів як зігнутих частин

(7) Коригувальний коефіцієнт, що враховує вплив градієнта поздовжніх напружень, може бути обчислений наступним чином:

— для плоскої внутрішньої стиснутої частини поперечного перерізу, за формулою (L.11):

$$\alpha_{Ls} = 1 + \frac{0,425}{(L_s/b)^{0,75} - 0,2} \quad (\text{L. 11})$$

— для плоскої консольної стиснутої частини, за формулою (L.12):

$$\alpha_{Ls} = 1 + \frac{4}{(L_s/b)^{0,95} - 0,6} \quad (\text{L. 12})$$

де L_s — довжина зсуву, і b — ширина стиснутої частини поперечного перерізу. Довжина зсуву дорівнює відстані між точкою нульового моменту і ділянкою, де виникає максимальний згинальний момент.

(8) Ефективну товщину стиснутої частини поперечного перерізу пластини обчислюють за формулою (L.13):

$$t_{\text{eff}} = \rho t \quad (\text{L. 13})$$

де понижувальний коефіцієнт ρ задано кривими втрати стійкості у 8.1.5.

(9) Для поздовжньо зварених елементів, матеріал зони термічного

впливу може бути змодельовано за допомогою $f_{o,haz}$ згідно з 5.2.2. Значення n для деформаційно зміцнюваних сплавів рекомендовано приймати як $n = 6$, а для сплавів дисперсійного твердіння $n = 8$. Використовувати ефективну товщину для зони термічного впливу не рекомендовано.

(10) Можна припустити, що граничний опір вигину дорівнює максимальному згинальному моменту M_{max} , отриманому в результаті розрахунку залежності моменту від кривизни поперечного перерізу, за умови закріплення від поперечно-крутильної втрати стійкості (рис. L.5).

(11) Пластичність поперечного перерізу є показником його здатності до пластичної деформації. Її можна задати відношенням χ_u/χ_0 граничної кривизни χ_u до кривизни, що відповідає границі пружності χ_0 . Гранична кривизна, включно з роботою за межею втрати стійкості, — це кривизна, досягнута під час роботи після втрати стійкості, коли опір згину падає до нижче пружного граничного моменту M_0 (рис. L.5). У будь-якому випадку гранична кривизна не може перевищувати обумовлене граничною деформацією матеріалу значення, що відповідає руйнуванню матеріалу.

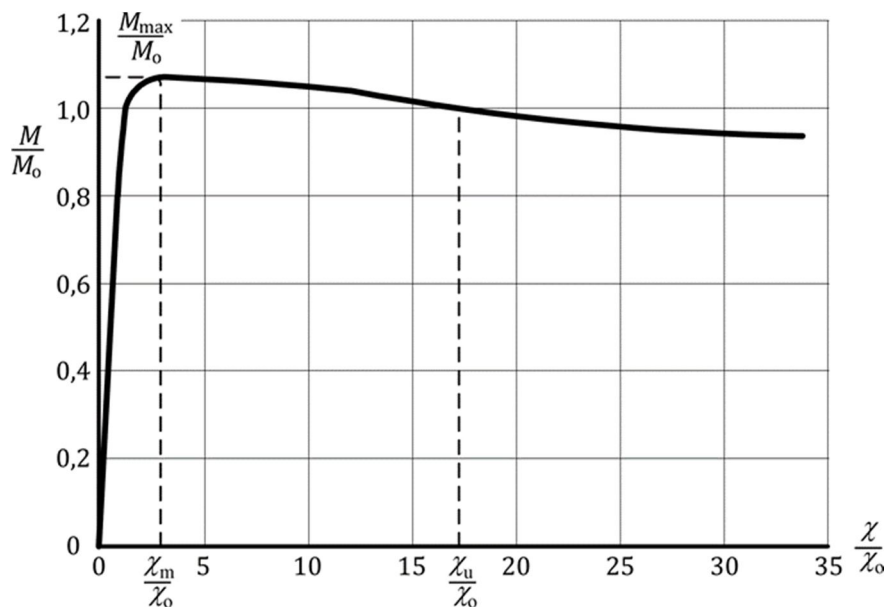


Рисунок L.5 — Розрахунок момент/кривизна включно з роботою після втрати стійкості

L.4 Розрахунок поворотної здатності

(1) Стабільну складову R_0 та повну поворотну здатність R визначають за формулами (L.14) та (L.15):

$$R_0 = \frac{\theta_{\max}}{\theta_o} - 1 \quad (\text{L. 15})$$

$$R = \frac{\theta_u}{\theta_o} - 1 \quad (\text{L. 16})$$

де $\theta_{\max}$ та θ_u відповідають, відповідно, досягненню пікового моменту $M_{\max}$ і рівню деформації, що виникає, коли опір згину падає нижче стандартного пружного моменту M_o ($M_{0,2}$), через спадання кривої залежності «момент-поворот» після виникнення місцевої втрати стійкості.

(2) Поворот, що відповідає стандартній межі пружності, рекомендовано обчислювати за формулою (L.16):

$$\theta_o = \frac{M_o L_s}{2 E I} = \frac{f_o L_s}{2 E z_f} \quad (\text{L. 16})$$

де L_s — довжина зсуву, що дорівнює відстані між точкою нульового моменту і критичним перерізом, а z_f — відстань між нейтральною віссю та середньою лінією стиснутої полиці.

(3) Поворот $\theta_{\max}$, що відповідає досягненню граничного опору вигину, рекомендовано розраховувати за допомогою об'єднання діаграми кривизни для довжини зсуву конструкційного елемента, який потрібно приймати за формулою (L.17), як:

$$\theta_{\max} = \int_0^{L_s} \chi[M(x)] dx \quad (\text{L. 17})$$

де $\chi[M(x)]$ — кривизна, що відповідає згинальному моменту $M(x)$, обчисленому на відстані x від точки нульового моменту.

(4) Граничне значення повороту θ_u рекомендовано приймати згідно

формули (L.18), як:

$$\theta_u = \theta_{\max} + (\chi_u - \chi_m)L_{ph} \quad (L.18)$$

де χ_u — гранична кривизна, χ_m — кривизна, що відповідає досягненню граничного згинального моменту, і L_{ph} — довжина пластичного шарніра, що дорівнює відстані між точками, де виникає χ_y та χ_u .

L.5 Емпіричні співвідношення для визначення граничного опору

(1) Для балок, виготовлених із матеріалу у станах обробки T4, T5 і T6, співвідношення між граничним моментом опору і стандартним граничним пружним моментом M_o можливо обчислити як функцію безрозмірних геометричних параметрів, що описують поперечний переріз та довжину зсуву:

— показник гнучкості полиць, що визначають за формулами (L.19) і (L.20) як:

$$\lambda_f = 0,52 \frac{b}{t_f} \sqrt{\frac{f_o}{E}} \text{ — для внутрішньої частини поперечного перерізу (L.19)}$$

$$\lambda_f = 0,807 \frac{b}{t_f} \sqrt{\frac{f_o}{E}} \text{ — для консольної частини поперечного перерізу (L.20)}$$

— параметр, що враховує обмежувальну дію стінки, тобто коефіцієнт гнучкості полиці до стінки, заданий формулами (L.21) і (L.22)

— для прямокутних і квадратних порожнистих профілів:

$$\alpha_s = \frac{bt_w}{ht_f} \quad (L.21)$$

— для двотаврових (подвійних таврових) поперечних перерізів:

$$\alpha_s = \frac{bt_w}{2ht_f} \quad (L.22)$$

— безрозмірна довжина зсуву L_s/b , тобто параметр, що враховує вплив градієнта моменту. L_s — відстань між точкою нульового моменту і

критичним перерізом, де очікується розвиток пластичного шарніра, а b — ширина полиці поперечного перерізу.

(2) Для сплавів, в яких основний закон напруження-деформації характеризується значенням показника ступеня n у формулі Рамберга–Осгуда в діапазоні від 8 до 55, і для значень f_0 в діапазоні від 110 МПа до 260 МПа, рекомендовано застосовувати залежність з формули (L.23) для $M_{\max}/M_0$:

$$\frac{M_{\max}}{M_0} = \frac{1}{C_0} \left\{ \left[C_1 \left(\frac{L_s}{b} \right) + C_2 \right] \alpha_s + (C_3 n^{C_4}) \left(\frac{L_s}{b} \right)^{(C_5 n + C_6)} \right\} (\lambda_f)^{C_7 \ln(n) + C_8} \quad (\text{L. 23})$$

Де C_i $i = 0, 1, \dots, 8$ — коефіцієнти регресії, значення яких наведено в таблиці L.1 (RHS=поперечний переріз з двома стінками, I, H - поперечний переріз з однією стінкою, наприклад, подвійний тавр), C_0 — коефіцієнт моделі, рівний 1,03, а стандартний граничний пружний момент, потрібно розраховувати згідно з формулою (L.24) як:

$$M_0 = \left(\frac{I_y}{z_f} \right) f_0 \quad (\text{L. 24})$$

де I_y — момент інерції, розрахований на основі моделі товщини середньої лінії поперечного перерізу, а z_f — відстань між нейтральною віссю та середньою лінією стиснутої полиці.

Таблиця L.1 — коефіцієнти регресії для визначення $M_{\max}/M_0$

	C_0	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8
RHS	1,03	-0,00 076	-0,092 82	1,031 8	0,0725 5	-0,0005 9	-0,003 83	0,087 22	-0,426 5
I, H	1,03	0,000 8	-0,376 6	1,498 2	-0,014 9	0,000 2	-0,068 4	0,084 3	-0,471 9

(3) Формула (L.23) є результатом зіставлення з числовими результатами, отриманими за допомогою розширеного скінченно - елементного моделювання, а отже її рекомендовано використовувати в наступних діапазонах параметричного аналізу:

— для прямокутних і квадратних порожнистих профілів:

$$0,27 \leq \lambda_f \leq 0,80$$

$$0,50 \leq \alpha_s \leq 2,00$$

$$6,25 \leq L_s/b \leq 18,75$$

— для двотаврових (подвійних таврових) поперечних перерізів:

$$0,52 \leq \lambda_f \leq 1,24$$

$$0,20 \leq \alpha_s \leq 0,50$$

$$6,25 \leq L_s/b \leq 18,75$$

L.6 Емпіричні співвідношення для поворотної здатності

(1) Для сплавів, згідно з L.5(2) стабільну складову поворотної здатності R_0 можливо отримати з формули (L.25):

$$R_0 = \frac{1}{C_0} C_1 \left(\frac{L_s}{b} \right)^{C_2} \exp \left[\alpha_s C_3 \left(\frac{L_s}{b} \right)^{C_4} - \alpha_s \lambda_f - \lambda_f C_5 n^{C_6} \left(\frac{L_s}{b} \right)^{C_7} \right] \quad (\text{L. 25})$$

з коефіцієнтами регресії, наведеними в таблиці L.2, і коефіцієнтом моделі C_0 , що дорівнює 1,80 для RHS та 1,22 для I, H.

Таблиця L.2 — Коефіцієнти регресії для визначення R_0

	C_0	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7
RHS	1,80	793,8	-0,947 0	-5,769	-1,702 6	4,506	0,241 4	-0,144 5
I, H	1,22	82,83	-0,166 3	1,942	-0,286 8	1,789	0,165 6	0,254 3

(2) Для сплавів згідно з L.5(2) поворотну здатність R можливо отримати з формули (L.26):

$$R = \frac{1}{C_0} \sqrt{\alpha_s} \left[C_1 n^{C_2} \left(\frac{L_s}{b} \right)^{C_3} \right] \exp \left\{ C_4 \alpha_s - \left[C_5 \left(\frac{L_s}{b} \right) + C_6 \ln(n) + C_7 \right] \lambda_f \right\} \quad (\text{L. 26})$$

з коефіцієнтами регресії, наведеними в таблиці L.3, і коефіцієнтом моделі $CC0$, що дорівнює 1,55 для RHS та 1,21 для I, H.

Таблиця L.3 — Коефіцієнти регресії для визначення RR

	C_0	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7
RHS	1,55	117 800	-1,376 5	-0,912 9	-0,815 5	-0,000 45	-2,008 3	11,40
I, H	1,21	222 100	-0,890 8	-1,645 3	-0,775 2	-0,003 6	-0,000 5	4,560

(3) Формули (L.25) і (L.26) рекомендовано застосовувати в межах діапазонів визначальних параметрів, встановлених у підрозділі L.5(3).

ДОДАТОК М

(довідковий)

КЛАСИФІКАЦІЯ ВУЗЛІВ

М.1 Застосування цього додатка

(1) Цей довідковий додаток містить додаткові вказівки до наведених у пунктах 7.1.2, 10.1.2 та 10.4.

Примітка. Національний вибір щодо застосування цього довідкового додатка наведено в національному додатку. Цей додаток можна застосовувати, за умови, що національний додаток не містить інформації щодо його застосування.

М.2 Сфера та область застосування

(1) Цей довідковий додаток містить класифікацію алюмінієвих конструкційних вузлів.

М.3 Загальні положення

(1) Визначення з'єднання і вузла наведено в пунктах 3.1.3 і 3.1.4 відповідно і зображено на рисунку М.1.

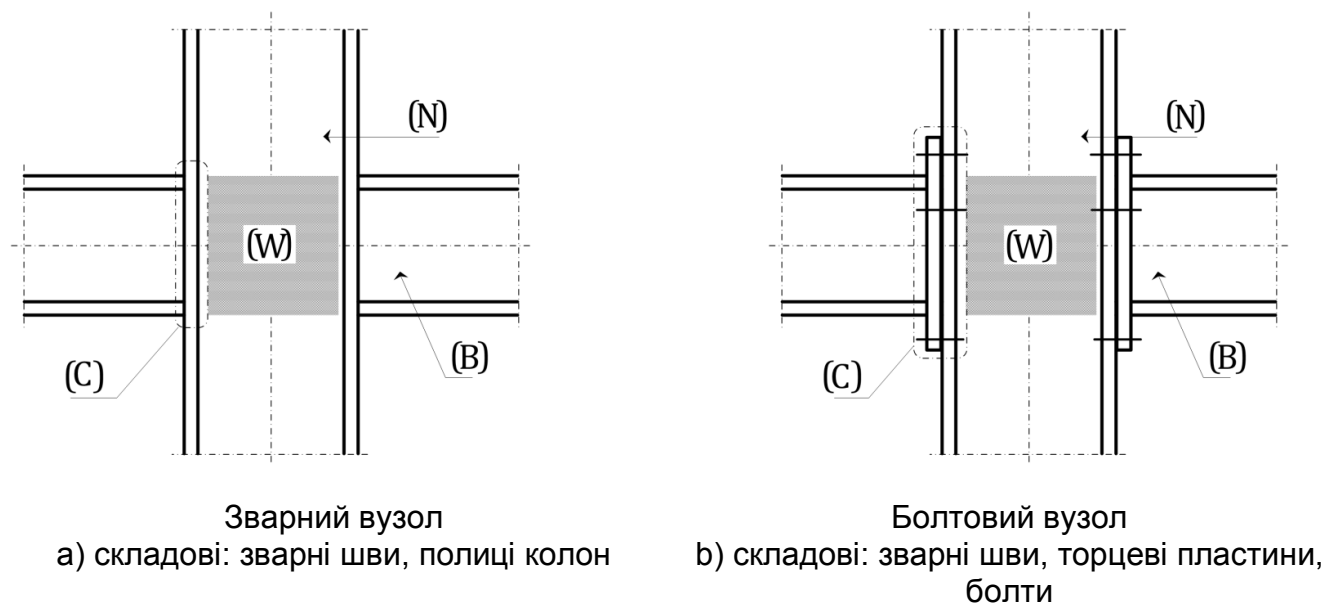


Рисунок М.1 — Зображення з'єднання та вузла

Умовні позначки:

Вузол — панель стінки балки під дією зсуву+з'єднання

(C) — з'єднання (connection)

(W) — панель стінки балки під дією зсуву

(N) — колона

(B) — балка

Рисунок М.1 — аркуш 2

(2) Конструкційні властивості вузла: здатність сприймати внутрішні зусилля та моменти у з'єднаних елементах, поворотна жорсткість та поворотна здатність.

(3) Надалі символи F та v вказуватимуть на узагальнене зусилля (осьову силу, зсувну силу або згинальний момент) і на відповідну узагальнену деформацію (видовження, зсув або поворот). Індeksi «e» та «u» позначатимуть, відповідно, пружний граничний стан та граничний стан за несною здатністю.

(4) Вузли дозволено класифікувати за їх здатністю відновлювати механічні властивості (жорсткість, міцність та пластичність) з'єднаних елементів. Можна виділити два основні класи з'єднань за глобальною роботою з'єднаних елементів (рисунок М.2):

- повністю відновлювані вузли;
- частково відновлювані вузли

(5) Якщо вибирати одну окремо взятую механічну властивість з'єданого елемента, вузол дозволено класифікувати за (рисунок М.2.b) — d)):

- жорсткістю;
- міцністю;
- пластичністю.

(6) Види застосовних вузлів, мають відповідати розрахунковим допущенням щодо елементів і методу загального розрахунку.

М.4 Повністю відновлювані вузли

(1) Повністю відновлювані вузли проєктують так, щоб їх властивості були не гірші за ті, що мають з'єднані елементи. Під властивостями розуміють границю міцності, пружну жорсткість та пластичність. Крива узагальненого зусилля – переміщення для вузлів лежить вище ніж крива будь-якого зі з'єднаних елементів.

(2) У конструкційному розрахунку наявності таких вузлів можна знехтувати.

М.5 Частково відновлювані вузли

(1) Механічні властивості такого вузла не досягають рівня властивостей з'єднаних елементів: або пружна жорсткість, або гранична міцність, або пластичність є гіршими ніж у з'єднаних елементів. Крива узагальненого зусилля – переміщення може в деякій частині опускатися нижче кривої з'єднаних елементів.

(2) У конструкційному розрахунку наявності таких вузлів потрібно враховувати.

М.6 Класифікація за жорсткістю

За жорсткістю вузли рекомендовано класифікувати так (рисунок М.2(b)):

— вузли з відновлюваною жорсткістю (жорсткі);

— вузли з невідновлюваною жорсткістю (напівжорсткі),

залежно від того, чи первинна жорсткість з'єднаних елементів відновлювана чи ні, незалежно від міцності та пластичності.

М.7 Класифікація за міцністю

(1) За міцністю вузли можливо класифікувати так (рисунок М.2(c)):

— з відновлюваною міцністю (повної міцності);

— з невідновлюваною міцністю (частково міцний);

залежно від того, чи гранична міцність з'єднаних елементів

відновлювана чи ні, незалежно від жорсткості та пластичності.

М.8 Класифікація за пластичністю

(1) За пластичністю вузли можливо класифікувати так (рисунки М.2(d)):

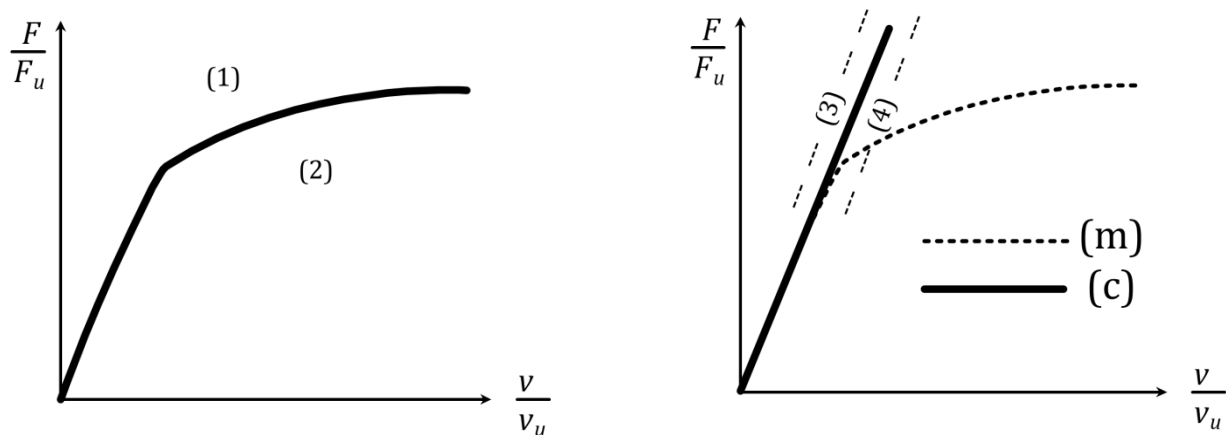
- з відновлюваною пластичністю (пластичні);
- з невідновлюваною пластичністю (напівпластичні та крихкі);

залежно від того, чи пластичність вузлів вища чи нижча за пластичність з'єднаних елементів, незалежно від міцності та жорсткості.

(2) Пластичні вузли мають пластичність або таку саму, або кращу за пластичність з'єднаних елементів; обмеження на видовження або поворот можна знехтувати під час глобального розрахунку споруди.

(3) Напівпластичні вузли мають меншу пластичність ніж пластичність одного зі з'єднаних елементів, але вищу, ніж дозволяє його гранична пружна деформація; у непружному розрахунку конструкції рекомендовано враховувати обмеження на видовження та поворот.

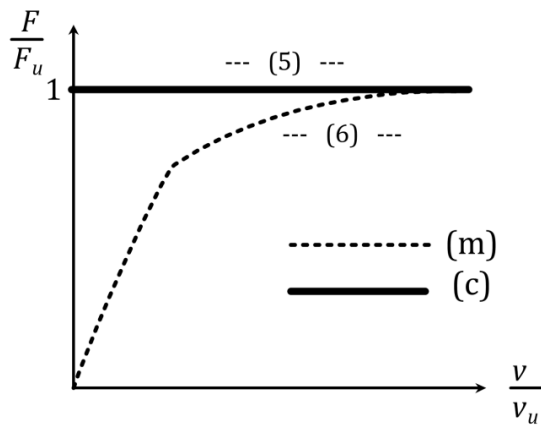
(4) Крихкі вузли мають значно меншу пластичність, ніж дозволяє гранична пружна деформація з'єднаних елементів; обмеження на видовження та кут повороту рекомендовано враховувати як під час пружного, так і під час непружного розрахунку.



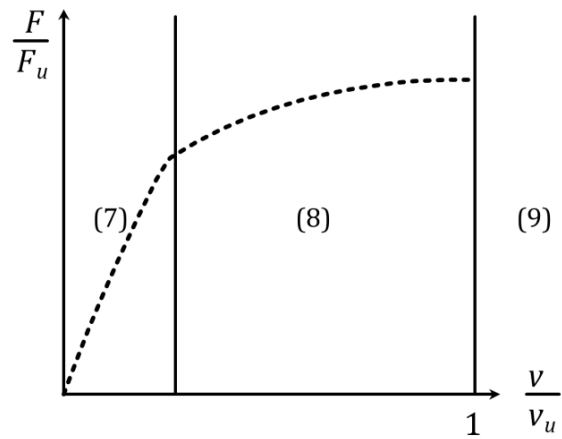
а) класифікація за відновлюваністю загальних властивостей елементів

б) класифікація за жорсткістю

Рисунок М.2 — Класифікація вузлів



с) класифікація за міцністю



д) класифікація за пластичністю

Умовні позначки:

(m) — приєднаний елемент (*connected member; cm*)

(c) — межа роботи з'єднання

(1) — повністю відновлювані вузли;

(2) — частково відновлювані вузли

(3) — вузли з відновлюваною жорсткістю (жорсткі);

(4) — вузли з невідновлюваною жорсткістю (напівжорсткі)

(5) — з відновлюваною міцністю (повної міцності)

(6) — з невідновлюваною міцністю (часткової міцності)

(7) — з невідновлюваною пластичністю (крихкі)

(8) — з невідновлюваною пластичністю (напівпластичні)

(9) — з відновлюваною пластичністю (пластичні)

Рисунок М.2 — аркуш 2

М.9 Загальні розрахункові вимоги до вузлів

(1) Належне комбінування основних механічних характеристик (жорсткості, міцності та пластичності) у вузлах потребує розгляду кількох випадків (рисунок М.3). У таблиці М.1 ці випадки показано з посиланням на відповідні вимоги до методів загального розрахунку (див. 7.2.1).

М.10 Вимоги до рамних вузлів

М.10.1 Загальні положення

(1) За співвідношенням момент-кривизна, вузли, застосовні у рамних конструкціях, можливо розділити на наступні типи:

- номінально шарнірні вузли;
- жорстко закріплені вузли.

М.10.2 Номінально шарнірні вузли

(1) Номінально шарнірний вузол має бути запроектований так, щоб передавати розрахункові осьові та зсувні зусилля без появи значних моментів, які могли б негативно позначитися на елементах конструкції.

(2) Номінально шарнірні з'єднання мають бути здатні до передачі зусиль, передбачених проектними розрахунками, і до сприйняття поворотів, які під час цього виникають.

(3) Поворотна здатність номінально шарнірного вузла має бути такою, щоб забезпечити можливість виникнення під розрахунковим навантаженням усіх необхідних пластичних шарнірів.

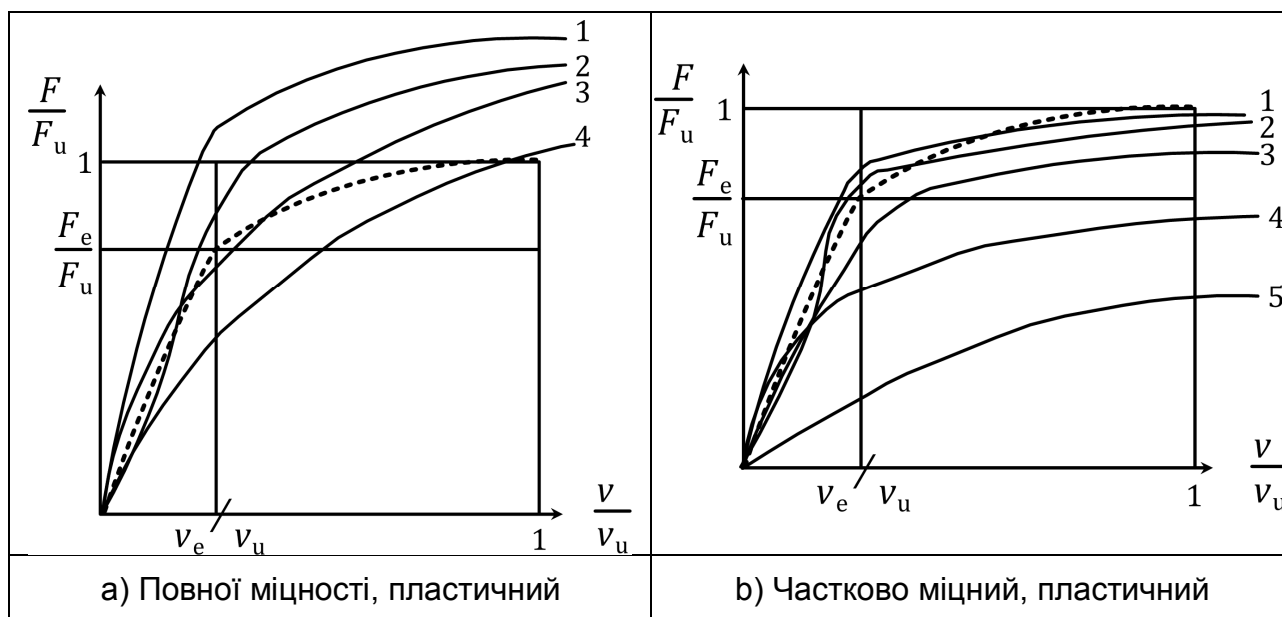
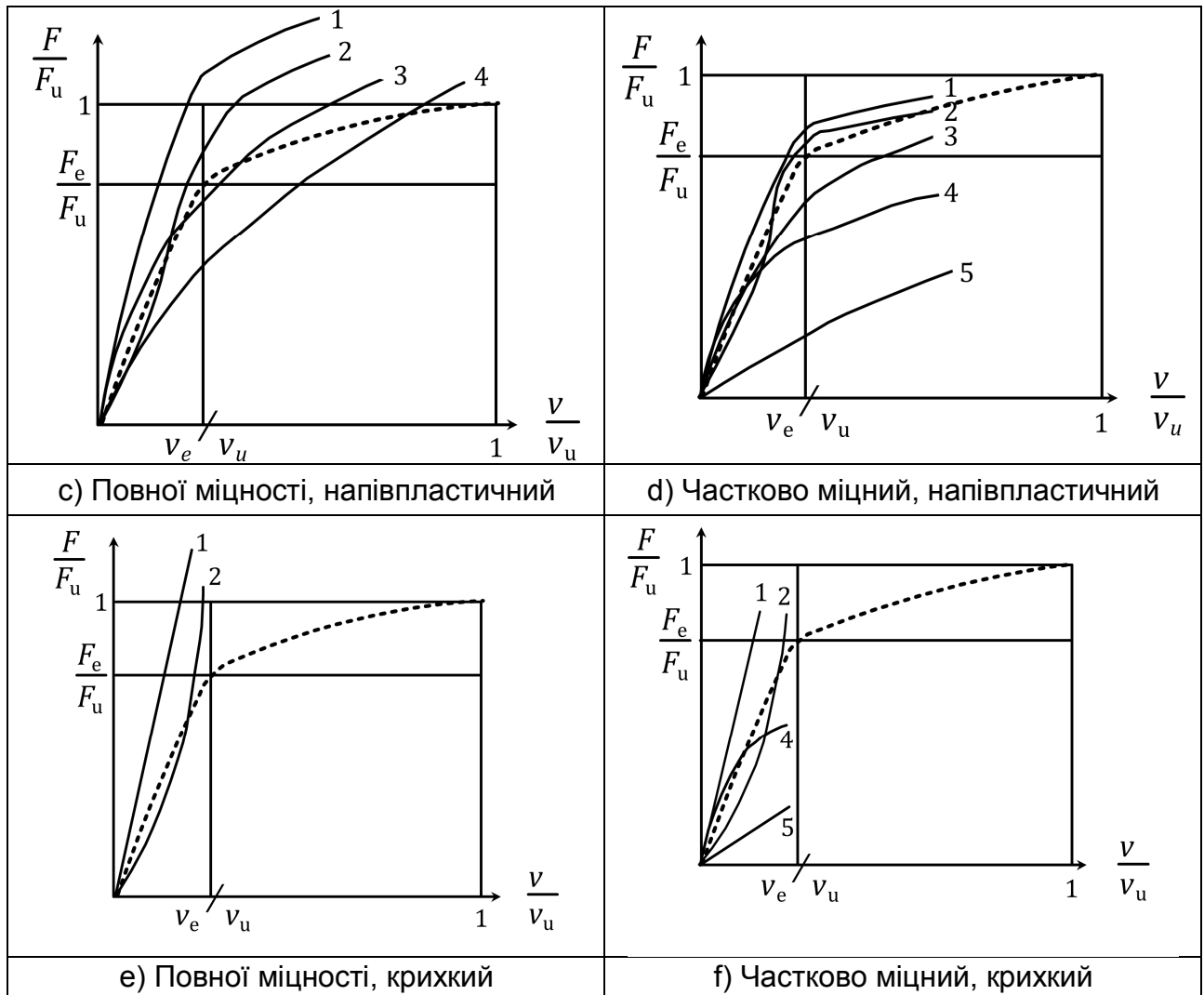


Рисунок М.3 — Основні типи вузлів



Умовні позначки:

--- приєднаний елемент (connected member; cm)

— вузли

Повної міцності :

(1) — жорсткий, з відновленням пружної міцності елемента

(2) — напівжорсткий, з відновленням пружної міцності елемента

(3) — жорсткий, без відновлення пружної міцності елемента

(4) — напівжорсткий, без відновлення пружної міцності елемента

Частково міцний:

(1) — жорсткий, з відновленням пружної міцності елемента

(2) — напівжорсткий, з відновленням пружної міцності елемента

(3) — напівжорсткий, без відновлення пружної міцності елемента

(4) — жорсткий, без відновлення пружної міцності елемента

(5) — напівжорсткий, без відновлення пружної міцності елемента

Рисунок М.3 — аркуш 2

Таблиця М.1 — Загальні вимоги до проектування

Метод загального розрахунку (див. 7.2.1)	Типи вузлів, які потрібно враховувати	Типи вузлів, які дозволено не враховувати
Пружні	Напівжорсткі вузли (повної або часткової міцності, пластичні або непластичні, з відновленням пружної міцності елемента або без неї) Частково міцний вузол (жорсткий або напівжорсткий, пластичний або непластичний) без відновлення пружної міцності елемента	Повністю відновлювані вузли Жорсткий вузол (повної або часткової міцності, пластичний або непластичний) з відновленням пружної міцності елемента. Частково міцний вузол (жорсткий, пластичний або непластичний) з відновленням пружної міцності елемента
Пластичні (жорстко—пластичний пружно—пластичний непружно—пластичний)	Частково міцні вузли (жорсткі чи напівжорсткі пластичні або непластичні) без відновлення пружної міцності елемента	Повністю відновлювані вузли Частково міцні, пластичні вузли (жорсткі або напівжорсткі) з відновленням пружної міцності елемента Вузли повної міцності
Зі зміцненням (з жорстким зміцненням з пружним зміцненням, непружний за походженням)	Частково відновлювані вузли	Повністю відновлювані вузли

М.10.3 Вузли між конструкційними елементами

(1) Вузли між конструкційними елементами враховують передачу наслідків дій (згинальних моментів, зсувних і осьових сил) між з'єднаними елементами, а також осьових і зсувних зусиль. Їх можливо класифікувати за жорсткістю та міцністю наступним чином (див. М.6 і М.7):

- жорсткі вузли;
- напівжорсткі вузли;
- вузли повної міцності;
- частково міцні вузли;

(2) Жорсткий вузол рекомендовано проектувати так, щоб його деформування не мало значного впливу ані на розподіл внутрішніх сил і моментів в конструкції, ані на її загальне деформування.

(3) Вузол, класифікований як жорсткий, має бути таким, щоб його

деформівність не посилювала вторинних ефектів, що знижують опір конструкції, більш ніж на 5% в порівнянні з нерозрізними рамами.

4) Напівжорсткий вузол має забезпечувати передбачуваний ступінь взаємодії між елементами, на основі розрахункових характеристик залежності "момент-поворот" вузлів.

(5) Там, де опір обчислюють за допомогою загального пластичного розрахунку (через моделювання пластичних шарнірів), жорсткі та напівжорсткі вузли мають бути здатні передавати сили та моменти, враховані під час проєктування.

(6) Там, де опір обчислюють за допомогою загального пластичного розрахунку (через моделювання пластичних шарнірів), жорсткість вузлів повної та часткової міцності має бути такою, щоб під дією розрахункових навантажень кути повороту у місцях передбачених пластичних шарнірів не перевищили їх опір повороту.

(7) Поворотна здатність вузлів часткової міцності у місці виникнення пластичного шарніра не має бути меншою за ту, що необхідна для розвитку всіх пластичних шарнірів під розрахунковим навантаженням.

(8) Поворотну здатність вузлів дозволено отримати за експериментальними даними. Експериментальне підтвердження не потрібне, якщо використано деталі, відповідність роботи яких у складі конструкцій вже доведено.

ДОДАТОК N

(довідковий)

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ КОМПОНЕНТІВ ДЛЯ ВУЗЛІВ

N.1 Застосування цього додатка

(1) Цей довідковий додаток містить додаткові вказівки до наведених у розділі 10.5.10.

Примітка. Національний вибір щодо застосування цього довідкового додатка наведено в національному додатку. Цей додаток можна застосовувати, за умови, що національний додаток не містить інформації щодо його застосування.

N.2 Сфера та область застосування

(1) Для розрахунку алюмінієвих конструкцій може виявитися важливим правильно охарактеризувати механічну реакцію вузлів (жорсткість та опір), використовуючи як лінійні, так і нелінійні розрахункові моделі. Для цього можна розглянути так званий «метод компонентів».

Примітка. Спеціальні правила наведено у EN 1993-1-8.

(2) Вузол можливо розділити на окремі типові конструкційні складові; вони можуть характеризувати механічну реакцію вузла або як цілого, або як частини більш складної конструкційної системи.

(3) Застосування методу компонентів може дозволити визначити міцність і жорсткість вузла за механічними характеристиками окремих основних конструкційних елементів.

(4) Щоб отримати характеристики роботи складного вузла, окремі елементи, що впливають на його роботу, мають бути зібрані згідно з певними правилами. Такі правила можуть бути застосовані також до алюмінію, з урахуванням особливостей механічних властивостей відповідного матеріалу.

(5) Типовими складовими частинами вузла можуть бути: панель

стілки колони під дією зсуву; поперечно стиснута стінка колони; поперечно розтягнута стінка колони; полиця колони під дією згину; торцева пластина під дією згину; виступ полиці під дією згину; полиця балки або колони, чи стінка під дією стиску; розтягнута стінка балки; балка з вутами, болти.

(6) Механічну роботу багатьох конструкційних елементів можливо визначити згідно з наявними посиланнями на літературні джерела, переважно пов'язані зі сталлю.

(7) Як правило, пружну жорсткість конструкційних елементів алюмінієвих вузлів дозволено визначити з використанням тих самих правил, що і для сталевих вузлів, але з урахуванням відповідного модуля пружності для розгляданого матеріалу.

(8) Міцність конструкційних елементів алюмінієвих вузлів рекомендовано визначати з використанням відповідних правил, що враховують фактичні характеристики розгляданого матеріалу, а також з урахуванням аналогічного конструкційного моделювання і формул, передбачених для сталевих вузлів.

(9) У деяких випадках міцність конструкційних елементів алюмінієвих вузлів потрібно визначати згідно з особливими правилами, як у випадку розтягнутого таврового елемента чи стінки колони під дією поперечного розтягу/стиску. Такі правила наведено в пунктах 10.10 і 10.11.

ДОДАТОК О

(довідковий)

ГВИНТОВІ ПАЗИ ТА РІЗЬБОВІ ОТВОРИ ДЛЯ ГВИНТІВ

О.1 Застосування цього додатка

(1) Цей довідковий додаток містить рекомендації щодо пункту 10.9.3.

Примітка. Національний вибір щодо застосування цього довідкового додатка наведено в національному додатку. Цей додаток можна застосовувати, за умови, що національний додаток не містить інформації щодо його застосування.

(2) Потрібно враховувати, що геометричні допуски зазвичай доступних пресованих профілів є більшими, ніж передбачені в цьому додатку. Але ці більш жорсткі допуски необхідні для отримання надійних значень міцності для опору висмикуванню. Отже, має бути зазначено, що використовуваний виріб має відповідати цим більш жорстким допускам. Ця вимога також має бути включена в специфікацію на виконання робіт.

О.2 Сфера та область застосування

(1) Система гвинтових пазових з'єднань складена з паза, в якому закріплено самонарізувальний гвинт або болт з різьбою (див. рисунок О. 1). Гвинтові отвори з різьбою також дозволено використовувати як систему з'єднання. Пазі відкриті, різьбові отвори — закриті. Поглиблені пазі — це пазі в товстому матеріалі. Виїмки — це пазі у внутрішньому круглому контурі паза або різьбового отвору.

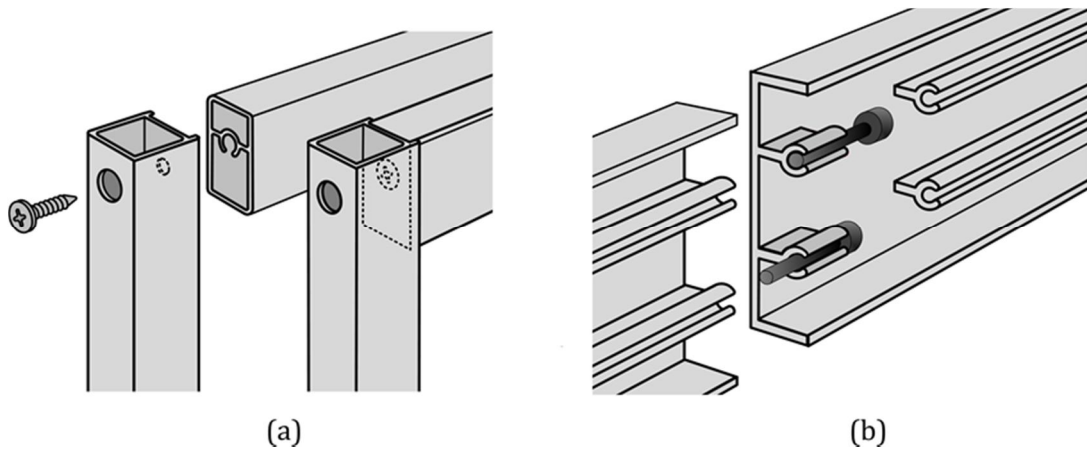


Рисунок О.1 — Приклади пазово-болтових з'єднань

(2) Рекомендовано використовувати наступні типи болтів:

- а) Болти ISO метричні (різьба ISO метрична);
- б) Самонарізувальні гвинти з різьбою згідно з EN ISO 1478, EN ISO 1479, EN ISO 1481, EN ISO 7049;
- с) Гвинти з накатаною метричною різьбою.

Примітка 1. Стійкість самонарізувальних гвинтів згідно з EN ISO 1479, EN ISO 1481 або ISO 7049 і самосвердлувальних гвинтів згідно з EN ISO 15480 чи EN ISO 15481 наведено в EN 1999-1-4.

Примітка 2. Стандарт ISO 7085 для гвинтів із накатаною різьбою було скасовано. Основний зміст цього стандарту було замінено в багатьох країнах національними стандартами або нормативними актами. У Національному додатку може міститися додаткова інформація щодо використання цього типу кріпильних елементів.

Примітка 3. У національному додатку може міститися додаткова інформація щодо опору зсуву і розтягу самонарізувальних гвинтів і гвинтів з накатаною різьбою.

О.3 Опір розтягу

(1) Опір висмикуванню гвинтів та болтів рекомендовано приймати як:

- а) для пазів з самонарізувальними гвинтами згідно з EN ISO 1478 діаметром $d \leq 6,3$ мм згідно з (а) — (г) на рисунку О.2 як задано формулами (О.1) та (О.2):

$$F_{o,Rd} = 0,9c_t \left(L_e + \frac{d}{2} \right) \cdot t_{sl} \left(1,2 - \frac{0,64t_{sl}}{d} \right) \frac{f_u}{\gamma_{M2}} \quad (0.1)$$

$$\text{для } 0,25 \leq \frac{t_{sl}}{d} < 0,50 \text{ і } L_e/d \geq 1,0$$

$$F_{o,Rd} = 0,8c_t \left(L_e + \frac{d}{2} \right) \cdot \frac{d}{2} \frac{f_u}{\gamma_{M2}} \quad (0.2)$$

$$\text{для } \frac{t_{sl}}{d} \geq 0,50 \text{ і } L_e/d \geq 1,0$$

б) для різьбових отворів з гвинтами згідно з EN ISO 1478 діаметром $d \leq 6,3$ мм і метричними болтами ISO в каліброваному отворі з попередньою різьбою діаметром $d \leq 16$ мм згідно з (h) - (j) на рисунку О.2 згідно з формулою (О.3):

$$F_{o,Rd} = \frac{k_g L_e p_{th} \pi d f_u}{\gamma_{M2}}, \quad (0.3)$$

де

c_t — коефіцієнт, що залежить від допуску різних частин пазу.

Рекомендовано застосовувати значення

$$c_t = 1 - 0,25/t_{sl}$$

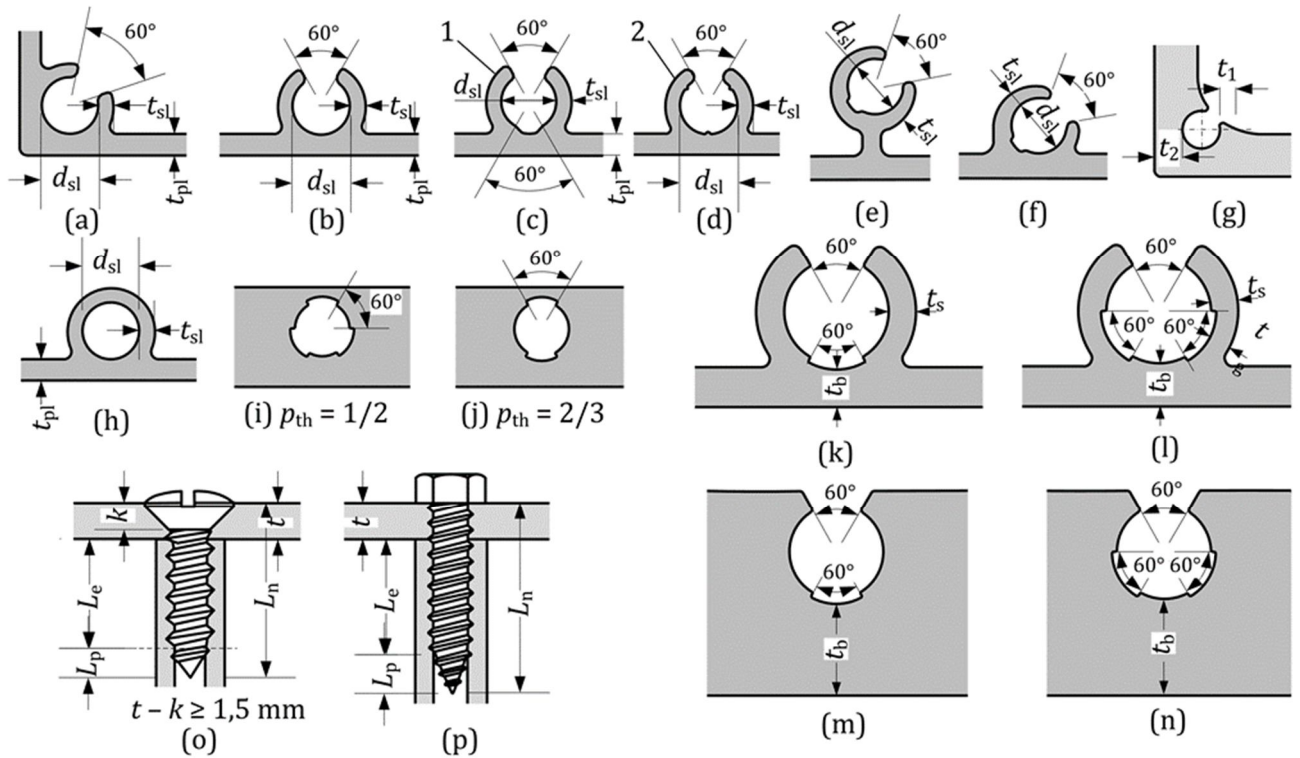
k_g — коефіцієнт, що залежить від міцності різьби на зсув. Для самозатяжних гвинтів та болтів у різьбових отворах з попередньо нарізаною різьбою $k_g = 0,38$ і для різьбових отворів з виїмками згідно з рисунком О.2 (k) —(n) $k_g = 0,30$;

p_{th} — відносна різьбова частина всередині отвору або пазу. Для круглого отвору $p_{th} = 1$;

d — діаметр гвинта;

t_{sl} — товщина стінки паза, див. рисунок О.2(a) — (f), для (g) $t_{sl} = \min(t_1; t_2)$;

L_e — довжина закріплення, тобто довжина гвинта, що повністю заглиблена в алюмінієвий паз, див. рисунок О.2(o) для потайної головки і рисунок О.2(p) для шестигранної головки.



Умовні позначки:

1 — використовують для метричних болтів у пазах з попередньо нарізаною різьбою і для самозатяжних гвинтів

2 — використовують для самозатяжних гвинтів

Рисунок О.2 — Геометричні параметри вузлів з гвинтовими пазами та різьбовими отворами для гвинтів

(2) Опір розтягу гвинтового пазу і різьбових отворів у перерізі, що проходить через кінець гвинта, рекомендовано приймати за формулою (О.4), як

$$F_{tt,Rd} = c_t \frac{A_{sl} f_u}{\gamma_{M2}}, \quad (O.4)$$

де

$A_{sl} = 0,2\pi((d_{sl} + t_{sl})^2 - d_{sl}^2) + A_{pl}$ — для відкритих гвинтових пазів згідно з рисунком О.2(a), (b) та (d);

$A_{sl} = 0,25\pi((d_{sl} + t_{sl})^2 - d_{sl}^2) + A_{pl}$ — для закритих різьбових отворів для гвинтів згідно з рисунком О.2(c);

де

$$A_{pl} = 0,25\pi L_e t_{pl},$$

де

t_{pl} — (середнє значення) товщини прилеглого матеріалу згідно з рисунком О.2.

(3) Рекомендовано переконатися (за допомогою випробувань або консультації з фахівцем), що під час встановлення гвинта не відбудеться відмова через кручення, особливо у випадку великої довжини закріплення.

(4) Рекомендовано перевірити опір з'єднаного листа продавлюванню та опір гвинта розтягу.

(5) Відомості щодо опору розтягу метричних болтів наведено в 10.5.4. Відомості щодо опору розтягу самозатяжних болтів наведено в 10.3.3.3 EN 1999-1-4:2023.

О.4 Опір зсуву

(1) Опір зсуву гвинтів під навантаженням під кутом $0^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$ у напрямку отвору пазу згідно з рисунком О.3 (а) та (b) рекомендовано приймати за формулою (О.5), як:

$$F_{v,Rd} = c_t t_{sl} (1,4 t_{sl} + 0,1 L_e) \frac{f_u}{\gamma_{M2}} \text{ для } L_e \geq 1,0d, \quad (О.5)$$

де (див. рисунок 1О.3)

t_{sl} — товщина пазу;

L_e — довжина закріплення гвинта у пазі, див. рисунок О.2 (е) та (f);

θ — визначає напрямок навантаження.

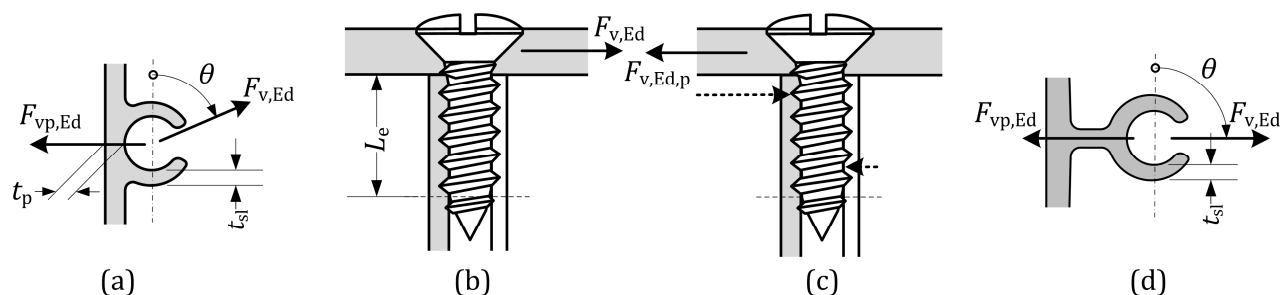


Рисунок О.3 — Гвинт у гвинтовому пазі під дією зсуву

(2) Для напрямку навантаження в межах $-60^\circ \geq \theta \geq -120^\circ$ (навпроти отвору паза згідно з рисунком (а) та (с)), формула (О.6) застосовна як:

$$F_{v,Rd} = 0,8 \frac{t_p L_e f_u}{\gamma_{M2}} \quad (О.6)$$

(3) Для $0^\circ \geq \theta \geq -60^\circ$ та $-120^\circ \geq \theta \geq -180^\circ$ опір дозволено обчислити інтерполяцією між $F_{v,Rd}$ та $F_{vp,Rd}$.

(4) Паз згідно з рисунком О.3(d) рекомендовано застосовувати лише для напрямків навантаження, де $\theta = 90^\circ$ і $\theta = -90^\circ$, якщо не враховувати вигин частини між пазом і конструкцією.

(5) Формулу (О.6) дозволено консервативно застосовувати для закритих різьбових отворів для гвинтів.

(6) Рекомендовано перевірити опір зминанню з'єданого листа та опір гвинта зсуву.

(7) Для спільної дії зсуву та висмикування дозволено консервативно застосовувати формулу (О.7):

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{o,Ed}}{F_{o,Rd}} \leq 1,0 \quad (О.7)$$

(8) Вузли з гвинтовими пазами мають відповідати геометричним обмеженням, зазначеним у таблиці 10.8 та таблиці О. 3.

(9) Гнучкість δ/F_o (деформація/розтягувальне зусилля) у вузлах з гвинтами в пазах дозволено визначати за формулою (О.8)

для $4,8 \text{ мм} \leq d \leq 6,6 \text{ мм}$:

$$\frac{\delta}{F_o} = \frac{0,67 \cdot 10^6}{Ed \left(9,64 \frac{L_e}{d} - 1,54 \left(\frac{L_e}{d} \right)^2 \right) \left(2,86 \frac{t_{sl}}{d} - 3,06 \left(\frac{t_{sl}}{d} \right)^2 \right)} \quad (О.8)$$

Деформація не має перевищувати 1 мм в граничному стані експлуатаційної придатності для поєднання частих навантажень.

(10) Для метричних болтів див. 10.5.4, для самонарізувальних гвинтів див. EN 1999-1-4:2023, 10.3.2.3.

Таблиця О.1 — Значення k_g у формулі (О.3) та формулах,

застосовних для різьбових отворів та пазів

		Різьбові, метричні болти		Пресовані, самосвердлувальні гвинти	
Приклад на рисунку О.2		Круглий (а) — (h)	Жолобчастий (і) — (n)	Круглий (а) — (h)	Жолобчастий (і) — (n)
Різьбовий отвір		(О.3) з $k_g = 0,38$	(О.3) з $k_g = 0,30$	(О.3) з $k_g = 0,38$	(О.3) з $k_g = 0,30$
Паз (втоплений різьбовий отвір) з $t_b \geq d$		(О.3) з $k_g = 0,30$	(О.3) з $k_g = 0,22$	(О.3) з $k_g = 0,30$	(О.3) з $k_g = 0,22$
Паз з $t_{sl}/d \geq 0,5$ і $t_b \geq t_{sl}$		(О.2)	(О.2) або (О.3) ^b з $k_g = 0,11$	(О.2)	(О.2) або (О.3) ^b з $k_g = 0,11$
Паз з $t_{sl}/d \geq 0,5$ і $t_b \geq t_{sl}$		(О.1) з $t_{sl} = t_s$	(О.1) з $t_{sl} = \min(t_b; t_g)$	(О.1) з $t_{sl} = t_s$	(О.1) з $t_{sl} = \min(t_b; t_g)$
Максимальний діаметр		Максимальний діаметр болта d 16 мм		Максимальний діаметр гвинта d 6,3 мм ^a	
Геометрія та допуски		Таблиця О.3		Таблиця О.2	
Самосвердлувальні гвинти стандартизовано у EN ISO 1478 до діаметру 9,5 мм. Для діаметрів до 6,3 мм, оскільки в таблиці О.2 не вказано геометричні параметри для 8 мм та 9,5 мм. Крутний момент, необхідний для затягування таких великих діаметрів з відповідною довжиною, може спричинити відмову під час монтажу. Рекомендовано застосовувати менше значення з (О.2) і (О.3).					

Таблиця О.2 — Геометричні обмеження для вузлів на самонарізувальних гвинтах згідно з EN ISO 1478 у пазах та різьбових отворах

Діаметр гвинта, d , мм	Внутрішній діаметр пазу або різьбового отвору, d_{sl} , мм	Товщина стінки пазу або різьбового отвору t_{sl} , мм	
		Нормальна	або товща, відповідно до технічних/конструкційних та інших розрахункових вимог
3,5	3,0±0,15	1,5±0,25	
3,9	3,4±0,15	1,5±0,25	
4,2	3,6±0,15	1,5±0,25	
4,8	4,1±0,20	1,5±0,25	
5,5	4,7±0,20	2,0±0,25	
6,3	5,4±0,20	2,0±0,25	

Таблиця О.3 — Геометричні обмеження для вузлів з метричними

болтами ISO в каліброваних отворах з попередньо нарізаною різьбою та пазах а

Діаметр болта, d мм	Внутрішній діаметр різьбового отвору або пазу d_{sl} , мм	Товщина стінки різьбового отвору або пазу t_{sl} , мм	
		Нормальна	або товща, відповідно до технічних/конструкційних та інших розрахункових вимог
M6	$5,0 \pm 0,2$	2,4	
M8	$6,8 \pm 0,2$	3,0	
M10	$8,4 \pm 0,3$	3,7	
M12	$10,1 \pm 0,3$	4,5	
M16	$13,9 \pm 0,3$	6,0	

^a Якщо необхідно використати болти з метричною різьбою, це рекомендовано робити з отворами після калібрування діаметра за допомогою попереднього свердління (на відміну від метричних болтів ISO).

ДОДАТОК Р

(довідковий)

СТАЛЕВИЙ ЛИСТ З АЛЮМІНІЄВИМ ПОКРИТТЯМ (ТИП А)

Р.1 Застосування цього додатка

(1) Цей довідковий додаток містить додаткові вказівки до наведених у пунктах 5.3.1, 5.3.5 і 10.12.

Примітка. Національний вибір щодо застосування цього довідкового додатка наведено в національному додатку. Цей додаток можна застосовувати, за умови, що національний додаток не містить інформації щодо його застосування.

Р.2 Сфера та область застосування

1) Цей довідковий додаток охоплює конструкційні вузли з алюмінію, виконані склеюванням клеєм згідно з Р.3 — Р.5.

Р.3 Загальні положення

(1) Конструкційні вузли алюмінієвих елементів можуть бути виконані склеюванням.

(2) Клейові з'єднання потребують високої якості виконання і рекомендовано використовувати з обережністю.

(3) Рекомендації з проєктування з цього додатка рекомендовано використовувати за наступних умов:

— вузол має бути запроєктовано на передачу лише зсувних зусиль (див. Р.5.1);

— застосовувати потрібно відповідний клей (див. Р.5.2);

— процедури підготовки поверхні перед склеюванням мають відповідати вимогам до застосування клею (див. Р.5.2(3)).

(4) Застосування клею для основних конструктивних вузлів не рекомендовано розглядати, якщо не проведено значну кількість випробувань, що підтверджують його придатність, включаючи

випробування на стійкість до впливу навколишнього середовища та втому, якщо це необхідно.

(5) Клейовий вузол може бути застосовано, наприклад, між пластиною та ребрами жорсткості, а також у інших випадках другорядних напружених станів.

(6) Навантаження рекомендовано передавати через якнайбільшу площу. Збільшення ширини вузла зазвичай пропорційно збільшує його міцність. Збільшення довжини має позитивний ефект лише для коротких напустків. Довші напустки призводять до більш різкої концентрації напружень, зокрема, на кінцях напусток.

Р.4 Клеї

(1) Для склеювання алюмінієвих конструкцій рекомендовано такі групи клеїв: одно- та двокомпонентні модифіковані епоксидні смоли; модифіковані акрилові полімери; одно- або двокомпонентні поліуретани; також для склеювання з'єднань на штифтах та муфтах можливо використовувати анаеробні клеї.

(2) Перевірити якість клею під час отримання можливо наступними способами:

- хімічний аналіз;
- термічний аналіз;
- визначення в'язкості та сухого екстракту на відповідність чинним стандартам EN та ISO, що стосуються клеїв.

(3) Міцність клейового вузла залежить від наступних чинників:

а) питомої міцності самого клею, яку можливо визначити стандартними випробуваннями (див. ISO 11003-2);

б) міцності сплаву, особливо його умовної границі текучості, якщо границю текучості металу перевищено до відмови клею;

с) обробки поверхні: хімічна конверсія та анодування зазвичай дають кращі результати ніж знежирення та механічне очищення; можна

використовувати ґрунтування за умови, що відповідні випробування підтвердили сумісність ґрунтування з клеєм та сплавом;

d) навколишнього середовища та старіння: наявність води або вологого повітря, а також агресивного середовища, може сильно знизити витривалість вузла (особливо якщо поверхні було погано підготовано);

e) конструкційне вирішення вузла та відповідного розподілу напружень, тобто відношення максимального зсувного напруження $\sigma_{\max}$ до його середнього значення ($\sigma_{\max} / \tau_{\text{mean}}$), а також відношення максимального напруження розшарування $\sigma_{\max}$ до середнього значення напруження зсуву ($\sigma_{\max} / \tau_{\text{mean}}$), причому обидва максимуми мають місце на кінці вузла; рекомендовано знизити концентрацію напружень наскільки це можливо; вони залежать від жорсткості збірки (товщини та модуля Юнга приклеєного матеріалу) та від довжини напустку у вузлі.

(4) Для розрахунку міцності вузла недостатньо інформації щодо питомої міцності клею, — її рекомендовано дослідити за допомогою лабораторних випробувань, розглянувши всю збірку вузла, тобто одночасну роботу сплаву, попереднього оброблення поверхні, клею, а також старіння та впливу навколишнього середовища (див. Р.5 та 4.5).

(5) Отриману на лабораторних зразках міцність рекомендовано використовувати як орієнтовну; якість вузла треба перевіряти у реальних умовах: рекомендовано використання прототипів (див. Р.5).

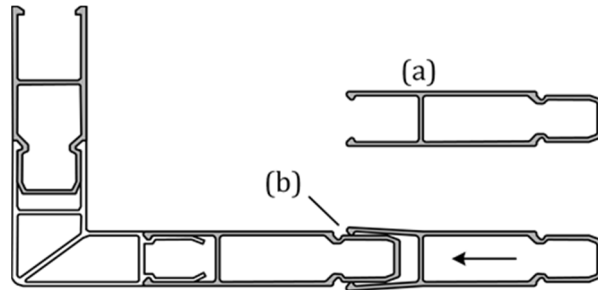
Р.5 Застосування цього додатка

Р.5.1 Загальні положення

(1) Клейові вузли мають бути запроектовані так, щоб навантаження передавалися через зсувні напруження. Розтягувальних зусиль, зокрема, напружень розшарування або інших напружень-, що намагаються розкрити шов вузла,—рекомендовано уникати або передавати їх через допоміжні конструкційні елементи. Крім того, потрібно прагнути до рівномірного

розподілу напружень та достатньої деформаційної, здатності щоб забезпечити можливість пластичного руйнування складових частин.

Деформаційну здатність вважають достатньою, якщо розрахункова міцність вузла вища за границю текучості з'єднаного елемента.

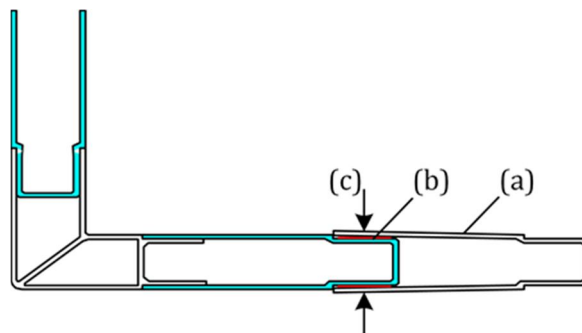


Умовні позначки:

(a) — пресований профіль

(b) — гак – заскочка

Рисунок Р.1 — Приклад вузлів із заскочкою: розтягувальні зусилля передаються поперек напрямку пресування за допомогою заскочок, але відсутня передача зсувних зусиль у поздовжньому напрямку



Умовні позначки:

(a) — пресований профіль

(b) — клей на зовнішній поверхні

(c) — зовнішній тиск

Рисунок Р.2 — Приклад склеєних пресованих елементів: склеювання дозволяє передавати зусилля розтягу упоперек через зсувні напруження, та зсувні зусилля паралельно до напрямку пресування

Р.5.2 Характеристична міцність клеїв

(1) Що стосується механічних властивостей, у будівництві

рекомендовано використовувати клеї високої міцності (див.таблицю Р.1). Однак опір крихкому руйнуванню має бути достатнім для подолання концентрації напружень/деформацій і забезпечити руйнування пластичного типу .

(2) Вид попередньої обробки поверхонь для склеювання потрібно обирати так, щоб склеєний вузол відповідав розрахунковим вимогам протягом строку експлуатації конструкції. See EN 1090-3.

(3) Значення характеристичної міцності на зсув клеїв $f_{v,adh}$ дозволені для застосування у будівництві наведено у таблиці Р.1.

Таблиця Р.1 — Характеристичні значення міцності на зсув клеїв

Типи клеїв	$f_{v,adh}$ Н/мм ²
однокомпонентний, термічного тверднення, модифікований	35
епоксидний двокомпонентний, холодного тверднення, модифікований епоксидний	25
двокомпонентний, холодного тверднення, модифікований акриловий полімер	20

(4) Типи клеїв, зазначені в таблиці Р.1, дозволено використовувати в конструкціях за дотримання умов, зазначених Р.5.1 та Р.5.2 відповідно. Значення, наведені в таблиці Р.1, ґрунтуються на результатах великої кількості досліджень. Однак допускається використовувати вищі значення міцності на зсув, ніж зазначені в таблиці Р.1, див. Р.6.

Р.5.3 Розрахункове зсувне напруження

(1) Розрахункове зсувного зусилля рекомендовано приймати за формулою (Р.1):

$$\tau_{Ed} \leq \frac{f_{v,adh}}{\gamma_{Ma}}, \quad (P.1)$$

де

τ_{Ed} — розрахункове зсувне напруження в клейовому шарі;

$f_{v,adh}$ — характеристичне значення міцності клею на зсув, див. Р.5.2;

γ_{Ma} — частковий коефіцієнт для клейових вузлів, див. таблицю 4.1.

Примітка. У 4.4.3 потрібно застосовувати високе значення γ_{Ma} у 4.4.3, оскільки:

- розрахунок вузла засновано на граничній міцності клею на зсув;
- розкид значень міцності зчеплення може бути значним;
- досвід роботи з клеєними вузлами невеликий;
- міцність знижується через старіння.

P.6 Випробування

(1) Під час проведення відповідних випробувань на зсув дозволено застосовувати значення характеристичної міцності клеїв на зсув, вищі, ніж наведені в таблиці P.1, див. також ISO 11003.

ДОДАТОК Q

(довідковий)

ВИЗНАЧЕННЯ РОЗМІРІВ ЗОН ТЕРМІЧНОГО ВПЛИВУ ЗА ДОПОМОГОЮ ВИПРОБУВАННЯ НА ТВЕРДІСТЬ

Q.1 Застосування цього додатка

(1) Цей довідковий додаток містить додаткові вказівки до наведених у пунктах 8.1.6 та 10.7.

Примітка. Національний вибір щодо застосування цього довідкового додатка наведено в національному додатку. Цей додаток можна застосовувати, за умови, що національний додаток не містить інформації щодо його застосування.

Q.2 Сфера та область застосування

Цей додаток містить інформацію щодо визначення розмірів зон термічного впливу за результатами випробувань на твердість.

Q.3 Визначення розмірів зон термічного впливу за допомогою випробування на твердість

(1) Щоб визначити розміри зони термічного впливу за результатами випробувань на твердість, базову твердість, тобто твердість матеріалу, що не зазнав термічного впливу, потрібно визначити за допомогою вимірювань, що відповідають сучасним вимогам. Цього можливо досягти виконуючи вимірювання на ще не обробленому напівфабрикаті, або на вже зварених конструкційних елементах, але в точках, що знаходяться на достатній відстані від зварного шва. Потім в районі зварного шва вимірюють твердість в різних точках (зазвичай на початку та на кінці зварного шва) і створюють профіль твердості впоперек зварного шва. Далі визначають точку поблизу зварного шва, де твердість явно не була знижена ($\geq 90\%$ від базової твердості, див. примітку 1). Роблять спрощене припущення, що від цієї точки до центру зварного шва або теоретичного

кореня кутового шва відбулося розм'якшення до зазначеного у стандарті характеристичного рівня міцності (див. рисунок Q.1).

Примітка 1. Значення твердості, визначені в зоні термічного впливу, можуть бути вищими, ніж у основного матеріалу, який не зварювали, залежно від стану обробки наявного матеріалу. Нагрів під час зварювання може викликати подальше штучне місцеве старіння, тобто збільшення міцності.

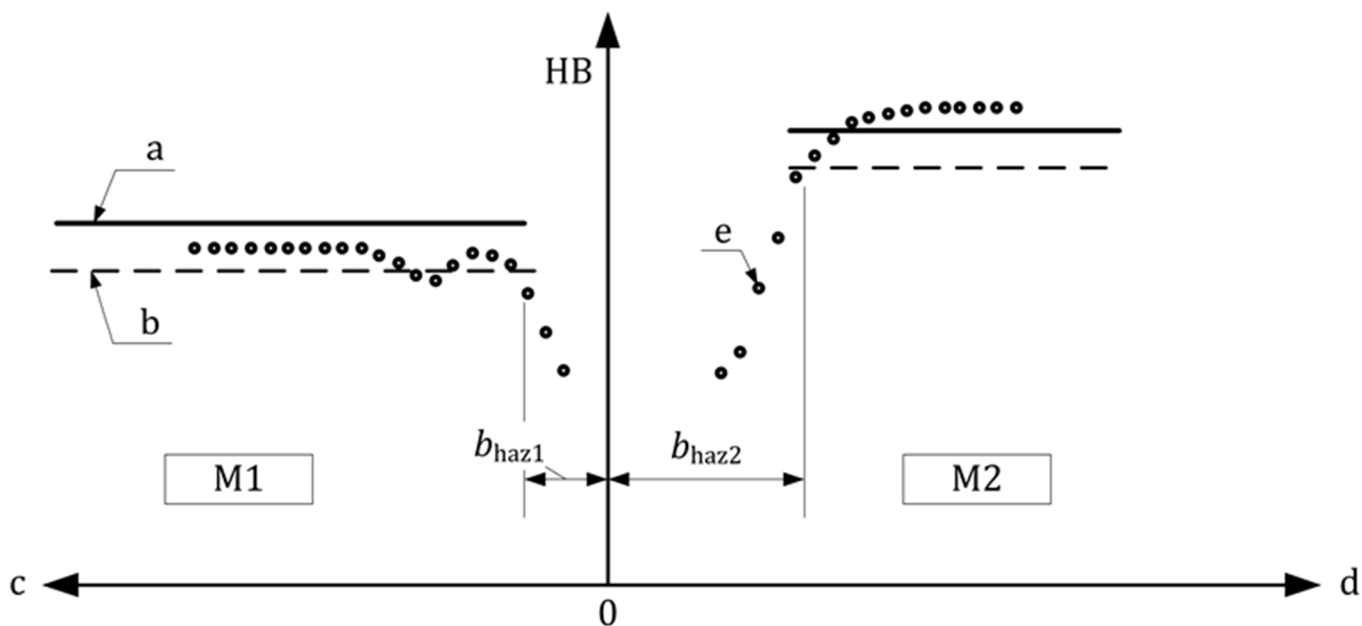
Примітка 2. Через низьку кореляцію між границею текучості та твердістю (лінійна залежність існує лише в поєднанні з великим діапазоном розкиду) значення границі текучості в зоні термічного впливу не можуть бути достатньо точно виведені з вимірних значень твердості, що означає локальні зміни понижувальних коефіцієнтів ρ, ρ_{HAR} , а також значень для сплавів і станів обробки, не наведених у стандарті, і можуть бути визначені лише за допомогою інших методів випробувань (див. примітку до 8.1.6.2).

(2) Прилади для надійного вимірювання твердості є або стаціонарними, або не дуже зручними в користуванні. Через розміри вимірювальної головки неможливо виконати вимірювання так близько до зварного шва, як хотілося б під час проведення вимірювань на поверхні неушкодженого елемента. Для таких непошкоджених елементів, вимірювання рекомендовано проводити поблизу того місця, де було зроблено останній шов. Проблему доступності можна вирішити вирізанням відповідної частини з конструкційного елемента, з подальшим проведенням вимірювання вздовж центральної лінії поперечного перерізу відокремленого елемента.

Примітка. Прилади для вимірювання твердості, що працюють за методом відскоку, як правило, не можуть бути рекомендовані тут для цих вимірювань, оскільки, залежно від характеристик жорсткості точки, яку перевіряють, вони відображають занадто низькі значення твердості.

(3) Для оцінювання процесу визначення величини зони термічного впливу за допомогою вимірювань твердості таким чином, щоб певне значення величини зони термічного впливу можливо було використовувати

під час проєктування, необхідно задокументувати наступне: стандартні параметри зварного шва, точні геометричні пропорції деталі, її підтримки під час зварювання та інші умови, що можуть вплинути на тепловий потік. Температури попереднього нагрівання і проміжного проходу рекомендовано виміряти, зареєструвати, а також дотримуватися їх пізніше під час зварювання. Вимірювання твердості та визначення розмірів зони термічного впливу має бути всебічно задокументовано в окремому звіті, який має бути перевірено та затверджено офіційним органом (інженерами-зварювальниками, які мають досвід роботи з алюмінієм). На основі проведених вимірювань і умов зварювання рекомендовано скласти план послідовності зварювання для подальшого зварювання. Зокрема, у плані має бути вказано мінімальні і максимальні температури, яких необхідно дотримуватися під час попереднього нагрівання та як температури між проходами.



Умовні позначки:

M1 — Матеріал 1

M2 — Матеріал 2

a — Базовий рівень твердості (визначений на основі наявного матеріалу)

b — 90 % рівень твердості

c — відстань від кореня або центру зварного шва

d — відстань від кореня або центру зварного шва

e — точка вимірювання після зварювання

Рисунок Q.1 — Принципова схема для визначення ширини зони
термічного впливу b_{haz} на основі вимірювань твердості

ДОДАТОК R

(довідковий)

СТАЛЕВИЙ ЛИСТ З АЛЮМІНІЄВИМ ПОКРИТТЯМ (ТИП А)

R.1 Застосування цього додатка

(1) Цей довідковий додаток містить додаткові вказівки до наведених у розділі 10.13(2).

Примітка. Національний вибір щодо застосування цього довідкового додатка наведено в національному додатку. Цей додаток можна застосовувати, за умови, що національний додаток не містить інформації щодо його застосування.

R.2 Сфера та область застосування

(1) Цей додаток застосовний до приварних шпильок у несних конструкціях і складових частинах будівель класів виконання EXC1 і EXC2 під дією переважно статичного навантаження, за умови, що різьбові з'єднання з приварними шпильками не запроєктовані на багаторазове послаблення і затягування (наприклад, у тимчасових конструкціях).

(2) Матеріали вказаних у EN 1999-1-1 і EN 1999-1-4 станів обробки, наведені в таблиці R.1, рекомендовано розглядати як придатні для використання в якості основного матеріалу, до якого можуть бути приварені приварні шпильки.

Таблиця R.1 — Основний матеріал, до якого можуть бути приварені приварні шпильки

EN AW-3004(AlMn1Mg1)	EN AW-5005/5005A(AlMg1)	EN AW-6060(AlMgSi)
EN AW-3005(AlMn1Mg0,5)	EN AW-5049(AlMg2Mn0,8)	EN AW-6063(AlMg0,7Si)
EN AW-3103(AlMn1)	EN AW-5052(AlMg2,5)	
EN AW-3105(AlMn0,5Mg0,5) ^a	EN AW-5251(AlMg2) ^a	
	EN AW-5454(AlMg3Mn)	
	EN AW-5754(AlMg3)	
^a Матеріал вказано лише в EN 1999-1-4.		

(3) Підходять приварні шпильки з типом розплавлення кінчика РТ, виготовлені за EN AW-5754 (AlMg3) H12 і EN AW-1050A (Al99,5) H14 з

номінальними діаметрами d_b (відповідають d_1 згідно з EN ISO 13918) від 4 мм до 6 мм. Для приварних шпильок, виготовлених за EN AW-5754, приварюваних до EN AW - 6060 і EN AW-6063, номінальний діаметр d_b обмежено до 5 мм.

(4) Приварні шпильки мають відповідати стандарту EN ISO 13918 у поєднанні з декларацією відповідності типу 2.1 згідно з EN 10204.

R.3 Конструкція

(1) З'єднання мають бути запроєктовані так, щоб приварні шпильки не зазнавали дії згинальних навантажень.

(2) Якщо отвори для приварних шпильок перевищують допуск по отворах, встановлений у EN 1999-1-1 для болтових з'єднань (як правило), застосовують наступне:

Для передачі зусиль у площині під час перевіряння граничного стану розрахункового опору дозволено застосовувати лише статично визначену систему (тобто кількість приварених болтів, що передають зусилля, не має перевищувати кількість обов'язкових до виконання умов рівноваги), за винятком випадків, коли для забезпечення того, щоб в граничному стані, обумовленому переміщенням твердого тіла в площині, допуск (відстань між приварною шпилькою і краєм отвору) для всіх приварних шпильок, що передають навантаження, становив менше 1 мм використано інші засоби (наприклад, заходи під час проєктування).

Для овальних отворів опорну поверхню дозволено розраховувати згідно з EN 1999-1-1, якщо:

- a) — отвір повністю закрито бічною опорою, і
- b) — пункт 8.2.1(5) EN 1090-3 було дотримано, і
- c) — максимальні розміри отвору не можуть перевищувати діаметр приварної шпильки більш ніж в 2,5 рази.

R.4 Конструкція

(1) Під час проєктування зварного вузла, зону термічного впливу в її стандартному розумінні і розмірах (див. 8.1.6) можна не враховувати через низьке енергоспоживання. Нагрівання впливає лише на вузьку перехідну зону зварного шва між приварною шпилькою та основним матеріалом.

(2) Значення f_{ub} , наведені в таблиці R.2, рекомендовано використовувати в якості характеристичних значень для проєктування матеріалу болта, що не зазнає термічного впливу.

Таблиця R.2 — Характеристичні значення матеріалу приварної шпильки, що не зазнає термічного впливу

Матеріал/стан обробки	EN AW-5754(AlMg3) H12	EN AW-1050A(Al99,5) H14
f_{ub}	230 Н/мм ²	100 Н/мм ²

(3) Характеристичні значення $F_{tb,Rk}$ зусиль розтягу, що можуть передаватися через зону плавлення, наведено в таблиці R.3. Ці значення мають бути підтверджені приймальним випробуванням процедури зварювання, в ході якого мають бути продемонстровані конкретні мінімальні значення середнього розривного навантаження і не рекомендовано перевищувати максимальне значення коефіцієнта варіації. Розрахункове значення $F_{tb,Rd}$ рекомендовано приймати відповідно до формули (R.1):

$$F_{tb,Rd} = F_{t,Rd} = 0,9f_{ub}A_s/\gamma_{M2} \quad (R.1)$$

Згідно з таблицею 10.4, і де γ_{M2} наведено в таблиці 4.1.

Таблиця R.3 — Характеристичні значення $F_{tb,Rk}$ розтягуючих зусиль, що можуть передаватися через зону плавлення

$F_{tb,Rk}$	Діаметр приварної шпильки 4 мм	Діаметр приварної шпильки 5 мм	Діаметр приварної шпильки 6 мм
EN AW-5754 H12	1680 Н	2710 Н	3840 Н
EN AW-1050 H14	800 Н	1300 Н	1840 Н

(4) Для розрахункового опору зони плавлення під дією зсуву,

застосовують менше значення $f_{u,haz}$ сполучення матеріалів між шпилькою і матеріалом основи. Значення $f_{u,haz}$ для основного матеріалу наведено в таблиці 5.3 або таблиці 5.4. Значення $f_{ub,haz}$ для болтів наведено в таблиці R.4.

Якщо у таблиці 5.3 відсутні значення $f_{u,haz}$ для сплавів або станів обробки наведених у EN 1999-1-4, то значення $f_{u,haz}$ рекомендовано приймати як для стану обробки О (м'який), див. EN 485-2.

Таблиця R.4 — Значення $f_{ub,haz}$ приварної шпильки

Матеріал/стан обробки	EN AW-5754(AlMg3) H12	EN AW-1050A(Al99,5) H14
$f_{ub,haz}$	180 Н/мм ²	60 Н/мм ²

Розрахункове значення $F_{v,Rd}$ перерізувальної сили приймають за таблицею 10.3 на основі вирішального значення $f_{u,haz}$ та площі приварної шпильки $A = (\pi/4)d_b^2$.

(5) Якщо виконано умову формули (R.2), у зоні розплавлення перевіряють розрахунковий опір,

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{F_{tb,Rd}} \leq 1 \quad (R.2)$$

(6) Перевірку розрахункового опору приварної шпильки, підданої розтягуванню і зсуву, рекомендовано проводити згідно з умовами і формулами, наведеними у таблиці 10.3. Для цього в якості характеристичного значення рекомендовано використовувати f_{ub} згідно з таблицею R.2 і застосовувати коефіцієнти для алюмінієвих болтів.

(7) Обчислюючи розрахунковий опір зсуву під час продавлювання основного матеріалу $B_{p,Rd}$, спричинений зусиллями в напрямку осі болта, замість d_m у таблиці 10.3 потрібно застосовувати номінальний діаметр болта d_b .

(8) Перевірки, необхідні згідно з параграфами (5) — (7), не замінюють доказів експлуатаційної придатності. Якщо експлуатаційну придатність

порушено, наприклад, на фасадах, що можуть бути пошкоджені місцевими пластичними деформаціями основного матеріалу (спотворення візуально сприйнятного вигляду), у кожному конкретному випадку її рекомендовано оцінювати на основі досвіду або випробувань.

(9) Для будівельного елемента, до якого прикріплено приварні шпильки (основний матеріал), рекомендовано виконати всі інші перевірки проєктної міцності, наведені у цьому стандарті.

ДОДАТОК S

(обов'язковий)

АЛЮМІНІЄВІ МОСТИ

S.1 Застосування цього додатка

(1) Цей обов'язковий додаток містить додаткові положення для мостів до розділу 4.1.1(4) щодо основних вимог до проєктування алюмінієвих конструкцій.

S.2 Сфера та область застосування

(1) Положення, наведені в цьому додатку, що доповнюють вимоги, наведені в основній його частині, потрібно застосовувати в якості загальної основи для проєктування конструкції:

- постійні алюмінієві мости;
- алюмінієві частини постійних мостів, виготовлених з інших матеріалів;
- алюмінієві настили в якості заміни настилів з інших матеріалів під час модернізації існуючих постійних мостів.

(2) Щодо проєктування конструкцій тимчасових алюмінієвих мостів, положення, наведені в цьому додатку, дозволено уточнювати додатково до вимог, наведених в основній частині цього стандарту.

Примітка. Мінімальні вимоги до проєктування конструкцій тимчасових алюмінієвих мостів можуть бути встановлені у національному додатку.

(3) Додаткові вимоги може бути встановлено відповідальним органом, або узгоджено для конкретного проєкту відповідальними сторонами.

(4) Якщо не вказано інше, потрібно застосовувати EN 1999-1-1.

S.3 Терміни, визначення понять та позначки

Примітка. Див. розділ 3.

S.4 Основи проєктування

S.4.1 Загальні положення

S.4.1.1 Живучість

(1) Додатково до пункту 4.1.3 потрібно застосовувати наступні пункти S.4.1.1.

(2) Живучість алюмінієвих мостів потрібно враховувати згідно з EN 1990.

(3) Ключові алюмінієві елементи або деталі мостів, що зазнають впливу ударних навантажень та не мають альтернативних шляхів їх передачі, мають бути достатню пластичними.

Примітка 1. У разі застосування нерозрізних балок, пластичність можливо підтвердити методом пластичних шарнірів з використанням рекомендацій, наведених у додатку К.

Примітка 2. Рекомендації щодо оцінки пластичності вузла наведено в додатку М.

(4) Якщо алюмінієвий міст складено з замінюваних конструкційних елементів або частин, можливість їх безпечної заміни дозволено перевіряти в рамках тимчасової розрахункової ситуації.

S.4.1.2 Розрахунковий строк експлуатації

(1) Додатково до пункту 4.1.3 потрібно застосовувати наступні пункти S.4.1.2.

(2) Розрахунковий строк експлуатації незнімних алюмінієвих мостів має бути розраховано згідно з EN 1990.

(3) Розрахунковий строк експлуатації тимчасових алюмінієвих мостів дозволено розраховувати згідно з EN 1990.

Примітка. Мінімальні вимоги до розрахункового строку експлуатації конструкцій тимчасових алюмінієвих мостів може бути встановлено у національному додатку.

(4) Мають бути передбачені положення щодо обліку фактичного використання багаторазових елементів або частин алюмінієвих мостів.

Примітка. Мінімальні вимоги до розрахункового строку експлуатації конструкцій тимчасових алюмінієвих мостів може бути встановлено у національному додатку.

(5) Додаткові вимоги до облікових документів щодо фактичного використання багаторазових елементів або частин алюмінієвих мостів може бути визначено відповідальним органом або, якщо не зазначено інше, узгоджено для конкретного проєкту відповідальними сторонами.

S.5 Матеріали

S.5.1 *Складові частини мостів, на які не поширюється цей стандарт*

S.5.1.1 *Загальні положення*

Додатково до розділу 5 потрібно застосовувати наступні пункти S.5.1

S.5.1.2 *Елементи, що працюють на розтяг*

(1) Сталеві елементи, що працюють на розтяг, такі як троси, попередньо напружені прутки і дріт, мають бути запроєктовані згідно з EN 1993-1-11.

S.5.1.3 *Опорні частини*

(1) Опорні частини мають бути запроєктовані згідно з EN 1990.

S.6 Довговічність

(1) Згідно з розділом 6 рекомендовано враховувати можливість корозії елементів або частин алюмінієвих мостів і запобігати їй за допомогою відповідного підходу, див. EN 1090-3. Особливу увагу рекомендовано приділяти:

— запобіганню стікання води з незахищених поверхонь з вуглецевої сталі на алюмінієві поверхні;

— місцям контакту між алюмінієм та іншими металами, бетоном або деревом.

(2) Згідно з розділом 6 рекомендовано враховувати можливість втоми елементів або частин алюмінієвих мостів і запобігати їй за допомогою відповідного підходу, див. S.10, EN 1090-3 та EN 1999-1-3.

(3) Згідно з розділом 6 елементи та частини алюмінієвих мостів має бути запроєктовано таким чином, щоб забезпечити доступ для огляду і технічного обслуговування в процесі експлуатації.

Примітка 1. Роботи з технічного обслуговування можуть включати:

— огляд;

— очищення;

— відновлення шару з синтетичних смол і асфальтобетонного дорожнього покриття;

— заміна опорних частин, анкерів, тросів і температурних швів.

Примітка 2. Мінімальні вимоги щодо доступу може бути визначено в національному додатку.

(4) Додаткові вимоги до доступу може бути встановлено відповідальним органом, або, якщо вони не вказані, узгоджено для конкретного проєкту відповідальними сторонами.

S.7 Довговічність

S.7.1 Загальні положення

(1) Пункт 7.1 застосовний до мостів, якщо в наступних пунктах розділу S.7 не зазначено інше.

(2) Згідно з 7.1.1 конструкційне моделювання для динамічного розрахунку рекомендовано виконувати згідно з рекомендаціями EN 1991-2.

(3) Для обмеження шкоди в граничному стані за несною здатністю, моделі загального розрахунку мають бути пружними для тимчасових і постійних розрахункових ситуацій.

(4) У разі пластичного загального аналізу рекомендовано враховувати пластичний перерозподіл та можливість накопичення пластичної деформації.

S.7.2 Недосконалості

(1) Обробку недосконалостей для загального розрахунку та розрахунку підмоделей рекомендовано виконувати згідно з 7.3.

Примітка 1. Керівництво щодо використання недосконалостей для пластинчастих конструкцій і арок наведено у 7.3.2.

Примітка 2. Для арок і ферм в якості альтернативної недосконалості може бути прийнято розрахований стан втрати стійкості від відповідної форми втрати стійкості.

(2) Форми і амплітуди початкових недосконалостей для втрати стійкості арок у площині та поза нею рекомендовано приймати згідно з 7.3.2(3).

(3) Додатково до 7.3.2(3), якщо сукупні ефекти від внеску різних опор впливають на форму і амплітуду початкових недосконалостей, дозволено застосовувати понижувальний коефіцієнт для кількості колон в ряду α_m , де α_m — понижувальний коефіцієнт для кількості опор в ряду.

Примітка. Типовим прикладом є опори, що утворюють раму з прогонової будовою.

S.8 Граничні стани за несною здатністю

S.8.1 Основні положення

(1) Пункт 8.1.3(1) застосовний до мостів, якщо в наступних пунктах розділу S.8 не зазначено інше.

S.8.2 Опір поперечних перерізів

S.8.2.1 Загальні положення

(1) Вплив запізнення зсуву на граничний опір алюмінієвих елементів рекомендовано враховувати згідно з 8.2.2.3(1).

Примітка. У додатку J наведено детальні рекомендації щодо ефекту запізнення зсуву.

S.8.2.2 Кручення

(1) Ефекти кручення і деформації потрібно враховувати згідно з 8.2.7 і додатково до наступних пунктів S.8.2.2.

(2) Вплив поперечної жорсткості в поперечному перерізі, або діафрагм, вбудованих для зменшення деформацій викривлення, дозволено враховувати використанням відповідної пружної моделі під дією комбінованого впливу вигину, кручення і викривлення.

(3) Ефекти викривлення в елементах дозволено не враховувати, якщо ці ефекти не перевищують 10% від ефектів вигину.

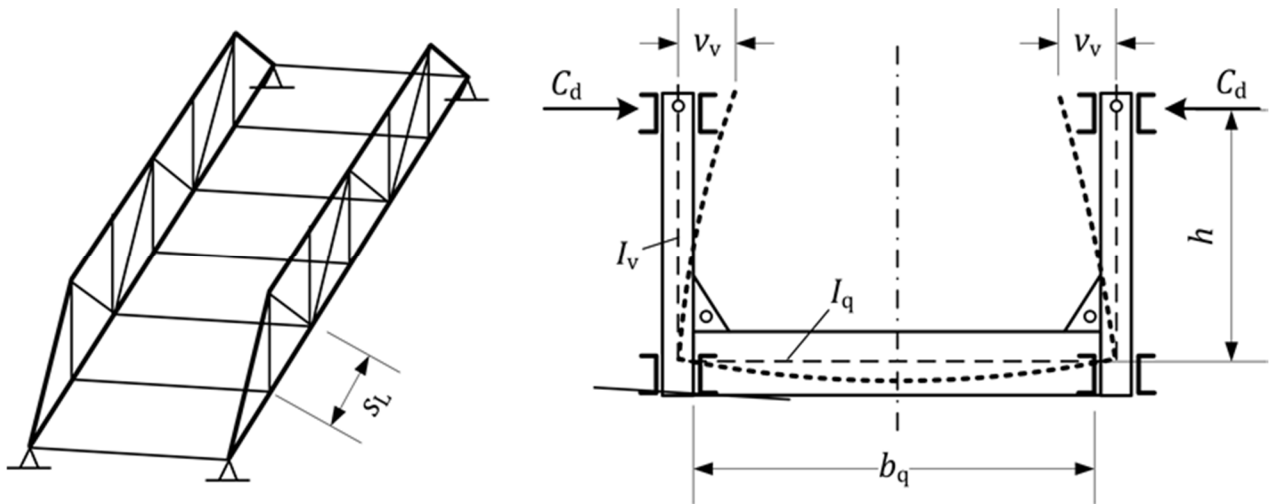
(4) Системи поперечної жорсткості рекомендовано проєктувати так, щоб враховувати наслідки дій, що виникають в результаті нерівномірного розподілу навантаження.

S.8.3 Опір елементів втраті стійкості

(1) Додатково до пункту 8.3.1, для алюмінієвих мостів з відкритою фермою опір втраті стійкості елементів стиснутого пояса дозволено визначати з застосуванням моделі нерозрізної балки на бічних гнучких опорах.

(2) Жорсткість бічних гнучких опор дозволено визначати за допомогою моделі U-подібної рами, наведеної на рисунку S.1.

(3) Поперечне зміщення елемента пояса може сильно залежати від жорсткості з'єднань між поперечною балкою і елементом ферми, а також між елементами ферми, так само як модель U-подібної моделі має відображати фактичні співвідношення жорсткості.



Умовні позначки:

h — вертикальний розмір поперечного перерізу моста;

b_q — горизонтальний розмір поперечного перерізу моста;

C_d — Бічне навантаження у верхній частині вертикального елемента ;

V_v — Бічне переміщення на вершині вертикального елемента;

I_v — момент інерції вертикального елемента;

I_q — момент інерції горизонтального елемента.

Рисунок S.1 — U-подібна модель відкритого фермового моста

S.9 Граничні стани експлуатаційної придатності

S.9.1 Загальні положення

(1) Пункт 9.2 не застосовний до алюмінієвих мостів.

(2) Додатково до 9.1 потрібно застосовувати наступні пункти S.9.

(3) Алюмінієвий міст має бути спроектовано згідно з критеріями експлуатаційної придатності, наведених у EN 1990.

Примітка. Для EN 1990:2023, див. додаток A.2.

(4) Додаткові вимоги до перевіряння мостів у граничному стані експлуатаційної придатності може бути встановлено відповідальним органом, або, якщо вони не вказані, узгоджено для конкретного проєкту відповідальними сторонами.

S.9.2 Критерії ефективності

S.9.2.1 *Залізничні мости*

(1) Конкретні критерії до прогину і вібрації залізничних мостів рекомендовано отримати зі стандарту EN 1990.

Примітка. Для EN 1990:2023, див. додаток A.2.

S.9.2.2 *Дорожні мости*

(1) Рекомендовано уникати надмірних прогинів там, де у випадку обмерзання поверхні, обумовлений ними надмірний поперечний ухил може поставити рух транспорту під загрозу.

(2) Прогини рекомендовано розраховувати з використанням частих комбінацій навантажень, наведених в EN 1991-2.

(3) Конструкція настилу має бути спроектована так, щоб її прогин по довжині компенсатора теплового розширення був рівномірним. Рекомендовано уникати різких змін ухилу настилу і перепадів рівня в компенсаторах теплового розширення. Будь-які поперечні балки в кінці моста мають бути сконструйовані так, щоб прогин не перевищував:

- межа, встановлена для належного функціонування компенсатора теплового розширення;

- 5 мм, якщо для конкретного типу компенсатора теплового розширення не вказано інші обмеження.

(4) Там, де конструкція настилу нерівномірно обперта (наприклад, додатковими в'язями на проміжних мостових опорах), площа настилу, прилегла до цих додаткових опор настилу, має бути спроектована з урахуванням підвищених ударних чинників, зазначених в EN 1991-2 для зони поблизу будь-яких вузлів.

S.9.2.3 *Пішохідні мости*

(1) Для алюмінієвих пішохідних містків, де надмірна вертикальна або горизонтальна вібрація може викликати у користувачів дискомфорт,

рекомендовано вжити заходів для перевірки на відповідність критеріям комфорту.

Примітка 1. Критерії комфорту для пішохідних містків наведено в EN 1990:2023, додаток H.

Примітка 2. Вібрації можливо звести до мінімуму, підвищивши жорсткість моста або забезпечивши його відповідними амортизаційними пристроями.

(2) Як зазначено в EN 1991-2, прогин пішохідного моста має враховувати вплив службових транспортних засобів, .

S.10 Втома

S.10.1 Загальні положення

(1) Наступні пункти S.10 потрібно додатково застосовувати для перевірки алюмінієвих мостів на втоми.

(2) Перевірку розрахункової ситуації за втоми рекомендовано проводити згідно з EN 1999-1-3.

S.10.2 Втомлювальне навантаження

(1) Втомлювальне навантаження рекомендовано обчислювати за відповідними розділами стандарту EN 1991.

(2) Додаткові вимоги щодо втомлювального навантаження може бути встановлено відповідальним органом, або узгоджено для конкретного проєкту відповідальними сторонами.

(3) Для перевірки конструкції алюмінієвих дорожніх мостів на втому рекомендовано використовувати моделі втомлювального навантаження, наведені в EN 1991-2, за винятком моделі втомлювального навантаження 3.

(4) Для перевірки конструкції алюмінієвих залізничних мостів на втому рекомендовано використовувати моделі втомлювального навантаження, наведені в EN 1991-2, за винятком моделі навантаження 71.

(5) Якщо алюмінієві пішохідні мости, їх частини або елементи не буде приведено в резонанс під дією пішохідного навантаження, то під час проєктування на втому цією ситуацією можна знехтувати.

Примітка. Модель втомлювального навантаження для пішохідних мостів не наведено в EN 1991-2, і найкращий можливий спосіб перевірити розрахункову ситуацію за втоми під час проєктування — уникнути значного збільшення діапазонів напружень.

(6) Якщо алюмінієві пішохідні мости, їх частини або елементи не буде приведено в резонанс під дією вихороутворення, то під час проєктування на втому розрахунковою ситуацією від вітрового навантаження можна знехтувати.

Примітка. Керівництво з визначення втомлювальних навантажень від вихрового збудження наведено в EN 1991-1-4.

S.10.3 Часткові коефіцієнти для перевірки на втому

(1) Частковий коефіцієнт для втомлювальних навантажень γ_{Ff} потрібно приймати згідно з EN 1999-1-3.

(2) Частковий коефіцієнт для втомної міцності γ_{Mf} потрібно приймати згідно з EN 1999-1-3.

S.10.4 Чинники еквівалентності пошкоджень

(1) Дозволено застосовувати коефіцієнти еквівалентності пошкоджень, характерні для алюмінієвих мостів.

Примітка 1. Коефіцієнти еквівалентності пошкоджень, відкалібровані для сталевих мостів, не стосуються алюмінієвих мостів.

Примітка 2. У національному додатку може бути наведено значення коефіцієнтів еквівалентності пошкоджень для алюмінієвих мостів.

Примітка 3. Додаткові вказівки щодо коефіцієнтів еквівалентності пошкоджень наведено в EN 1999-1-3: 2023, 4.3.3.

S.10.5 Втомна міцність

Втомну міцність чутливих до втоми елементів конструкції потрібно обирати згідно з EN 1999-1-3.

S.10.6 Обробка після зварювання

Методи поліпшення якості зварних швів дозволено застосовувати для збільшення втомної довговічності чутливих до втоми елементів конструкції.

Примітка. Додаткові вказівки щодо обробки після зварювання наведено в EN 1999-1-3 і EN 1090-3.

S.11 Деталювання

S.11.1 Загальні положення

(1) Під час деталювання конструкцій і виконання алюмінієвих мостів рекомендовано керуватися наступними підпунктами S.11.

Примітка. Положення, наведені в S.11, поширюються на наступні алюмінієві частини моста:

- мостовий настил;
- балки з високими стінками;
- конфігурації елементів жорсткості;
- з'єднання

(2) З'єднання незнімних елементів конструкції або частин алюмінієвих мостів рекомендовано виконувати на:

- зварюванні;
- болтів з нержавкої сталі (у EN 1090-3 вказано, потрібен замикальний пристрій чи ні);
- болтів з цинковим покриттям (якщо доцільно);
- алюмінієвих заклепках.
- спеціальних з'єднувальних пристроях, придатних до використання у мостах відповідно до європейського стандарту (European Standard; EN),

прДСТУ EN 1999-1-1:202X

європейської технічної специфікації (*European Technical Specification; TS*) або прозорості та відтворюваної оцінки, що відповідає всім вимогам європейського оцінювального документа (*European Assessment Document; EAD*), наприклад, Європейському технічному схваленню (*European Technical Approval; ETA*).

(3) Якщо не було повністю оцінено пластичність вузла, рекомендовано уникати зварних з'єднань елементів або частин, які можуть зазнавати дії ударних навантажень.

Примітка. Подальші рекомендації щодо оцінки пластичності вузла наведено в додатку М.

S.11.2 Настили автомобільних і пішохідних мостів

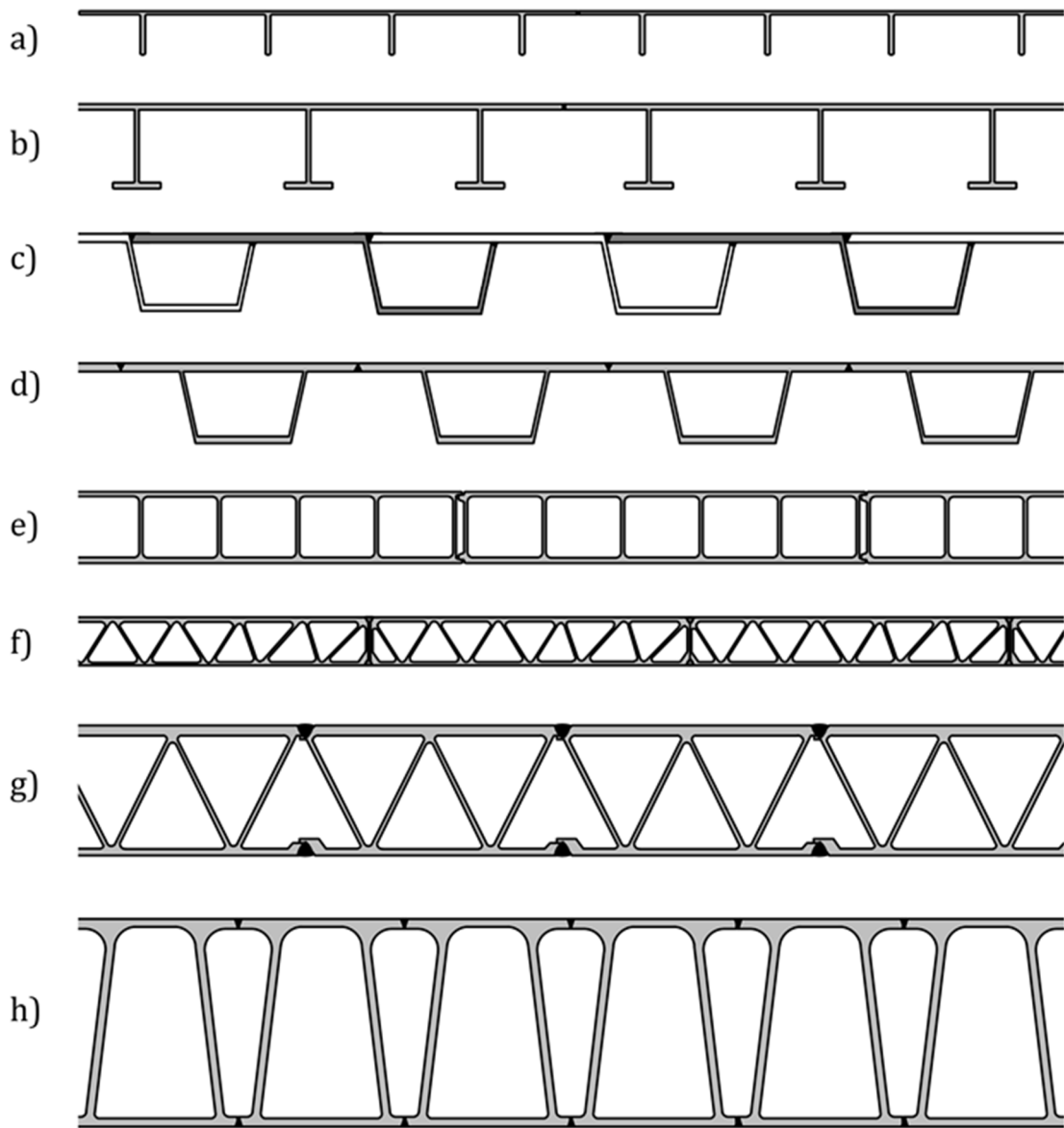
S.11.2.1 Конфігурації алюмінієвих мостових настилів

(1) Алюмінієві настили мостів дозволено бути виготовляти з використанням пресованих профілів або являти собою ортотропні зварні настили.

Примітка 1. У діапазоні економічних розмірів пресованих профілів, виготовленні з них настили матимуть перевагу над ортотропними зварними настилами, оскільки вони дозволяють оптимізувати поперечні перерізи через:

- меншої кількості зварних швів;
- зниження витрат на виготовлення;
- менше схильних до втоми елементів;
- підвищена жорсткість і стійкість;
- включення додаткових функцій.

Примітка 2. Типові профілі настилів з пресованого алюмінію наведено на рисунку S.2.



Умовні позначки:

a) — b) — відкрита конфігурація

c) — d) — напівзакрита конфігурація, виконана з відкритих секцій або сфальцьованого листа

e) — h) — закритої конфігурації

Рисунок S.2 — Окремий пресований настил

(2) Для настилів, виготовлених з пресованих профілів, для досягнення оптимальної конструкції рекомендовано рисунки S.2 і S.3):

1. врахувати потенційно необхідні розміри пресованих виробів та пов'язані з цим витрати;
2. ретельно вибрати топологію і тип з'єднання складових елементів

настилу;

3. застосовувати заокруглення у з'єднаннях полиць та стінок для запобігання геометричним нерівностям і зменшення місцевих пікових напружень (рис. S.3, деталь 1);

4. зменшити відстань між стінками поблизу зварних швів верхніх полиць у разі зварних з'єднань панелей настилу (рис. S.3, деталь 2);

5. застосовувати різну товщину верхньої та нижньої полиці, щоб компенсувати наслідки місцевого вигину, викликаного безпосереднім навантаженням на верхню полицю(рис. S.3).;

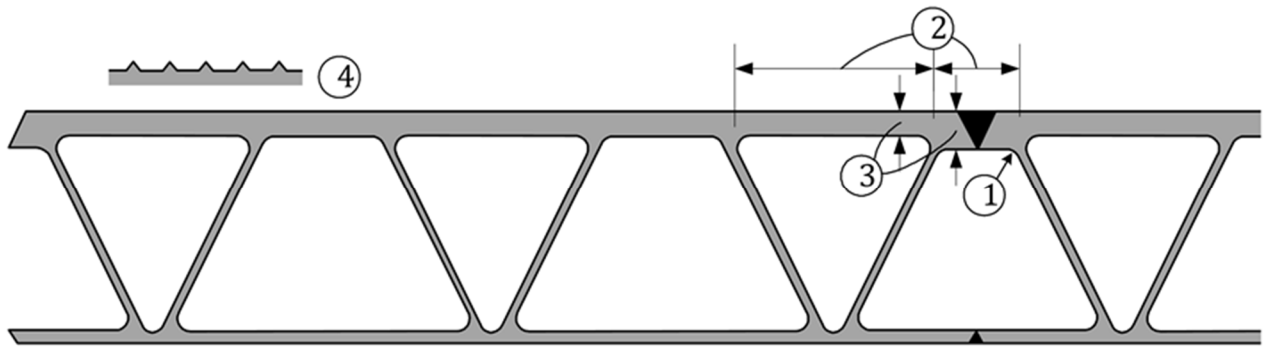
6. збільшити товщину полиці поблизу зварного шва (рис. S.3, деталь 3), щоб компенсувати ефект знеміцнення зони термічного впливу;

7. сформувати правильну форму поверхні плавлення та підкладки в місці зварювання (рис. S.8);

8. зробити більш функціональним, наприклад, зробити поверхню рифленою для запобігання ковзанню з (рис. S. 3, деталь 4);

9. проаналізуйте можливість створення та розміри необхідного пресованого профілю, приділяючи особливу увагу придатності до пресування та зварюваності.

Примітка. У випадку сприймання навантажень від коліс (тобто зосереджених навантажень), закриті конфігурації (рисунок S.2 e) — h)) зазвичай потребують менше матеріалу, ніж відкриті (рисунок S.2a) — b)). Однак у відкритих конфігураціях зварні шви є лише на верхніх полицях, і ці зварні шви доступні з обох сторін.



Умовні позначки:

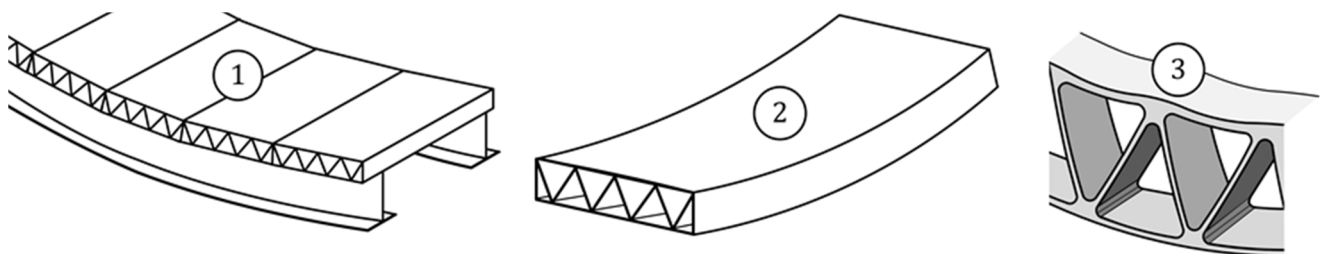
- ① — радіус заокруглення;
- ② — відстань між стінками;
- ③ — товщина полиці;
- ④ — рифлення для запобігання ковзанню.

Рисунок S.3 — Особливості пресованих виробів настилу

S.11.2.2 Наслідки загальних і місцевих дій на настил

(1) Конструкція настилів моста має враховувати поєднання наслідків загальних і місцевих дій (рисунок S.4), а саме:

- осьові напруження, що виникають внаслідок загального вигину моста, коли настил є частиною верхньої або нижньої полиці основної конструкції;
- поперечний вигин настилу між основними балками;
- місцевий вигин верхньої полиці настилу, обумовлений безпосередніми навантаженнями.



Умовні позначки:

- ① — загальний вигин моста
- ② — поперечний вигин настилу
- ③ — місцевий вигин полиці

Рисунок S.4 — Загальні і місцеві наслідки для пластин настилу

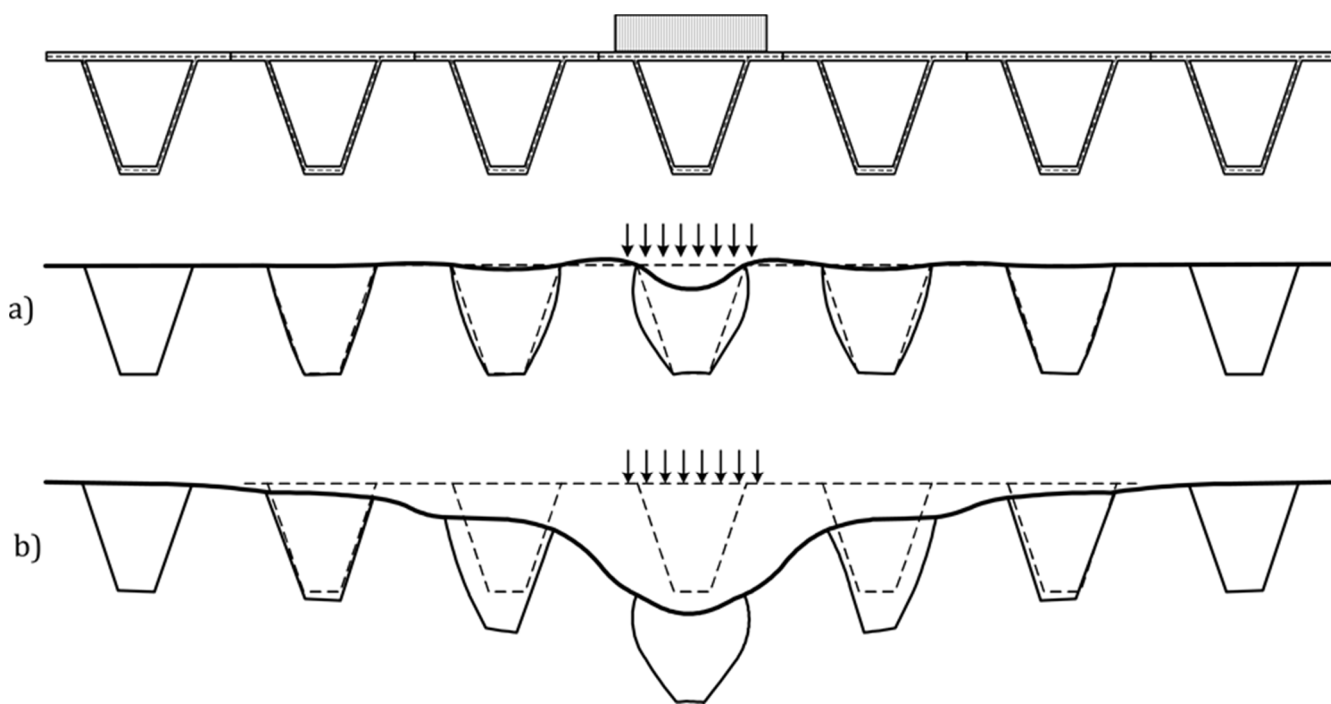
(2) Потрібно враховувати вплив місцевих деформацій, викликаних безпосереднім навантаженням, на поперечний переріз настилу.

Примітка 1. Рисунок S.5 демонструє вплив місцевих деформацій, обумовлених безпосереднім навантаженням на складові частини настилу:

а) біля опори на основну балку, за умови, що ребра жорсткості не будуть прогинатися;

б) посередині прогону, де показано ефект диференціальних вертикальних прогинів ребер жорсткості.

Примітка 2. Місцеві навантаження (навантаження від коліс) можуть викликати прогин внутрішніх стінок і діагональних розпірок у перерізах з порожнистими пластинами або втрату стійкості полиць відкритих переїзів у випадку дії безпосередньо на опорні частини або аналогічні жорсткі опорні пристрої:



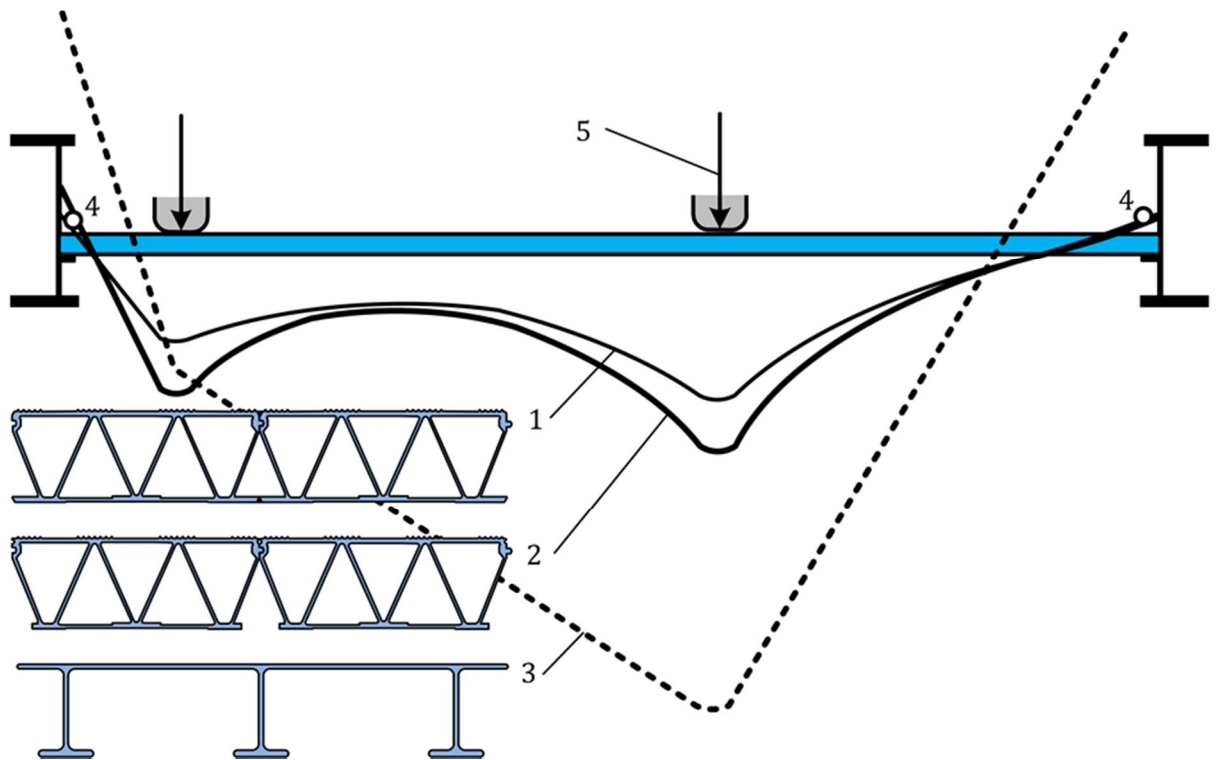
Умовні позначки:

а) — відсутній вертикальний прогин елемента жорсткості

б) — диференціальні прогини елементів жорсткості

Рисунок S.5 — Наслідки місцевого навантаження

(3) Необхідно враховувати вплив профілю настилу на розподіл згинального моменту (рис. S.6).



Умовні позначки:

- 1 — профілі, зварені разом;
- 2 — профілі, з'єднані пазом і шпунтом впритул до верхньої полиці;
- 3 — відкриті профілі (з тією ж жорсткістю на вигин, що і 1 та 3);
- 4 — центр зрізу балки;
- 5 — навантаження від колеса.

Рисунок S.6 — Приклади згинального моменту в профілях, під дією навантажень на конструкцію настилу

(4) Ефекти запізнення зсуву потрібно враховувати під час розрахунку загального вигину, коли настил працює спільно з головною балкою.

(5) Якщо настил з'єднано з головною балкою або панелі настилу між собою — за допомогою з'єднань, що допускають розширення, осьовими напруженнями в настилі, обумовленими загальним вигином, можна знехтувати.

(6) Під час перевірки розрахункової ситуації за втоми рекомендовано враховувати вплив поперечного вигину настилу, навантаження від коліс і тиск коліс.

S.11.2.3 Чистова обробка поверхні

(1) Необхідно подбати про вибір протиковзного покриття

Примітка 1. Можливо розглянути наступні можливості захисту поверхні від ковзання:

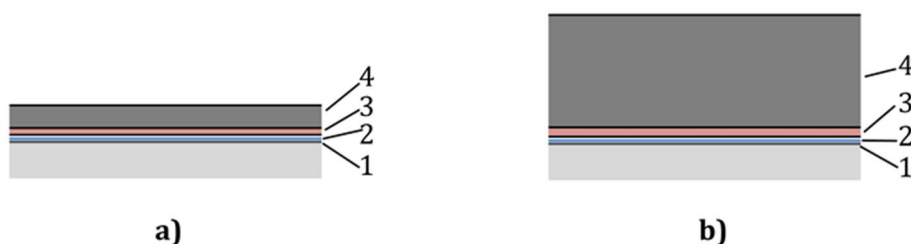
— алюмінієва поверхня з протиковзним рифленням (рис. S.3, деталь 4), без додаткового захисту, придатна для неагресивного середовища та від незначного до помірного ризику утворення вологої та ковзкої поверхні;

— тонке дорожнє покриття: покриття з акрилу (товщина від 5 до 10 мм, рисунок S.7(a));

— товсте дорожнє покриття: литий асфальт (Товщина 30 мм, рисунок S.7 (b));

— будь-яка інша відповідна протиковзна обробка.

Примітка 2. Гарячий шар асфальту може тимчасово викликати додаткові напруження і викривлення і, як наслідок, привести до пошкодження конструкції



Умовні позначки:

a) — акриловий поверхневий шар

b) — литий асфальт

1 — оброблена алюмінієва поверхня

2 — ґрунтовка

3 — поліуретанова ізоляція товщиною 1-2 мм для (a) і товщиною 5 мм для (b)

4 — Акриловий поверхневий шар товщиною 3-9 мм для (a) і шар литого асфальту товщиною 25 мм для (б)

Рисунок S.7 — Приклади дорожніх і захисних покриттів

(2) Попри зазвичай достатню корозійну стійкість алюмінієвих настилів, рекомендовано уникати контакту з кислотними вихлопними газами і солями для боротьби з обмерзанням.

S.11.2.4 *Заміна існуючих настилів алюмінієвими настилами*

(1) Алюмінієві настили дозволено застосовувати під час реконструкції мостів для заміни існуючих важких та/або пошкоджених настилів, як правило, із залізобетону, ортотропної сталі або деревини.

Примітка. Низька вага алюмінієвого настилу суттєво знижує вагу прогонової будови, дозволяючи або збільшення корисного тимчасового навантаження на міст (коли, наприклад, потрібно врахувати підвищене навантаження від транспортних засобів), та/або уникнути непотрібного посилення опор і фундаменту.

(2) Під час проєктування алюмінієвого настилу на заміну наявного, потрібно прийняти до уваги наступне:

- різницю в коефіцієнті лінійного температурного розширення алюмінію в порівнянні зі сталлю або бетоном;
- можливе виникнення гальванічної та/або щілинної корозії між алюмінієм та існуючими елементами конструкції;
- можливу чутливість до втоми елементів алюмінієвого настилу і особливо — з'єднання настилу з головною балкою в автомобільних або залізничних мостах.

(3) Якщо настил не працюватиме спільно з існуючою головною балкою, у з'єднаннях між головною балкою та настилом та/або між панелями настилу потрібно враховувати вільне теплове розширення.

(4) Коли настил діє спільно з існуючою головною балкою, конструкційний розрахунок має враховувати внутрішні зусилля, обумовлені обмеженнями на теплове розширення.

(5) Там, де алюмінієві елементи або деталі розташовані впритул до сталевих елементів або частин, потрібно запобігти гальванічній та щілинній корозії.

Примітка. Додаткові положення щодо запобігання корозії наведено в додатку D.

S.11.2.5 Зрощування настилу і з'єднання з головною балкою

(1) Під час з'єднування секцій настилу рекомендовано

використовувати нероз'ємні з'єднання (наприклад, зварювання) або ізоляцію (наприклад, гуму), щоб забезпечити безперервну поверхню настилу і запобігти потраплянню води на основні елементи конструкції, такі як сталеві несні балки.

Примітка. Приклади зварних з'єднань плит настилу наведено на рис. 10.27 і S.8.

(2) Гальванічну і щілинну корозію в місцях з'єднання настилу з опорним елементом потрібно попереджувати на етапі проєктування.

Примітка 1. Детальні рекомендації щодо захисту від корозії наведено в додатку D.

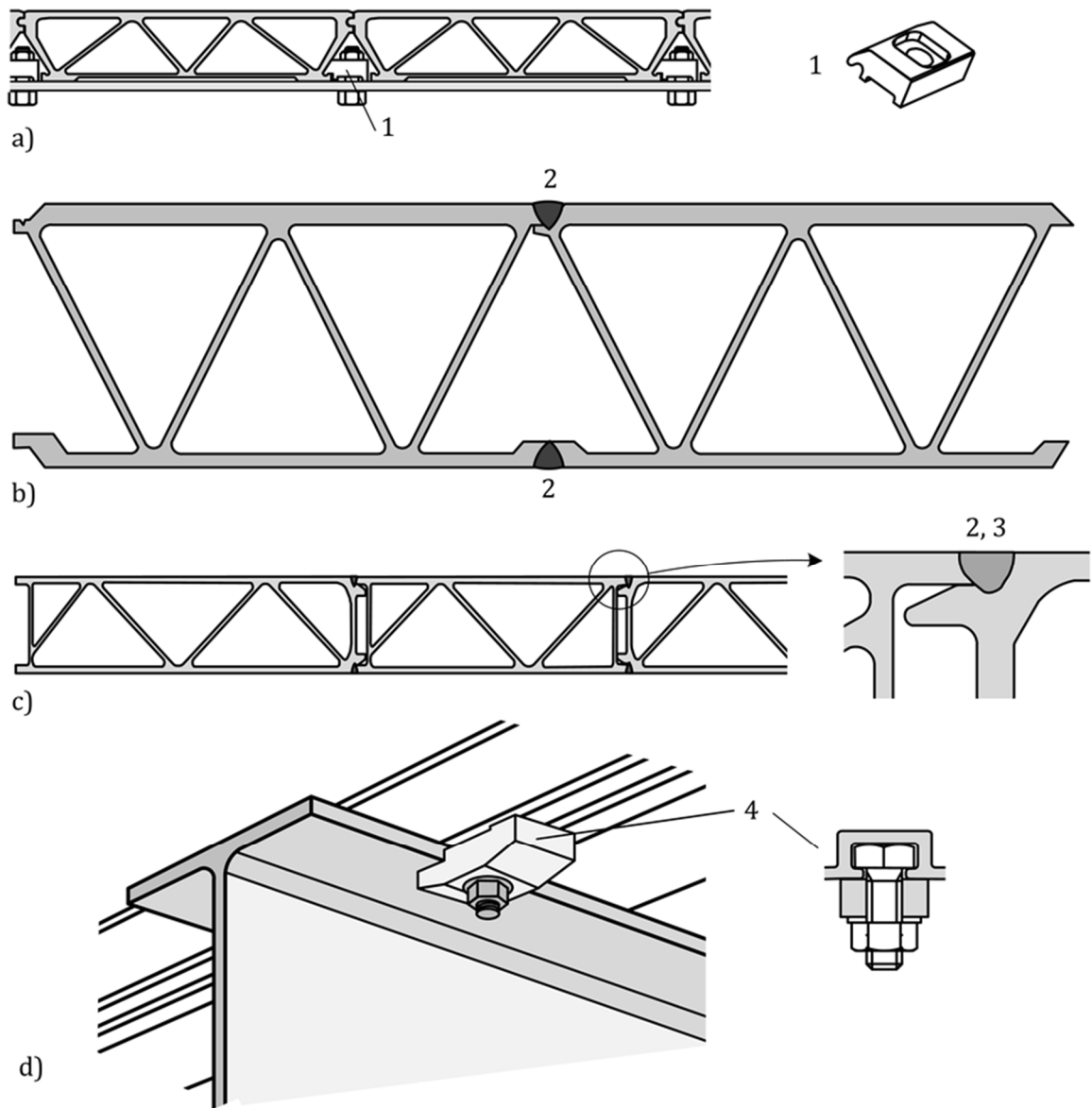
Примітка 2. Приклади з'єднань плити настилу з балкою проілюстровано на рисунках S.8a та S.8d.

(3) Для полегшення розсіювання енергії від удару і захисту настилу від залишкових деформацій дорожній настил із дорожнім огородженням рекомендовано з'єднувати за допомогою пластичного запобіжника.

Примітка. Приклад такого пластичного запобіжника наведено на рисунку S.9.

(4) Конструкційні частини алюмінієвого моста, до яких прикріплено огорожі або парапети, мають бути запроєктовані так, щоб забезпечити можливість пластичної деформації огорож або парапетів без пошкодження конструкції.

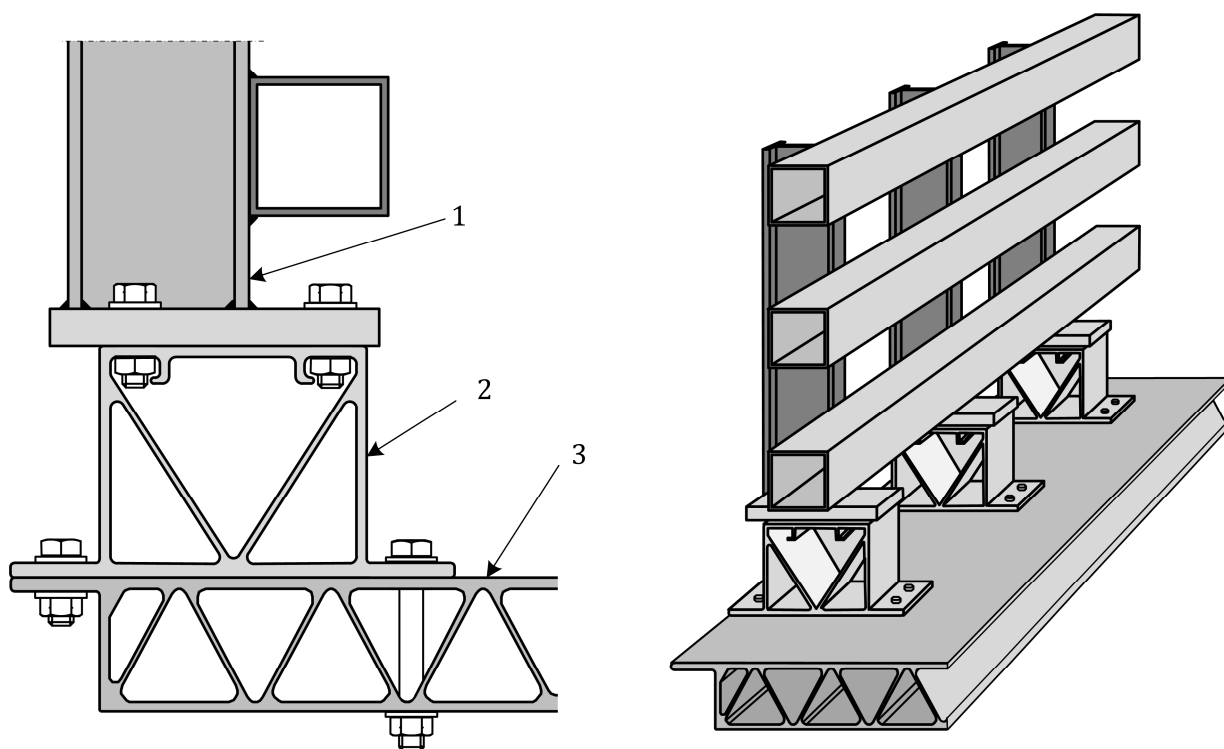
Примітка. Додаткові положення для конструкцій, що підтримують парапети, наведено в EN 1991-2.



Умовні позначки:

- a) — паз і шпунт (показано також з'єднання плити настилу з основною балкою);
- b) — зварювання під інертним газом плавким електродом (з підкладкою або без неї);
- c) — профілі, зварені з частковим напустком ;
- d) — з'єднання плити настилу з основною балкою;
- 1 — Затискач виготовлений з матеріалу згідно з додатком D;
- 2 — Зварювання під інертним газом плавким електродом (з підкладкою або без неї);
- 3 — Ротаційне зварювання тертям або зварювання під інертним газом;
- 4 — Затискач для балки, виготовлений з матеріалу згідно з додатком D, для з'єднання плити настилу з основною балкою.

Рисунок S.8 — Приклади елементів з'єднання секцій настилу



Умовні позначки:

- 1 — дорожнє огородження;
- 2 — пресований пластичний запобіжник;
- 3 — алюмінієвий настил.

Рисунок S.9 — Приклади з'єднань дорожнього огородження з алюмінієвим настилом

S.11.2.6 Конструкції композитного настилу

(1) Проектування плит настилу для композитних конструкцій має враховувати наслідки комбінованого впливу, зазначені в S.11.2.2.

Примітка. У разі алюмінієво-бетонних композитних балок проектування може бути виконано згідно з керівництвом, наведеним у додатку U.

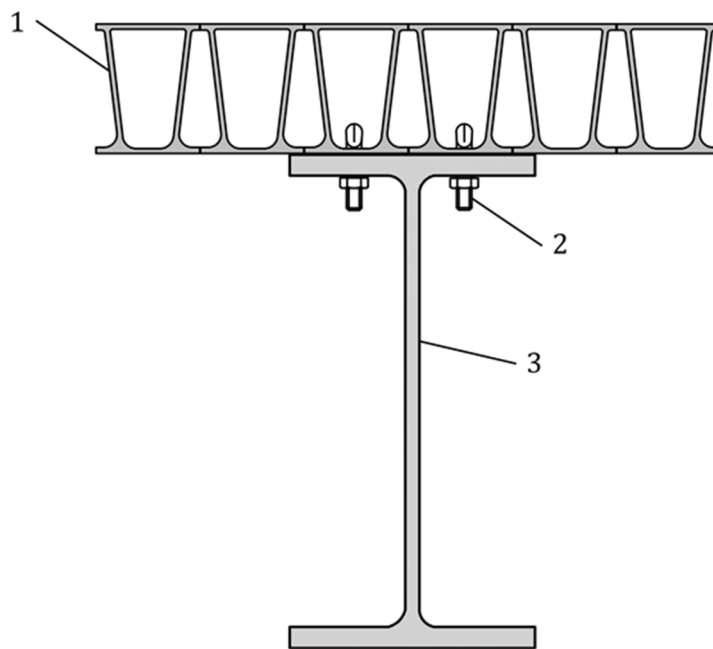
(2) Повна або часткова спільна дія має бути забезпечена належним деталюванням настилу та основних балок.

Примітка. Приклади з'єднання алюмінієвого настилу зі сталевією балкою наведено на рисунку S.10: стійкі до ковзання глухі болти дозволено ефективно використовувати в якості з'єднувачів, що працюють на зсув.

(3) Конструкція з'єднувачів, що працюють на зсув, між алюмінієвим

елементом і елементом з іншого матеріалу має вирішувати наступні проблеми:

- гальванічна і щілинна корозія,
- ефект повзучості,
- недоступність внутрішньої частини настилу,
- різні коефіцієнти температурного розширення,
- вплив екстремальних температурних циклів.



Умовні позначки:

- ① ∞ алюмінієвий настил
- ② — стійкий до проковзування глухий болт;
- ③ — сталева балка.

Рисунок S.10 — Приклад стійкого до проковзування з'єднання алюмінієвого настилу і сталевих балки

S.11.3 Алюмінієві балки з високими стінками

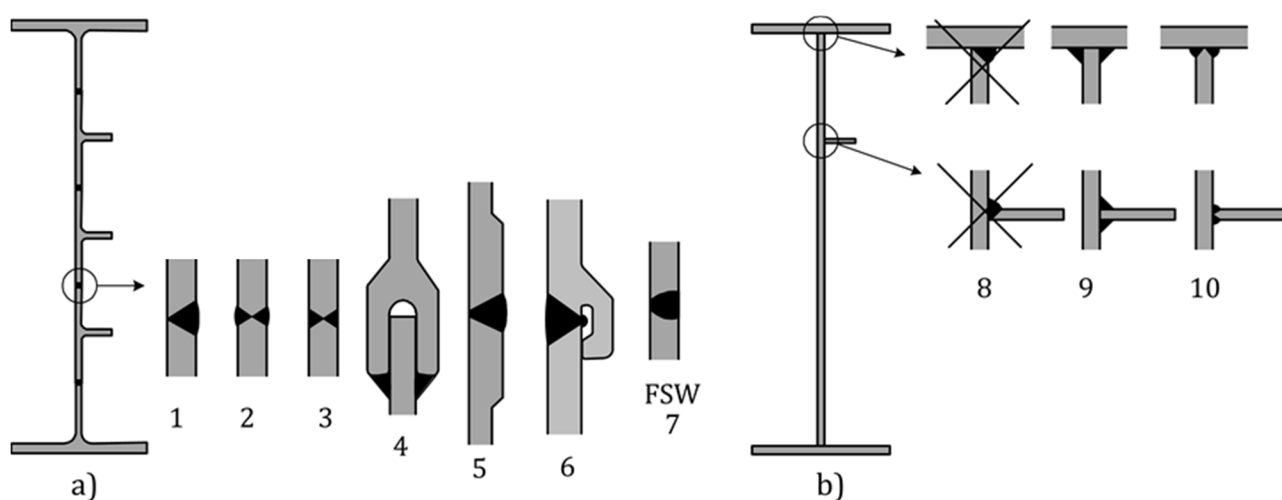
S.11.3.1 Конфігурації алюмінієвих балок з високими стінками

(1) для застосування у мостах алюмінієві балки з високими стінками дозволено проєктувати наступним чином:

а) пресовані і зварні (рис. S.11A): із застосуванням безлічі поздовжніх елементів жорсткості і рідше — вертикальних елементів жорсткості;

б) стандартної конструкції (рис. S.11b): із застосуванням одного або декількох поздовжніх елементів жорсткості, але відносно часто розташованих вертикальних елементів жорсткості (або діафрагм).

Примітка. Застосування пресованих профілів краще стандартної конструкції: пресовані профілі дозволяють отримати оптимізовані поперечні перерізи.



Умовні позначки:

а) — пресовані вироби;

б) — зварні пластини;

1 — односторонній стиковий зварний шов з вилученням підкладки;

2 — двосторонній стиковий зварний шов;

3 — двосторонній стиковий зварний шов, зроблений врівень;

4 — вилкоподібний край;

5 — односторонній зі збільшеною

товщиною для компенсації зниженої міцності в зоні термічного впливу;

6 — односторонній з підкладкою в профілі;

7 — ротаційне зварювання тертям;

8 — односторонній кутовий або стиковий шов (не рекомендовано);

9 — двосторонній кутовий зварний шов;

10 — двосторонній стиковий зварний шов.

Рисунок S.11 — Приклади типів зварних швів алюмінієвих балок з високими стінками

S.11.3.2 Деталювання

(1) Зварні шви для пресованих і зварних профілів мають належати до

одного з типів, наведених на рисунку S.11.

(2) Для пресованих виробів втрату міцності в зоні термічного впливу дозволено компенсувати місцевим збільшенням товщини матеріалу.

(3) Для стикових швів дозволено використовувати підкладки, вбудовані в пресований профіль.

(4) Для запобігання щілинній корозії рекомендовано уникати наступних типів зварних швів та конфігурацій:

- односторонній кутовий зварний шов (тип 9 на рисунку S.11);
- односторонній стиковий шов з частковим проплавленням (тип 8 на рисунку S.11);
- переривчастий кутовий шов.

(5) Для врахування проблем втоми особливу увагу рекомендовано приділяти наступним типам і конфігураціям:

- односторонній кутовий зварний шов
- часто розташовані місцеві кріплення, що призводять до сильного знеміцнення поперечного перерізу;
- поперечний кутовий шов;
- частковий односторонній стиковий шов;
- переривчастий кутовий шов;
- накладні пластини (замість них можна застосувати стиковий шов з повним проплавленням і більш товсті пластини і / або ковану пластину з кутовим з'єднанням);
- місцеві кріплення (аналогічно попереднім).
- поздовжнє кріплення приварене з усіх боків;
- поперечне кріплення товщиною > 20 мм.

ДОДАТОК Т

(довідковий)

РЕШІТЧАСТІ ПРОСТОРОВІ ПОКРІВЕЛЬНІ КОНСТРУКЦІЇ

Т.1 Застосування цього додатка

(1) Цей довідковий додаток містить додаткові вказівки щодо проєктування вузлів до наведених у пунктах 7.1.2.

Примітка 1. Національний вибір щодо застосування цього довідкового додатка наведено в національному додатку. Цей додаток можна застосовувати, за умови, що національний додаток не містить інформації щодо його застосування.

Примітка 2. Державним органам влади можуть знадобитися додаткові рекомендації, зокрема, в разі промислової системи підключення. У такому випадку компетентним органам може знадобитися технічне свідоцтво.

Т.2 Сфера та область застосування

(1) Додаткові положення, наведені в цьому додатку, потрібно враховувати під час проєктування алюмінієвих конструкцій, що перекривають довгі прогони сітчастими просторовими конструкціями, такими як двошарові решітки, одношарові і двошарові решітчасті склепіння і купола.

(2) Оскільки в одношарових решітчастих склепіннях і куполах вторинні згинальні моменти істотно впливають на поведінку конструкційних елементів і їх з'єднань, їх потрібно враховувати під час проєктування елементів і з'єднань згідно з Т.5.

(3) На проєктування решітчастих просторових покрівельних конструкцій в основному впливає проєктування з'єднань між конструкційними елементами, які в багатьох випадках проєктують для з'єднання декількох елементів. Тому поведінку з'єднань потрібно враховувати під час конструкційного моделювання.

Т.3 Загальні вимоги

(1) Конструкційні деформації споруд з великими прогонами мають бути обмежені з урахуванням впливу конструкційних з'єднань.

(2) У спорудах з великими прогонами потрібно враховувати теплові ефекти.

Т.4 Двошарові сітчасті конструкції

Т.4.1 Загальні положення

(1) Конструкційні елементи в двошарових решітках і двошарових ґратчастих склепіннях і куполах, які в основному зазнають осьових навантажень, потрібно проєктувати з урахуванням положень, наведених в розділах Т.4.2-Т.4.5.

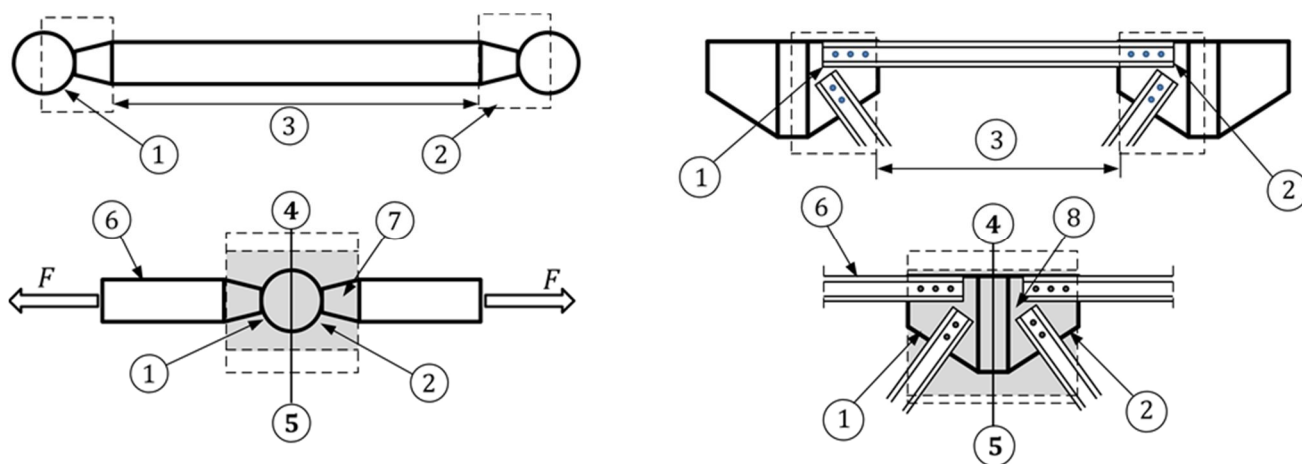
(2) За такої типології конструкцій згинальними моментами можна знехтувати за умови запобігання ексцентриситетам у конструкційних з'єднаннях.

(3) Конструкційні болтові з'єднання в двошарових решітках і двошарових решічастих склепіннях та куполах, залежно від прикладених до болтів внутрішніх зусиль, можливо розділити на два основних типи: з'єднання болтами на розтяг і з'єднання болтами на зсув.

(4) З'єднанням є зона між віссю, що відповідає вузлу конструкційної моделі, і кінцевим перерізом з'єднаних конструкційних елементів, що відповідає загальному поперечному перерізу бруто (рисунок Т.1), включаючи будь-який з'єднувальний елемент, що забезпечує передачу осьового зусилля від загального конструкційного елемента до вузла.

(5) Вузол потрібно визначати як загальну систему, складену з усіх зон з'єднання конструкційних елементів, з'єднаних із вузлом.

Примітка. Цю концепцію показано на малюнку Т.1, де для простоти наведено посилання на вузол, що з'єднує два елементи.



Умовні позначки:

- 1 — ліве з'єднання;
- 2 — праве з'єднання;
- 3 — елемент;
- 4 — вузол;
- 5 — вісь вузла;
- 6 — загальний конструкційний елемент;
- 7 — з'єднувальний елемент;
- 8 — з'єднувальний елемент (фасонка); вузол = ліве з'єднання + праве з'єднання.

Рисунок Т.1 — Визначення вузла та з'єднання

Т.4.2 Класифікація з'єднань залежно від осьової жорсткості

(1) Конструкційні з'єднання елементів, на які діють осьові зусилля, рекомендовано класифікувати за їх осьовою жорсткістю (тобто жорсткістю з'єднання в осьовому напрямку конструкційного елемента), як жорсткі з'єднання або як напівжорсткі з'єднання.

(2) Рекомендовано припускати, що конструкційні з'єднання поведуться як з'єднувачі, якщо деформативність з'єднань призводить до збільшення конструкційних переміщень не більше ніж на 10%.

(3) Для відповідності (2), рекомендовано виконати критерій у формулі (Т.1):

де

$$\bar{K}_u \geq \frac{18}{1 + 18 \frac{L_j}{L}}, \quad (\text{T.1})$$

де

$\bar{K}_u$ — безрозмірна жорсткість з'єднання, визначена як відношення осьової жорсткості з'єднання до осьової жорсткості з'єднуваного конструкційного елемента, розрахована за формулою (Т.2)

$$\bar{K}_u = \frac{K_u}{EA/L} \quad (\text{T.2})$$

K_u — жорсткість з'єднання в осьовому напрямку приєднаного елемента

L — це загальна довжина з'єданого конструкційного елемента між вузлами

E — модуль пружності

A — площа поперечного перерізу елемента вздовж чистої довжини L_n (рисунок Т.1).

L_j — це довжина з'єднувальної системи (рисунок Т.2).

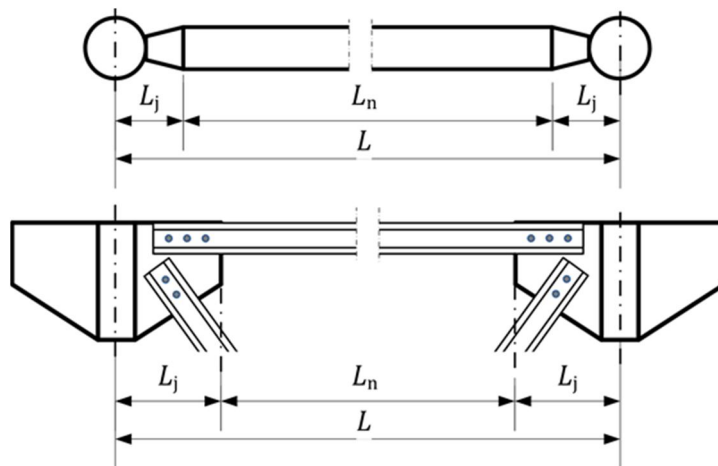


Рисунок Т.2 — Елементи і з'єднувальні системи

(4) З'єднання, що не задовольняють критерій (Т.1), потрібно розглядати як напівжорсткі, і їх деформівність в осьовому напрямку приєднаного елемента потрібно включити в конструкційний розрахунок.

(5) Моделювання напівжорсткості з'єднання дозволено виконати за допомогою прямого або непрямого моделювання з'єднання в моделі

конструкційного розрахунку.

(6) Пряме моделювання з'єднання в моделі конструкційного розрахунку може бути досягнуто за допомогою двох пружинних елементів, кожен з яких з'єднує кінцевий вузол елемента з вузлом загальної структурної сітки.

(7) Непряме моделювання з'єднання дозволено за допомогою належної зміни механічних властивостей з'єданого конструкційного елемента.

(8) Параграф (4) може бути виконано, коли структурний аналіз виконано із застосуванням для кожного елемента конструкції еквівалентного модуля пружності згідно з формулою (Т.3):

$$E_{eq} = \frac{E}{1 - 2 \frac{L_j}{L} + \frac{2}{K_u}} \quad (\text{Т. 3})$$

Т.4.3 Класифікація з'єднань залежно від осьової міцності

(1) Залежно від міцності в осьовому напрямку з'єданого елемента, конструкційні з'єднання елементів під дією осьових зусиль, рекомендовано класифікувати як:

- рівномічні для елементів під дією розтягу;
- з частковою міцністю елементів під дією розтягу;
- рівномічні для елементів під дією стиску;
- часткова міцність елементів під дією стиску;

(2) З'єднання вважають рівномічними для елементів під дією розтягу, якщо виконується формула (Т.4):

де

$$F_{j,Rd} \geq \frac{Af_0}{\gamma_{M1}} \quad (\text{Т. 4})$$

$F_{j,Rd}$ — розрахунковий опір з'єднання;

f_0 — характеристичне значення умовної границі текучості;

A — площа поперечного перерізу елемента вздовж чистої довжини L_n

(рисунок Т.2);

γ_{M1} — коефіцієнт часткового запасу, див. таблицю 4.1.

(3) З'єднання вважають частково міцними для елементів під дією розтягу, якщо виконується формула (Т.5):

$$F_{j,Rd} < \frac{Af_o}{\gamma_{M1}} \quad (\text{Т. 5})$$

(4) З'єднання вважають рівноміцними для елементів під дією стиску, якщо виконується формула (Т.6):

$$F_{j,Rd} \geq \chi \frac{Af_o}{\gamma_{M1}}, \quad (\text{Т. 6})$$

де

χ — понижувальний коефіцієнт, що враховує відповідну форму втрати стійкості конструкційного елемента;

γ_{M1} — частковий коефіцієнт опору елементів втраті стійкості, оцінюваний за допомогою перевірок елементів, див. таблицю 4.1.

(5) З'єднання вважають частково міцними для елементів під дією стиску, якщо виконується формула (Т.7):

$$F_{j,Rd} < \chi \frac{Af_o}{\gamma_{M1}} \quad (\text{Т. 7})$$

(6) Для зварних з'єднань або з'єднань, що містять кілька зварних складових частин, необхідно враховувати вплив зон термічного впливу на розрахунковий опір з'єднань.

(7) Двошарові сітчасті конструкції, всі з'єднання яких класифіковано як рівноміцні згідно з параграфом (2), дозволено перевіряти за допомогою перевірок опору поперечного перерізу і опору втрати стійкості лише елементів конструкції, одночасно опір з'єднання вважають автоматично задоволеним.

(8) Двошарові сітчасті конструкції, всі з'єднання яких класифіковано як рівноміцні для елементів під дією стиску згідно з параграфом (4), дозволено перевіряти через виконання:

— перевірка опору втраті стійкості стиснутих конструкційних

елементів ,

- перевірка опору поперечного перерізу елементів і
- перевірка опору з'єднання, підданого розтягу.

Т.4.4 З'єднання на болтах під дією зсуву

(1) Реакція з'єднань в осьовому напрямку з'єднуваного елемента має бути описана наступними параметрами (рисунок Т.3):

Початкова жорсткість в осьовому напрямку з'єданого елемента $\bar{K}_{u,i}$;

Сила, що відповідає проковзуванню болта $F_{slip,Rd}$;

Величина проковзування, обумовлена допуском на отвір для болта δ_{slip} ; Жорсткість після проковзування $K_{u,ps}$;

Розрахунковий опір з'єднання $F_{j,Rd}$;

Січна жорсткість, що відповідає розрахунковому опору $K_{u,sec}$.

(2) Для болтових з'єднань під дією зсуву потрібно враховувати вплив проковзування болтів обумовленого допусками на отвори для болтів, якщо тільки це не попереджено за допомогою спеціальних розрахункових критеріїв для з'єднання.

(3) Рекомендовано використовувати оцинковані високоміцні болти. Також дозволено застосовувати болти з нержавкої сталі.

(4) Для з'єднань, що містять кілька зварних складових частин, необхідно враховувати вплив зон термічного впливу на розрахунковий опір з'єднань.

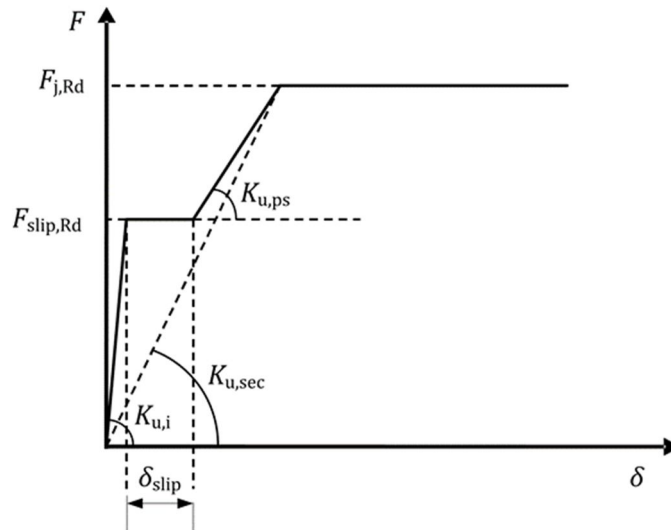


Рисунок Т.3 — Поведінка болтових з'єднань під дією зсуву

- (5) Болтові з'єднання під дією зсуву рекомендовано класифікувати як:
- з'єднання, призначені для запобігання проковзування болта в граничному стані експлуатаційної придатності;
 - з'єднання, призначені для запобігання проковзування болта в граничному стані за несною здатністю.

(6) Для з'єднань, що запобігають проковзуванню болтів у граничному стані експлуатаційної придатності, дозволено виконувати конструкційний розрахунок для перевірки вимог до експлуатаційної придатності з застосуванням початкової жорсткості з'єднання $K_{u,i}$.

(7) Для з'єднань, що запобігають проковзуванню болтів у граничному стані за несною здатністю, конструкційний аналіз дозволено виконувати з застосуванням початкової жорсткості з'єднання $K_{u,i}$.

(8) Для з'єднань без запобігання проковзуванню в умовах навантаження в граничному стані за несною здатністю, потрібно виконати конструкційний розрахунок для перевірки відповідності вимогам до граничного стану за несною здатністю з використанням січної жорсткості з'єднання $K_{u,sec}$, відповідної досягненню розрахункового опору з'єднання.

(9) Нелінійний розрахунок, що враховує залежність зусилля від переміщення для з'єднання в осьовому напрямку з'єднуваного елемента, дозволено використовувати за умови, що за допомогою

експериментальних випробувань або розширеного скінченно-елементного розрахунку реакції з'єднання було отримано достатню інформацію щодо критичного переміщення.

Т.4.5 Проектування з'єднань за допомогою випробувань

(1) Коли конструкційну поведінку з'єднань неможливо надійно передбачити за допомогою методу компонентів, дозволено застосовувати експериментальні випробування для визначення залежності осьової сили від реакції з'єднання на осьову деформацію.

(2) Експериментальні випробування дозволено провести як на зразку конструкції, складеної повністю, так і на її частині (рисунок Т.4).

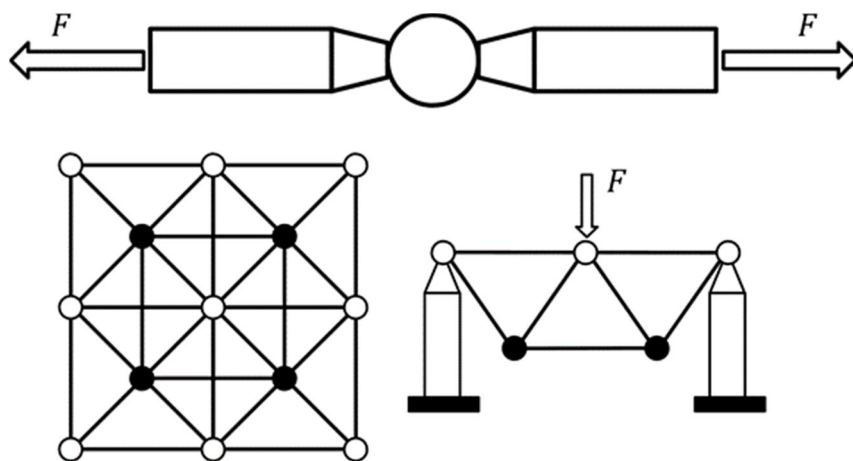


Рисунок Т.4 — Схеми експериментальних випробувань для з'єднань

(3) Експериментальні випробування для зразків частини конструкції, що містять з'єднання з елементом, потрібно проводити завжди, за винятком промислових систем підключення, за умови наявності сертифікації характеристик підключення.

(4) Експериментальні випробування простого зразка з'єднання з елементом дозволено розробляти для випробування як самого з'єднання (рис. Т.5), так і балки та з'єднань (рис. Т.6).

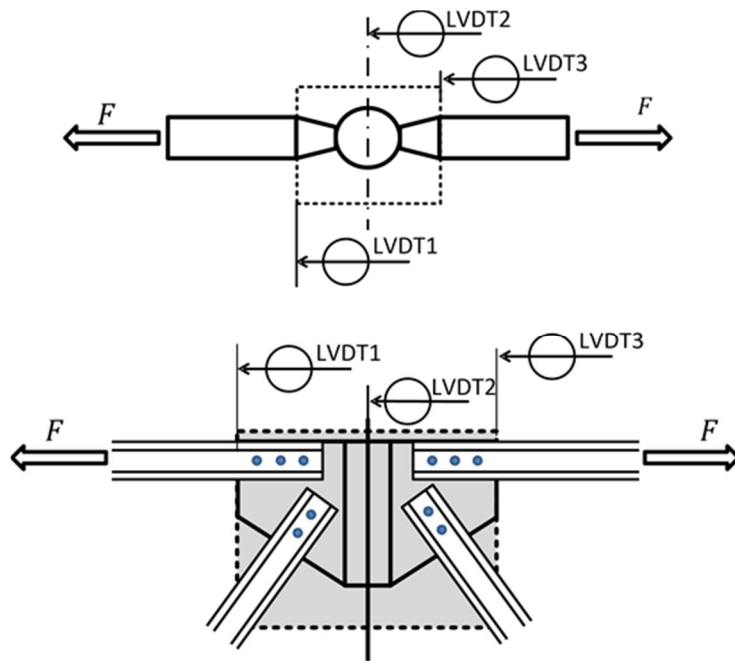


Рисунок Т.5 — Схема розташування датчиків для випробування окремого вузла

(5) Для зразків, призначених для випробування вузла, датчики переміщення мають бути розташовані таким чином, щоб вимірювати як осьову жорсткість вузла, так і осьову жорсткість з'єднань (рис. Т.5).

(6) Осьову жорсткість повного вузла потрібно оцінювати як початковий нахил кривої залежності зусилля F від відносного переміщення $\delta_r = \delta_1 - \delta_3$.

(7) Осьову жорсткість з'єднання потрібно оцінювати як початковий нахил кривої залежності зусилля F від відносного переміщення $\delta_r = \delta_1 - \delta_2$ (або $\delta_r = \delta_1 - \delta_3$).

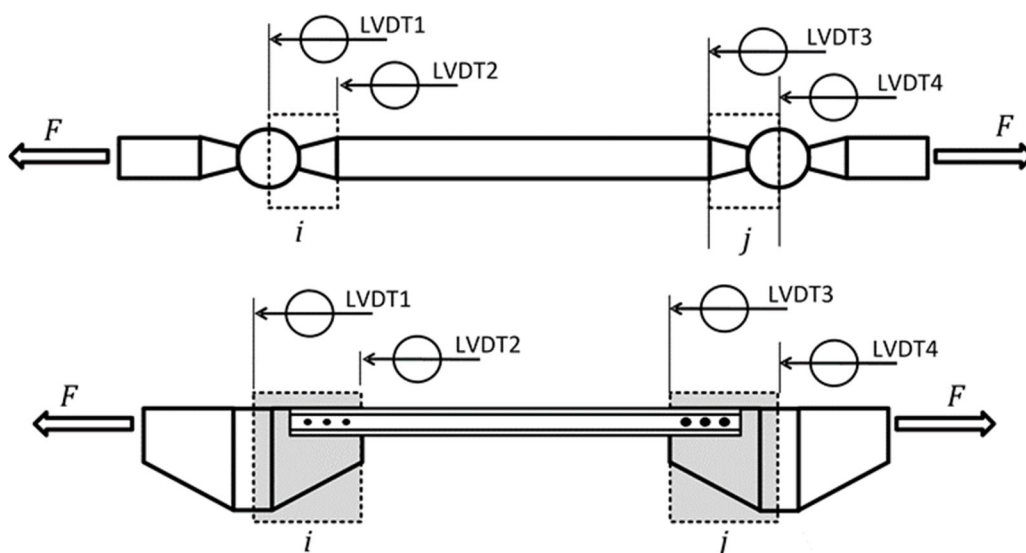


Рисунок Т.6 — Схема розташування датчиків (*Location of transducers: LVDTs*) для випробування зразка повного з'єднання з елементом

(8) Для зразків, призначених для випробування повного з'єднання з елементом, датчики переміщення мають бути розташовані таким чином, щоб вимірювати як осьову жорсткість з'єднань, так і осьову жорсткість елемента (рисунок Т.6).

(9) Осьову жорсткість з'єднання потрібно оцінювати як початковий нахил кривої залежності зусилля F від відносного переміщення $\delta_r = \delta_1 - \delta_2$ (або $\delta_r = \delta_3 - \delta_4$).

(10) Осьову жорсткість повного вузла потрібно оцінювати як початковий нахил кривої залежності зусилля F від відносного переміщення $\delta_r = (\delta_1 - \delta_2) + (\delta_3 - \delta_4)$.

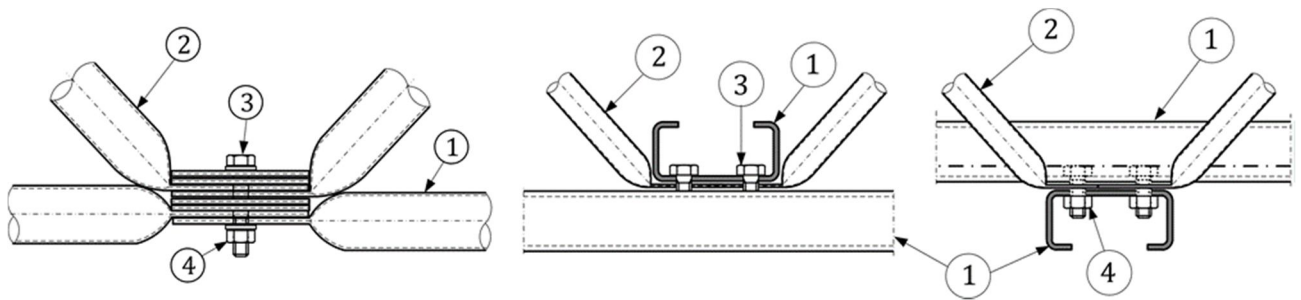
(11) Осьову жорсткість елемента потрібно оцінювати як початковий нахил кривої залежності зусилля F від відносного переміщення $\delta_r = \delta_2 - \delta_3$.

(12) Випробування повного конструкційного вузла рекомендовано проводити в тих випадках, коли очікують, що тривимірна поведінка з'єднань істотно впливає на його міцність і деформованість.

Примітка 1. Зокрема, це відноситься до з'єднувальних систем, в яких виникають значні вузлові ексцентриситети .

Примітка 2. Як приклад можна привести діагональні елементи з розплющеними і

загнутими кінцями для кріплення болтами до поясів (рис. Т. 7) або подібних систем.



Умовні позначки:

- 1 — пояс;
- 2 — розкіс;
- 3 — болт;
- 4 — гайка.

Рисунок Т.7 — Приклади вузлів, що потребують випробування зразка, складеного повністю

Т.5 Одношарові сітчасті конструкції

Т.5.1 Перевірки стійкості

(1) Стійкість одношарових сітчастих конструкцій рекомендовано перевіряти відповідно до двох рівнів: загальної стійкості та стійкості окремих елементів.

(2) Стійкість окремих елементів потрібно перевіряти на предмет прогину як в площині, так і поза площиною.

(3) Стійкість окремих елементів одношарових сітчастих конструкцій потрібно перевіряти з урахуванням впливу системи, прийнятої для з'єднання елементів конструкції.

(4) Розрахункову довжину окремого конструкційного елемента потрібно оцінювати з урахуванням впливу згинальної жорсткості з'єднання в площині втрати стійкості і обмежувальної дії від елементів, з'єднаних з кінцевими вузлами елемента, який потрібно перевірити.

(5) Згинальні моменти, що виникають залежно від умов навантаження і умов закріплення країв, потрібно приймати до уваги для перевірки опору

та стійкості конструкційних елементів і опору з'єднань.

(6) З'єднання мають бути розроблені та розраховані з урахуванням також передачі зсувних зусиль.

(7) Нестабільність під час замикання потрібно попередити за допомогою відповідних розрахункових критеріїв і методів розрахунку.

(8) Опір конструкції до явищ раптового прогину та прогресуючого обвалення, викликаного ефектом доміно, дозволено перевіряти за допомогою аналізу додатковим вертикальним навантаженням, що містить як геометричні, так і механічні нелінійності.

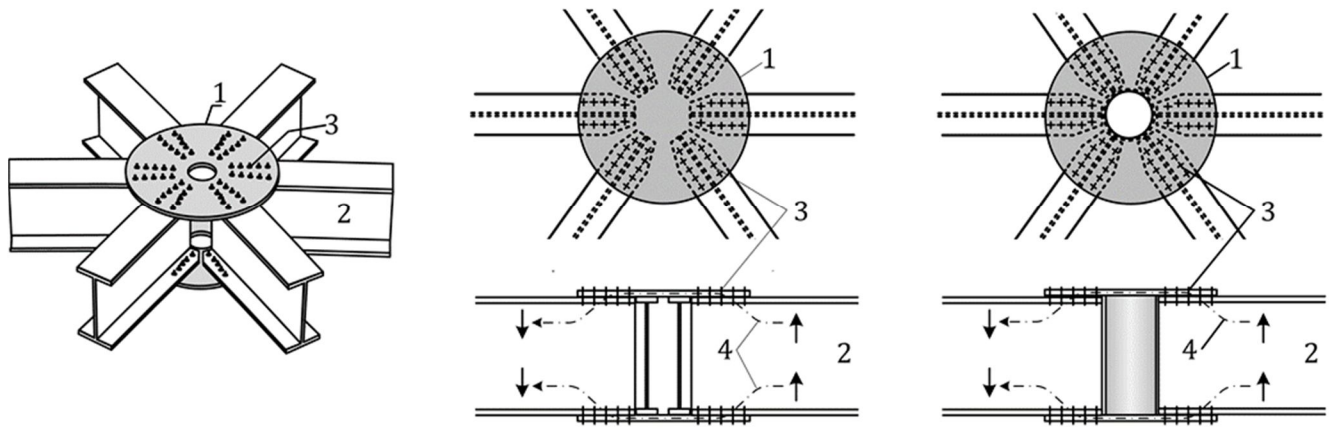
(9) Конструкційний розрахунок потрібно проводити з урахуванням впливу геометричних недосконалостей.

(10) За відсутності конкретної інформації величину початкових геометричних недосконалостей дозволено прийняти рівною $1/300$, помноженою на прогін склепіння, діаметр купола або відповідний розмір даху в плані.

(11) Конструкційну схильність до нестабільності одношарових сферичних куполів рекомендовано знижувати прийняттям співвідношення висоти до діаметру, принаймні рівним $1/6$.

Т.5.2 Розрахункова довжина елементів, з'єднаних фасонками

(1) Одношарові сітчасті конструкції можуть бути зібрані за допомогою елементів, з'єднаних парою круглих фасонки, прикріпленних болтами до полиць з'єднаних елементів (рисунок Т.8).



Умовні позначки:

- 1 — фасонка (gusset plate; gp);
- 2 — профільований елемент;
- 3 — Болти;
- 4 — зсувний потік.

Рисунок Т.8 — Типовий вузол для одношарової сітчастої конструкції з фасонками

(2) Стійкість окремих елементів, з'єднаних за допомогою круглих фасонок, має враховувати згинальну жорсткість вузлів, що залежить від площини втрати стійкості, і обмежувальну дію, обумовлену сумою згинальної жорсткості елементів, з'єднаних з кінцевими вузлами елемента, який потрібно перевірити.

(3) Розрахункову довжину конструкційних елементів у площині фасонки рекомендовано обчислювати за формулою (Т.8) як:

$$L_0 = KL_n = k(L - 2r_g) \quad (\text{Т.8})$$

де

L_n — чиста довжина конструкційного елемента

L — загальна довжина елемента, тобто відстань між осями кінцевих вузлів

r_g — зовнішній радіус фасонок

k — коефіцієнт втрати стійкості, що враховує обмежувальну дію, обумовлену згинальною жорсткістю елементів, з'єднаних з кінцевими вузлами.

(4) Коефіцієнт втрати стійкості потрібно розраховувати за формулами (Т.9) так:

$$k = \frac{\pi}{\alpha}, \quad (\text{Т. 9})$$

де α рекомендовано обчислити за допомогою формули (Т.10):

$$\alpha^3 \frac{1}{\bar{K}_i} \frac{1}{\bar{K}_j} \sin \alpha + \alpha \left(\frac{1}{\bar{K}_i} + \frac{1}{\bar{K}_j} \right) (\sin \alpha - \alpha \cos \alpha) + (2 - 2 \cos \alpha - \alpha \sin \alpha) = 0 \quad (\text{Т. 10})$$

(5) Обмежувальну дію, обумовлена згинальною жорсткістю елементів, з'єднаних з кінцевими вузлами, потрібно враховувати за допомогою безрозмірних значень поворотної жорсткості кінцевих вузлів i і j , заданих формулами (Т.11) і (Т. 12):

$$\bar{K}_i = \frac{K_i}{EI/L_n} \quad (\text{Т. 11})$$

$$\bar{K}_j = \frac{K_j}{EI/L_n} \quad (\text{Т. 12})$$

де K_i та K_j рекомендовано обчислювати за формулою (Т.13) як суму згинальної жорсткості елементів, з'єднаних з кінцевими вузлами i та j , зменшеною через паралельну дію відповідного осьового зусилля (рисунки Т.9):

$$K_i = \sum_m \left(1 - \frac{N_m}{\frac{\pi^2 EI_m}{(0,7L_m)^2}} \right) \frac{3EI_m}{(L_m - 2r_g)} \frac{L_m^2}{(L_m^2 - L_m r_g + r_g^2)}, \quad (\text{Т. 13})$$

де

N_m — осьове зусилля;

I_m —момент інерції навколо другої головної осі перерізу;

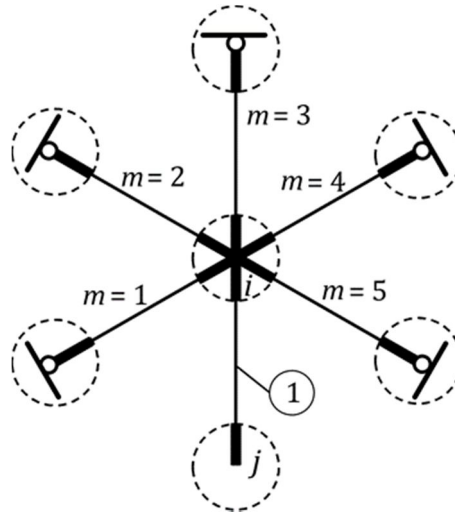
L_m — довжина m -того елемента.

Примітка. Сума охоплює всі елементи, прикріплені до i -того вузла, за винятком елемента, що підлягає перевірці на втрату стійкості.

(6) Для обчислення K_j рекомендовано застосувати формулу, аналогічну (Т.13).

(7) Кількість елементів, що потрібно врахувати під час застосування формули (Т.13), має ґрунтуватися на геометричній схемі одношарового сітчастого склепіння або купола.

(8) Розрахункову довжину у площині фасонки дозволено консервативно прийняти рівною чистій довжині елемента ($k = 1$).



Умовні позначки:

1 — елемент, що підлягає перевірці на втрату стійкості

Рисунок Т.9 — Моделювання обмежувальної дії, обумовленої з'єднаними елементами

Т.5.3 Класифікація з'єднань для елементів, що піддаються дії осьового зусилля та згину

(1) Рекомендовано враховувати, що на з'єднання в конструкційних алюмінієвих виробках, які покривають довгі прогони за допомогою одношарових решічастих склепінь і куполів, діють значні згинальні моменти, обумовлені, в основному, умовами навантаження і граничними умовами викликаними крайовими закріпленнями.

(2) З'єднання в одношарових решічастих склепіннях і куполах потрібно класифікувати як жорсткі, якщо їх деформативність визначає збільшення конструкційних переміщень менше ніж на 10%.

(3) З'єднання, що не відповідають вимогам (2), рекомендовано класифікувати як напівжорсткі.

(4) З'єднання, класифіковані як напівжорсткі, потрібно включати в конструкційну модель з урахуванням як їх осьової реакції (залежність осьової сили від осьового переміщення), так і їх реакції на поворот (залежність моменту від повороту).

(5) Взаємодію між осьовою силою і згинальним моментом потрібно враховувати як під час оцінки опору конструкції вигину, так і під час оцінки поворотної жорсткості.

Т.5.4 Моделювання з'єднань з фасонками, на які діє осьове зусилля та згин.

(1) Опір вигину з'єднання з фасонками для одношарових сітчастих покрівельних конструкцій потрібно оцінювати з урахуванням комбінованого впливу осьової сили і згинального моменту з використанням методу компонентів.

(2) Опір вигину потрібно оцінювати без урахування згинального моменту, переданого елементами, що з'єднують стінку елемента (за наявності), за формулою (Т.14):

$$M_{j,Rd} = \frac{F_{Rd}h}{1 + 0,5\beta}, \quad (\text{Т. 14})$$

де

F_{Rd} — мінімальне значення розрахункового опору складових частин на рівні полиці елемента;

h — висота перерізу з'єданого елемента

$$\beta = N_{Ed}h / M_{Ed}$$

(3) Опір вигину вузла, розрахований згідно з формулою (Т.14), не може бути більшим, ніж опір вигину з'єднуваного елемента, обчислений з урахуванням взаємодії між осьовим зусиллям і згинальним моментом, та з урахуванням втрати стійкості елемента у випадку осьових зусиль стиску.

(4) Розрахункове значення зусилля, переданого на рівні полиці елемента F_{Rd} через з'єднання з фасонкою, потрібно оцінювати з

урахуванням мінімального опору наступних складових частин:

- фасонка, піддана вириванню блока;
- полиця елемента, піддана вириванню блока;
- фасонка, що несе зсувне навантаження від болтів;
- полиця елемента, що несе зсувне навантаження від болтів;
- болти під дією зсуву;
- вільна ділянка фасонки у стані втрати стійкості через радіальне стиснення.

(5) Опір складових частин, перелічених у параграфі (4), потрібно оцінювати згідно з 10.5.2.2 та 10.5.5.

(6) Опір вигину вільної частини фасонки у стані радіального стиску рекомендовано оцінювати як опір вигину круглої пластини, затиснутої по краю, обумовлений обмежувальною дією з'єднаних елементів.

(7) Зусилля, передане полицями елемента, що відповідає опору вигину вільної ділянки фасонки, рекомендовано оцінювати за формулою (Т. 15), як:

$$F_{b,Rd} = \frac{14,68D}{r_{fg}^2} \frac{2\pi r_{fg}}{6}, \quad (Т. 15)$$

де

r_{fg} — радіус вільної ділянки фасонки;

$$D = Et^3/12(1-\nu^2)$$

(8) Якщо кількість з'єднаних елементів менше 6, опір вигину, передбачений у (Т.15), рекомендовано належним чином зменшити, щоб врахувати вплив концентрації напружень на втрату стійкості.

(9) Потрібно враховувати вплив проковзування болтів обумовленого допусками на отвори для болтів, якщо тільки це не попереджено за допомогою спеціальних розрахункових критеріїв для з'єднання.

(10) Згинальний момент, відповідний опору опору проковзуванню, потрібно оцінювати з урахуванням опору опору проковзуванню кожного болта, оціненого згідно з 10.5.8.3, кількості болтів і взаємодії з осьовим

зусиллям.

(11) Через взаємодію з осьовим зусиллям два розрахункові значення згинального моменту, що відповідають проковзуванню, рекомендовано оцінювати за допомогою формул (Т.16) та (Т.17):

$$M_{\text{slip,Rd},1} = \frac{F_{\text{slip,Rd}} h}{1 + 0,5\beta} \quad (\text{Т. 16})$$

відповідає проковзуванню з'єднаної полиці, де зусилля, обумовлене згинальним моментом, і зусилля, обумовлене осьовим зусиллям, мають однаковий знак, і:

$$M_{\text{slip,Rd},2} = \frac{F_{\text{slip,Rd}} h}{1 + 0,5\beta} \quad (\text{Т. 17})$$

відповідає проковзуванню другої полиці, де зусилля, обумовлене згинальним моментом, і зусилля, обумовлене осьовим зусиллям, мають протилежні знаки.

(12) Відносний поворот вузла через проковзування болтів рекомендовано враховувати з урахуванням того, що він змінюється від 0 до $2g/h$, де $g = d_h - d_b$ — максимальний зазор, обумовлений допуском на отвір для болта (де d_h — діаметр отвору і d_b — діаметр болта).

(13) Жорсткість вільної ділянки фасонки під час розтягу / стиску рекомендовано оцінювати за формулою (Т.18), як:

$$k_{\text{gp}} = 1,52 E_{\text{gp}} t_{\text{gp}} , \quad (\text{Т. 18})$$

де E_{gp} та t_{gp} — модуль пружності та товщина фасонки відповідно.

(14) Поворотну жорсткість частини елемента, затиснутої між фасонками, рекомендовано оцінювати за формулою (Т.19), як:

$$K_{\text{cm}} = 1,14 \frac{EI}{r_g - r_{\text{fg}}} , \quad (\text{Т. 19})$$

де

I — момент інерції з'єданого елемента

(15) Жорсткість болтів під дією зсуву рекомендовано оцінювати так:

$$k_{\text{bs}} = \frac{16 n_b d_b^2 f_{\text{ub}}}{3 d_{\text{M16}}} , \quad (\text{Т. 20})$$

де

n_b — кількість рядів болтів під дією зсуву;

d_b — діаметр болта;

d_{M16} — діаметр болта M16;

f_{ub} — характеристичне значення граничної міцності матеріалу болта.

Примітка. k_{bs} — це жорсткість, а не коефіцієнт жорсткості, застосовний в EN 1993.

(16) Жорсткість болтів, що працюють на зсув, рекомендовано оцінювати для кожної складової частини, на яку спираються болти, за формулами (Т.21), (Т.22), (Т.23) і (Т.24), як:

$$k_{bb} = 8n_b k_b k_t d_b f_u \quad (\text{Т. 21})$$

де $k_b = k_{b1}$ але $k_b \leq k_{b2}$, які у свою чергу:

$$k_{b1} = 0,25 \frac{e_b}{d_b} + 0,50 \leq 1,25 \quad (\text{Т. 22})$$

$$k_{b2} = 0,25 \frac{p_b}{d_b} + 0,375 \leq 1,25 \quad (\text{Т. 23})$$

$$k_t = 1,50 \frac{t}{d_{M16}} \leq 2,50, \quad (\text{Т. 24})$$

де

e_b — відстань від ряду болтів до вільного краю пластини в напрямку передавання навантаження

p_b — відстань між рядами болтів в напрямку передавання навантаження

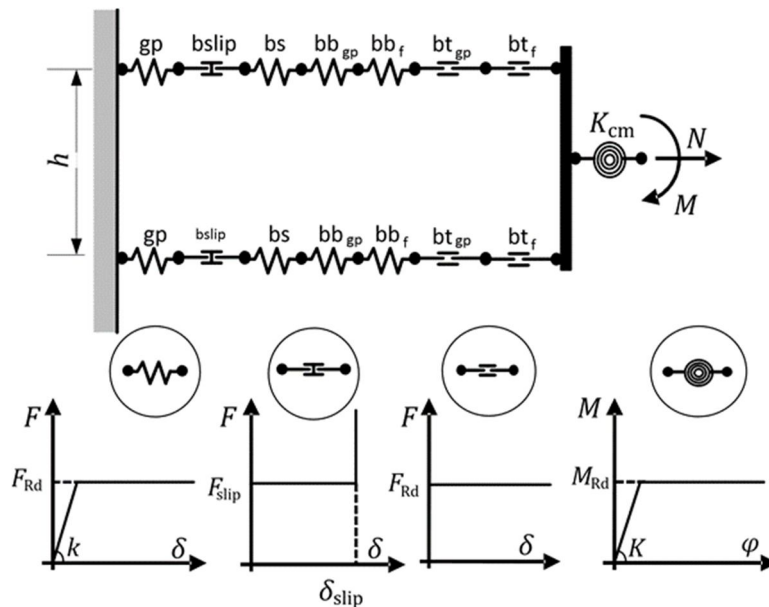
t — товщина відповідної складової частини

d_{M16} — болт діаметра M16

(17) Криву залежності осьового зусилля від осьового переміщення і криву залежності моменту від повороту з'єднання фасонки для одношарових решічастих структур потрібно оцінювати за допомогою моделі механічної поведінки, поданої на рисунку Т.10.

(18) Момент опору поворотного пружинного елемента, поданого на

рисунку Т.10, потрібно оцінювати з урахуванням взаємодії моменту і осьової сили і включно зі зниженням опору обумовленим стійкістю окремого елемента.



Умовні позначки:

gp — фасонка (*gusset plate*; *gp*);

bslip — проковзування болта (*bolt slip*; *bslip*);

bs — болти під дією зсуву (*bolts in shear*; *bs*);

bb — болти, що працюють на зсув (*bolts in bearing*; *bb*);

bt — виривання блока (*block tearing*; *bt*);

f — полиця (*flange*; *f*);

cm — приєднаний елемент (*connected member*; *cm*).

Рисунок Т.10 — Модель механічної поведінки для з'єднання з фасонкою одношарових решітчастих структур

ДОДАТОК U
(довідковий)
КОМПОЗИТНІ АЛЮМІНІЄВО-БЕТОННІ БАЛКИ

U.1 Застосування цього додатка

Цей довідковий додаток містить рекомендації щодо композитних алюмінієво-бетонних балок.

Примітка. Національний вибір щодо застосування цього довідкового додатка наведено в національному додатку. Цей додаток можна застосовувати, за умови, що національний додаток не містить інформації щодо його застосування.

U.2 Сфера та область застосування

У цьому додатку наведено положення з проектування композитних алюмінієво-бетонних балок.

U.3 Загальні та основні задачі

(1) Основними перевагами композитних алюмінієво-бетонних конструкцій, застосованих як для мостів, так і для перекриттів, є мала вага і простота технічного обслуговування. Типові поперечні перерізи композитних алюмінієво-бетонних балок — суцільні (виготовлені на місці виконання робіт(а), збірні (b)), або з композитної плити (виготовлені на основі трапецієподібних листів(с)), показано на рисунку U.1.

(2) Основні рекомендації, наведені в EN 1994-1-1, застосовні до композитних алюмінієво-бетонних профілів за умови правильного врахування особливостей алюмінієвих сплавів і їх технології, як показано в цьому додатку.

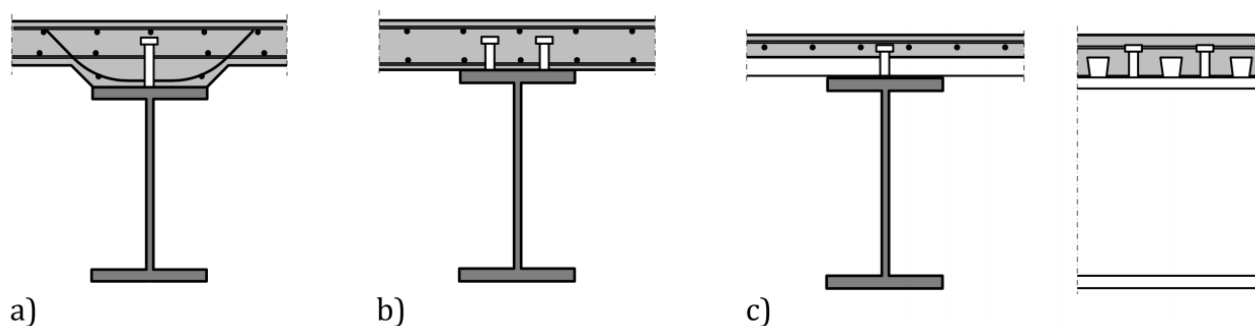


Рисунок U.1 — Типові поперечні перерізи композитних балок

(3) Специфічними проблемами композитних систем є:

- a) можливість застосування традиційної теорії залізобетону;
- b) перевірка гіпотези плоских перерізів до руйнування;
- c) вплив в'язкості бетону;
- d) поведінка системи механічного з'єднання між балкою і бетонною плитою і її вплив на реакцію конструкції на вигин і зсув.

(4) У разі композитних алюмінієво-бетонних балок необхідно враховувати деякі додаткові специфічні аспекти, а саме:

- a) вплив нелінійної поведінки матеріалу;
- b) поведінку систем з'єднань, характерних для технології алюмінію;
- c) хімічну взаємодію між матеріалами, що може вплинути як на алюміній балки, так і на сталеву арматуру перекриття;
- d) вплив різних коефіцієнтів температурного розширення бетону та алюмінію.

(5) Нелінійна поведінка матеріалів (a) впливає на конструкційні реакції балок як для граничного стану за експлуатаційною придатністю, так і для граничного стану за несною здатністю, завдяки притаманним алюмінієвим сплавам властивостям та доступної їм пластичності, а також завдяки низькому значенню коефіцієнта модуля пружності (2 — 3 для алюмінієво-бетону проти 7 — 10 для композитних систем зі сталезалізобетону).

(6) Що стосується з'єднувальних систем (b), то було запропоновано деякі конкретні рішення, що використовують як механічні, так і технологічні особливості алюмінієвих сплавів. Їх потрібно розглядати як альтернативу звичайним шпилькам - з'єднувачам (з головою або без неї), типовим для композитних сталезалізобетонних систем. Для таких інноваційних систем необхідні спеціальні приймальні випробування.

(7) Проблему хімічної взаємодії (c) рекомендовано оцінювати в усіх випадках, коли або агресивне середовище, або наявність хлоридів можуть впливати на матеріал балки. На поверхню контакту балки з плитою рекомендовано нанести відповідне покриття.

Примітка. Додаткові рекомендації наведено у додатку D.

(8) Напружені стани, що виникають внаслідок температурних коливань і обумовлені різними значеннями коефіцієнтів температурного розширення (α), а також напружені стани, обумовлені усадкою та в'язкістю бетону, рекомендовано оцінювати за допомогою відповідних моделей.

U.4 Розрахунок внутрішніх зусиль

U.4.1 Методи загального розрахунку

U.4.1.1 Загальні положення

(1) Загальний пружний розрахунок може бути застосований незалежно від припущення щодо пружності чи пластичності поведінки перерізу. У будь-якому разі він має бути застосований для граничних станів експлуатаційної придатності. Під час розрахунку рекомендовано враховувати такі ефекти, як запізнення зсуву, усадку і розтріскування бетону, а також локальну нестабільність алюмінієвої балки, оскільки вони в значній мірі впливають на загальну поведінку. Аналогічним чином, під час оцінювання пружних напружень в перерізі рекомендовано враховувати вплив послідовності виконання конструкції.

U.4.1.2 ефективна ширина («запізнення зсуву»)

(1 Під час розрахунку рекомендовано належним чином враховувати вплив запізнення зсуву, а саме —вплив деформативності плити в площині. Відповідні значення ефективної ширини, прийняті для розрахунків, можливо отримати за допомогою ретельного аналізу або за допомогою формул, наведених у відповідних частинах стандарту EN 1994-1-1.

U.4.2 Лінійно-пружний розрахунок

U.4.2.1 Повзучість, усадка та розтріскування бетону

(1) Під час лінійно-пружного розрахунку рекомендовано відповідним

чином оцінити вплив як в'язкості бетону, так і усадки. Ефекти в'язкості можливо врахувати, застосовуючи коефіцієнт еквівалентності $n_{\text{дл}}$ для бетону згідно з положеннями стандарту EN 1994-1-1. Основним ефектом усадки бетону можна знехтувати, якщо припустити, що плита має тріщини.

(2) У пружному розрахунку ефекти розтріскування, як правило, рекомендовано враховувати. Для цього жорсткість ділянок, прийнятих як тріснуті, згідно з процедурами, наведеними в EN 1992-1-1, рекомендовано обчислювати нехтуючи внеском напруженого бетону, але враховуючи внесок поздовжньо розтягнених арматурних стрижнів. Це припущення може бути прийнято як для граничного стану за експлуатаційною придатністю, так і для граничного стану за несною здатністю.

U.4.2.2 Етапи будівництва та температурні ефекти

(1) Під час лінійно-пружного розрахунку рекомендовано оцінити вплив як етапів будівництва, так і змін температури. Вплив температури рекомендовано розраховувати згідно з EN 1991-1-5, враховуючи різницю коефіцієнтів теплового розширення.

U.4.3 Пружний розрахунок із перерозподілом

Пружний розрахунок з перерозподілом згинального моменту може бути застосовано до нерозрізних балок для перевірки граничного стану з'єднань, що працюють на зсув, як часткової так і повної міцності. У всіх випадках конфігурація перерозподіленого моменту має перебувати в рівновазі. Якщо конкретну оцінку поворотної здатності не виконують, значення від'ємного моменту (вигину вгору) може бути зменшено відповідно до відсоткових значень, наведених у таблиці U.1. Для балок з поперечним перерізом класу 1 або 2 значення позитивного моменту (провисання) можуть бути збільшені максимум на 10% або 20% для розрахунку пружності без тріщин або з тріщинами, відповідно.

Таблиця U.1 — Максимальне відсоткове зменшення від'ємних

моментів відносно вихідного значення пружного моменту

Клас поперечного перерізу	1	2	3	4
Пружний розрахунок без урахування тріщин	40	30	20	10
Пружний розрахунок з урахуванням тріщин	25	15	10	0

U.4.4 Загальний нелінійний та жорстко-пластичний розрахунок

(1) Загальний нелінійний і жорстко-пластичний розрахунок може бути виконано, якщо всі поперечні перерізи, в яких утворюються пластичні шарніри, належать до класу 1 або 2. Застосовні положення EN 1994-1-1.

U.5 Граничні стани за несною здатністю

U.5.1 Загальні положення

(1) Композитні бетонні балки рекомендовано перевірити на

- а) опір найбільш значних поперечних перерізів;
- б) опір місцевій втраті стійкості;
- с) опір з'єднувачів, що працюють на зсув.

(2) Основні правила, наведені в EN 1994-1-1 для композитних сталезалізобетонних профілів, так само є застосовними і у випадку композитних алюмінієво-бетонних балок. Зокрема, рекомендовано дотримуватися положень, перелічених в наступних пунктах.

U.5.2 Опір згину

U.5.2.1 Пластичний момент опору композитного поперечного перерізу

(1) Обчислення розрахункового пластичного моменту опору $M_{pl,Rd}$ рекомендовано проводити згідно з основними припущеннями, переліченими в EN 1994-1-1. Типові розподіли напружень у випадку рівномірних з'єднань, що працюють на зсув, з поясненням відповідних познач наведено на рисунку U.2.

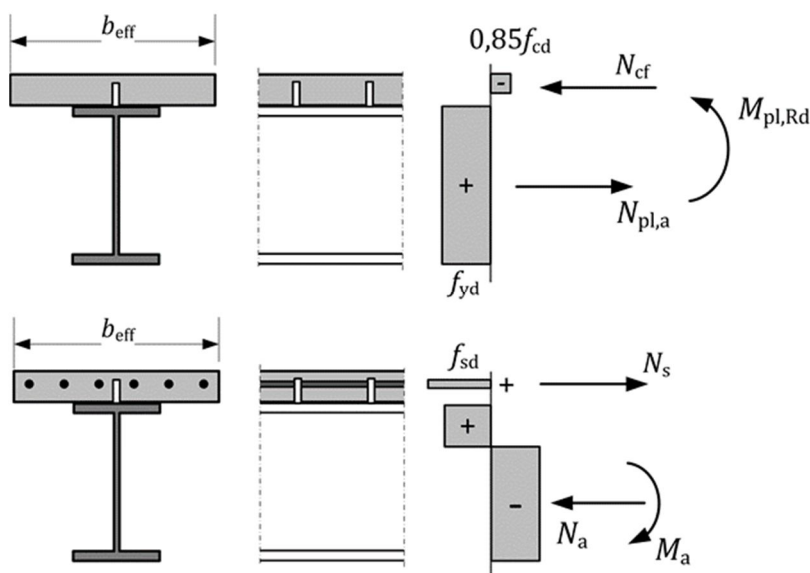


Рисунок U.2 — Можливі розподілення напружень у поперечному перерізі композитної балки у разі з'єднання повної міцності, що працює на зсув, як для додатного, так і для від'ємного моменту

(2) Для з'єднувачів часткової міцності, що працюють на зсув, з пластичною поведінкою аж до руйнування, розрахунковий момент пластичного опору можливо розрахувати за допомогою зменшення стискального зусилля в плиті до значення $N_c = \eta N_{c,f}$ (рисунок U.3), де $N_{c,f}$ — опір бетону стиску в разі з'єднувачів повної міцності, і коефіцієнт $\eta < 1$ враховує зниження опору з'єднувачів, що працюють на зсув.

(3) Положення нейтральної осі в плиті рекомендовано розраховувати на основі значення N_c ; положення нейтральної осі в алюмінієвій балці потрібно враховувати для класифікації поперечного перерізу. Частково міцні з'єднувачі можливо використовувати лише в поєднанні з перерізами класу 1 або 2.

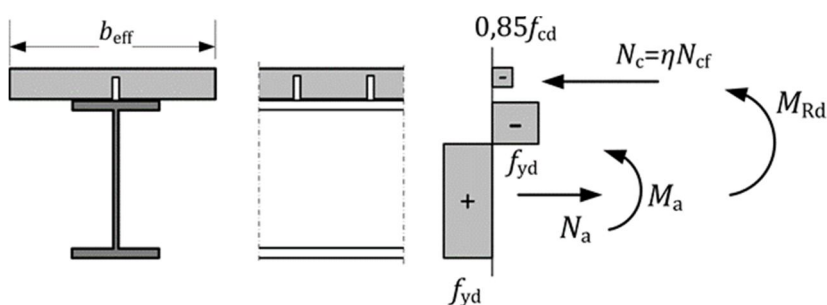
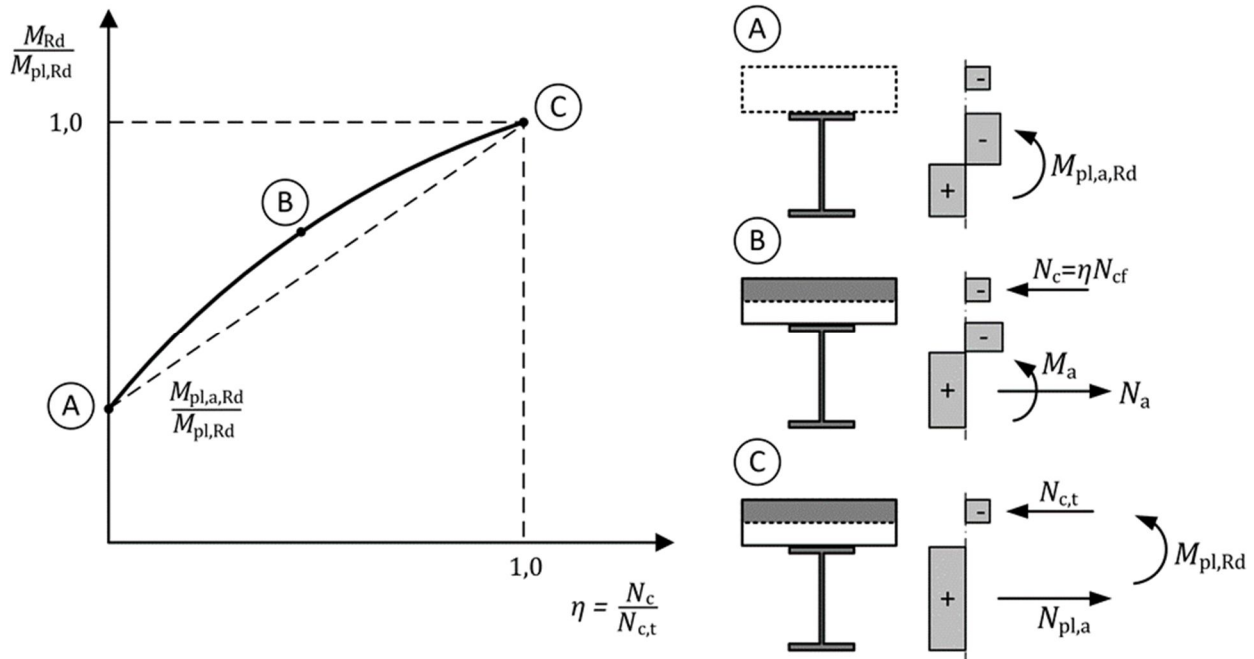


Рисунок U.3 — Розподіл напружень для додатного згинального моменту для частково міцного з'єднання що працює на зсув

(4) Консервативне значення M_{Rd} можливо обчислити за формулою (U.1), що відповідає лінії AC на рисунку U.4:

$$M_{Rd} = M_{pl,a,Rd} + (M_{pl,Rd} - M_{pl,a,Rd}) \frac{N_c}{N_{cf}} \quad (U.1)$$

де $M_{pl,a,Rd}$ та $M_{pl,Rd}$ — розрахунковий пластичний опір лише алюмінієвої балки та композитного перерізу зі з'єднанням повної міцності відповідно.



Умовні позначки:

1 — теорія пластичності

2 — спрощений метод

Рисунок U.4 — Співвідношення між M_{Rd} та N_c (для пластичних з'єднувачів, що працюють на зріз)

U.5.2.2 Опір композитного перерізу згину за нелінійною теорією

(1) Якщо наявної пластичності матеріалу недостатньо для того, щоб гарантувати появу пластичного шарніра, опір згину рекомендовано оцінювати за допомогою нелінійного аналізу, враховуючи фактичні закони формування матеріалу і відповідні межі деформації, які всі потрібно прийняти за EN 1992-1-1 і цим стандартом.

(2) В якості альтернативи більш точним процедурам для розрахунку

опору згину можливо використовувати наступний спрощений метод. Метод застосовний для звичайних двотаврових алюмінієвих поперечних перерізів, з'єднаних з бетонною плитою жорсткими рівномірними з'єднувачами для запобігання проковзуванню. Відповідні величини показано на рисунку U.5, де G' і G — геометричні центри ваги тільки алюмінієвого поперечного перерізу та всього композитного перерізу відповідно.

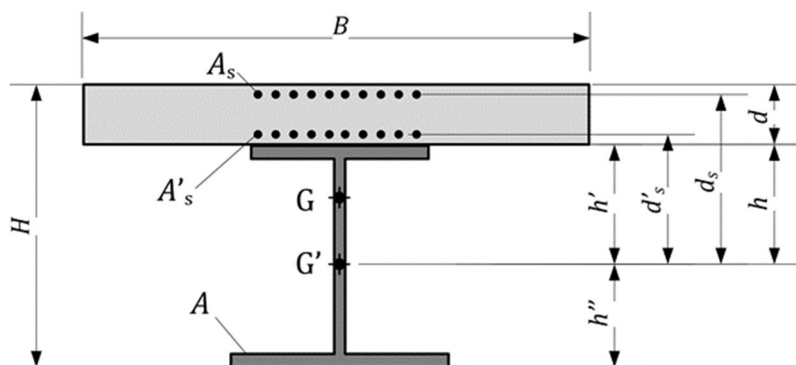


Рисунок U.5 — Геометричні параметри композитного перерізу

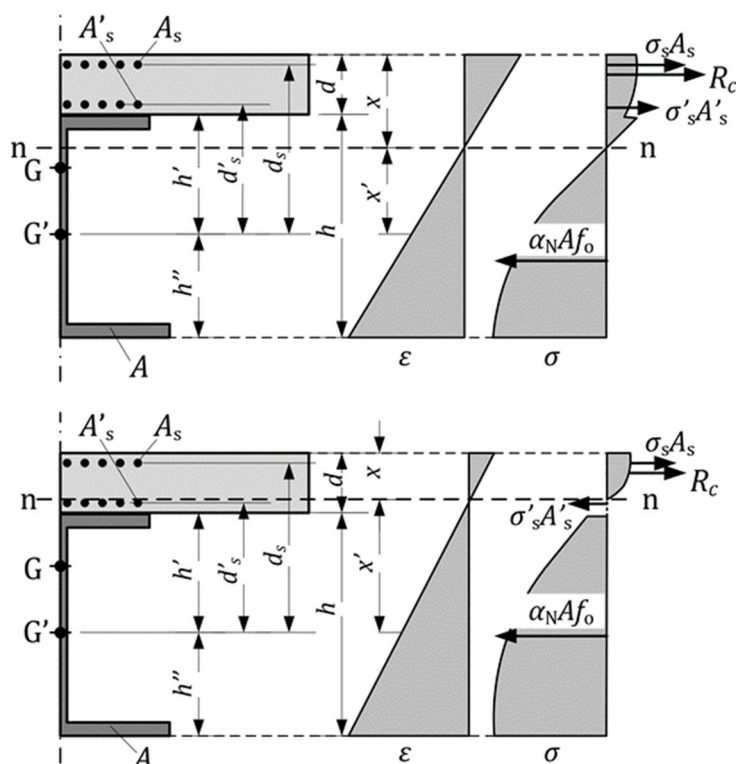


Рисунок U.6 — Розподіл напружень і деформацій у композитному перерізі

(3) Деформаційна здатність алюмінієвого сплаву пов'язана з деформацією за стандартної межі пружності $\varepsilon_e = f_0/E$, приймаючи як

значення граничної деформації $\varepsilon_5 = 5\varepsilon_e$ або $\varepsilon_{10} = 10\varepsilon_e$ залежно від максимально доступної пластичності сплаву (див. таблиці 5.3 і 5.4 EN 1999-1-1). Відповідний опір згину можливо оцінити, виходячи з положення нейтральної осі, отриманого за формулою (U.2) (рисунок U.6):

$$A_s \sigma_s / \gamma_s \pm A'_s \sigma'_s / \gamma_s + f'_c B x \Psi / \gamma_c - \alpha_N f_0 A / \gamma_{M1} = 0 \quad (U.2)$$

справедливо для $x < d$ (або $x' > h'$) і де Ψ — безрозмірний коефіцієнт, що залежить від розподілу напружень у бетонній плиті. За відсутності більш точних визначень, можливо використовувати значення $\Psi = 0,8$, за умови розподілу напружень по блоках. Якщо $x' \leq h'$, елемент хрекомендовано замінити на d , і можливо застосувати значення $\Psi = 1,0$. Відповідне значення розрахункового моменту опору оцінюють за формулою (U.3):

$$M_{Rd} = A_s \sigma_s d_s / \gamma_s \pm A'_s \sigma'_s d'_s / \gamma_s + f'_c B x \Psi (d + h' - \lambda x) / \gamma_c + \alpha_M f_0 W / \gamma_{M1} \quad (U.3)$$

допустимо для $x < d$ (або $x' > h'$) і з $\Psi/2 = 0,4$. Якщо $x' \leq h'$, елемент x рекомендовано замінити на d , і застосувати значення $\Psi = 1$ і $\lambda = 0,5$. Усі позначки у формулі (U.2) та формулі (U.3) визначено на рисунку U.6. Коефіцієнти γ_s і γ_c — часткові коефіцієнти безпеки для сталевих арматурних стрижнів і бетону відповідно, отримані зі стандарту EN1994-1-1. Коефіцієнт γ_{M1} для алюмінію наведено в таблиці 4.1. Знак перед виразом $A'_s \sigma'_s$ в обох формулах рекомендовано приймати додатнім, якщо $d'_s > x'$ і від'ємним, якщо $d'_s < x'$, відповідно. Елементи α_N та α_M є безрозмірним осьовим опором та опором згину алюмінієвого профілю відповідно і можуть бути отримані з таблиць U.2 та U.3, як функція від відношення x'/h , для заданих значень показника n закону для матеріалів Рамберга-Осгуда, рівня деформації та коефіцієнта форми геометричного перерізу α_0 .

Примітка. Положення нейтральної осі можливо визначити за допомогою ітераційної процедури, присвоївши x' експериментальне значення і отже, з таблиці U.2 або U.3, до $\alpha_N(\alpha_M)$, поки не буде досягнуто збіжність у формулі (U.2).

Таблиця У.2 – Значення параметру α_N ($\alpha_0 = 1,1$)

$\alpha_0 = 1,1, n = 8$					$\alpha_0 = 1,1, n = 16$					$\alpha_0 = 1,1, n = 32$				
x'/h	ε_e $= \frac{f_0}{E}$ $+ 0,002$	ε_e $= \frac{f_0}{E}$ $+ 0,002$	ε_5	ε_{10}	x'/h	ε_e $= \frac{f_0}{E}$ $+ 0,002$	ε_e $= \frac{f_0}{E}$ $+ 0,002$	ε_5	ε_{10}	x'/h	ε_e $= \frac{f_0}{E}$ $+ 0,002$	ε_e $= \frac{f_0}{E}$ $+ 0,002$	ε_5	ε_{10}
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,1	0,10	0,10	0,10	0,10	0,1	0,14	0,09	0,09	0,09	0,1	0,15	0,10	0,08	0,08
0,2	0,20	0,20	0,20	0,20	0,2	0,25	0,21	0,18	0,18	0,2	0,26	0,25	0,16	0,16
0,3	0,30	0,30	0,30	0,30	0,3	0,33	0,37	0,28	0,28	0,3	0,36	0,38	0,26	0,25
0,4	0,37	0,46	0,46	0,46	0,4	0,4	0,49	0,46	0,4	0,4	0,43	0,48	0,48	0,37
0,5	0,44	0,59	0,58	0,79	0,5	0,45	0,58	0,70	0,77	0,5	0,48	0,55	0,69	0,75
0,6	0,49	0,69	0,68	1,03	0,6	0,5	0,66	0,86	1,04	0,6	0,53	0,61	0,86	1,00
0,7	0,54	0,79	0,78	1,09	0,7	0,55	0,72	0,97	1,08	0,7	0,57	0,67	0,98	1,06
0,8	0,56	0,83	0,85	1,11	0,8	0,58	0,77	1,02	1,09	0,8	0,60	0,72	1,03	1,07
0,9	0,57	0,87	1,00	1,13	0,9	0,61	0,82	1,04	1,11	0,9	0,64	0,76	1,04	1,08
1,0	0,58	0,90	1,10	1,14	1,0	0,64	0,84	1,05	1,12	1,0	0,66	0,78	1,05	1,08

Таблиця У.3 – Значення параметру α_N ($\alpha_0 = 1,2$)

$\alpha_0 = 1,2, n = 8$					$\alpha_0 = 1,2, n = 16$					$\alpha_0 = 1,2, n = 32$				
x'/h	ε_e $= \frac{f_0}{E}$ $+ 0,002$	ε_e $= \frac{f_0}{E}$ $+ 0,002$	ε_5	ε_{10}	x'/h	ε_e $= \frac{f_0}{E}$ $+ 0,002$	ε_e $= \frac{f_0}{E}$ $+ 0,002$	ε_5	ε_{10}	x'/h	ε_e $= \frac{f_0}{E}$ $+ 0,002$	ε_e $= \frac{f_0}{E}$ $+ 0,002$	ε_5	ε_{10}
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,1	0,11	0,14	0,15	0,16	0,1	0,14	0,14	0,14	0,14	0,1	0,15	0,14	0,14	0,14
0,2	0,21	0,27	0,29	0,32	0,2	0,25	0,28	0,28	0,28	0,2	0,27	0,3	0,28	0,28
0,3	0,31	0,40	0,43	0,48	0,3	0,35	0,43	0,43	0,43	0,3	0,36	0,42	0,41	0,41
0,4	0,38	0,54	0,59	0,64	0,4	0,41	0,53	0,61	0,61	0,4	0,43	0,51	0,60	0,58
0,5	0,43	0,65	0,76	0,88	0,5	0,47	0,62	0,79	0,88	0,5	0,48	0,59	0,79	0,86
0,6	0,48	0,74	0,88	1,03	0,6	0,51	0,69	0,91	1,04	0,6	0,53	0,65	0,91	1,03
0,7	0,51	0,80	0,94	1,09	0,7	0,55	0,74	0,99	1,09	0,7	0,57	0,70	0,99	1,07
0,8	0,54	0,85	0,98	1,12	0,8	0,58	0,79	1,02	1,10	0,8	0,60	0,84	1,03	1,08
0,9	0,57	0,88	1,01	1,13	0,9	0,62	0,83	1,04	1,01	0,9	0,63	0,88	1,04	1,09
1,0	0,60	0,90	1,03	1,14	1,0	0,75	0,86	1,05	1,02	1,0	0,64	0,90	1,05	1,09

Таблиця У.4 – Значення параметру α_M ($\alpha_0 = 1,1$)

$\alpha_0 = 1,1, n = 8$					$\alpha_0 = 1,1, n = 16$					$\alpha_0 = 1,1, n = 32$				
x'/h	ε_e $= \frac{f_o}{E}$	ε_e $= \frac{f_o}{E}$ $+ 0,002$	ε_5	ε_{10}	x'/h	ε_e $= \frac{f_o}{E}$	ε_e $= \frac{f_o}{E}$ $+ 0,002$	ε_5	ε_{10}	x'/h	ε_e $= \frac{f_o}{E}$	ε_e $= \frac{f_o}{E}$ $+ 0,002$	ε_5	ε_{10}
0	0,80	1,07	1,19	1,32	0	0,91	1,06	1,2	1,26	0	0,96	1,07	1,17	1,21
0,1	0,74	1,02	1,14	1,27	0,1	0,79	1,01	1,16	1,23	0,1	0,81	0,98	0,14	1,19
0,2	0,64	0,95	1,06	1,2	0,2	0,67	0,92	1,11	1,18	0,2	0,69	0,84	1,10	1,15
0,3	0,54	0,83	0,96	1,11	0,3	0,57	0,75	1	1,1	0,3	0,6	0,70	1,03	1,08
0,4	0,45	0,65	0,79	0,96	0,4	0,5	0,61	0,79	0,96	0,4	0,53	0,59	0,76	0,94
0,5	0,40	0,49	0,52	0,55	0,5	0,44	0,5	0,5	0,5	0,5	0,47	0,51	0,49	0,46
0,6	0,35	0,36	0,30	0,24	0,6	0,4	0,41	0,29	0,26	0,6	0,43	0,45	0,27	0,13
0,7	0,31	0,26	0,19	0,16	0,7	0,37	0,34	0,15	0,09	0,7	0,40	0,39	0,12	0,05
0,8	0,28	0,2	0,14	0,13	0,8	0,32	0,28	0,09	0,07	0,8	0,36	0,34	0,06	0,04
0,9	0,24	0,15	0,12	0,11	0,9	0,29	0,22	0,07	0,05	0,9	0,33	0,29	0,04	0,03
1,0	0,22	0,12	0,10	0,09	1,0	0,28	0,18	0,06	0,04	1,0	0,30	0,26	0,03	0,02

Таблиця У.5 – Значення параметру α_M ($\alpha_0 = 1,2$)

$\alpha_0 = 1,2, n = 8$					$\alpha_0 = 1,2, n = 16$					$\alpha_0 = 1,2, n = 32$				
x'/h	ε_e $= \frac{f_o}{E}$	ε_e $= \frac{f_o}{E}$ $+ 0,002$	ε_5	ε_{10}	x'/h	ε_e $= \frac{f_o}{E}$	ε_e $= \frac{f_o}{E}$ $+ 0,002$	ε_5	ε_{10}	x'/h	ε_e $= \frac{f_o}{E}$	ε_e $= \frac{f_o}{E}$ $+ 0,002$	ε_5	ε_{10}
0	0,81	1,12	1,27	1,41	0	0,91	1,12	1,27	1,36	0	0,96	1,12	1,27	1,31
0,1	0,71	1,06	1,20	1,35	0,1	0,79	1,05	1,22	1,31	0,1	0,81	1,00	1,22	1,28
0,2	0,61	0,96	1,10	1,23	0,2	0,66	0,92	1,14	1,22	0,2	0,7	0,85	1,14	1,19
0,3	0,52	0,80	0,95	1,09	0,3	0,58	0,76	0,98	1,08	0,3	0,6	0,71	1,00	1,07
0,4	0,44	0,62	0,74	0,88	0,4	0,51	0,61	0,74	0,86	0,4	0,54	0,60	0,72	0,84
0,5	0,39	0,47	0,48	0,50	0,5	0,45	0,50	0,47	0,44	0,5	0,48	0,53	0,45	0,41
0,6	0,34	0,35	0,3	0,23	0,6	0,41	0,41	0,26	0,16	0,6	0,44	0,45	0,25	0,12
0,7	0,29	0,25	0,19	0,15	0,7	0,37	0,33	0,14	0,08	0,7	0,39	0,38	0,13	0,04
0,8	0,27	0,18	0,14	0,12	0,8	0,33	0,28	0,09	0,06	0,8	0,36	0,33	0,06	0,03
0,9	0,23	0,15	0,11	0,10	0,9	0,30	0,22	0,07	0,05	0,9	0,44	0,29	0,04	0,02
1,0	0,21	0,13	0,10	0,09	1,0	0,27	0,17	0,05	0,04	1,0	0,4	0,26	0,03	0,02

У.6 З'єднувальні елементи, що працюють на зріз

У.6.1 Загальні положення

(1) З'єднувачі, що працюють на зріз можуть бути як жорсткими, так і гнучкими. Жорсткі з'єднувачі дозволяють використовувати для прогнозування поведінки конструкції традиційну теорію згину, тоді як використання гнучких з'єднувачів потребує точніших моделей для вивчення фактичної деформативності балки.

(2) Для композитних алюмінієво-бетонних балок може бути застосовано як традиційні, так і інноваційні з'єднувальні системи, причому останні здатні використовувати особливості алюмінію і його сплавів.

(3) За винятком клейових вузлів, опір зсуву між алюмінієм і бетоном має бути забезпечений лише за рахунок зсувного з'єднання, без урахування природного тертя між матеріалами. Деформаційна придатність з'єднувачів, що працюють на зсув має бути достатньою для забезпечення передбаченого під час проєктування перерозподілу зсуву. Крім того, їх рекомендовано проєктувати так, щоб запобігти розділенню елементів під час підйому бетонної плити. У разі відсутності чітких доказів вищевказані передумови рекомендовано оцінити за допомогою випробування.

(4) Всі загальні правила, наведені в EN 1994-1-1, є застосовними для проєктування традиційних шпильок - з'єднувачів (див. U.5.2). Для спеціальних та / або інноваційних з'єднувачів (див. U.5.3) рекомендовано використовувати відповідні теоретичні або числові моделі, легко підтверджувані безпосередніми експериментами.

U.6.2 Традиційні з'єднувачі

(1) Ці з'єднувачі дуже схожі на широко застосовні з'єднувачі в композитних сталезалізобетонних системах. Зазвичай вони засновані на алюмінієвих елементах, приварених до верхньої полиці балки, відповідно до деталей, наведених на рис. U.7 а) і b).

(2) З'єднувачі можуть бути виготовлені або з пресованих профілів (а), або з хомутових елементів (в), і їх форму може бути оптимізовано так, щоб поліпшити зчеплення з бетоном і / або уникнути підйому плити. В усіх цих випадках вплив обумовленої зварюванням зони термічного впливу, рекомендовано враховувати згідно з правилами, наведеними у даному стандарті.

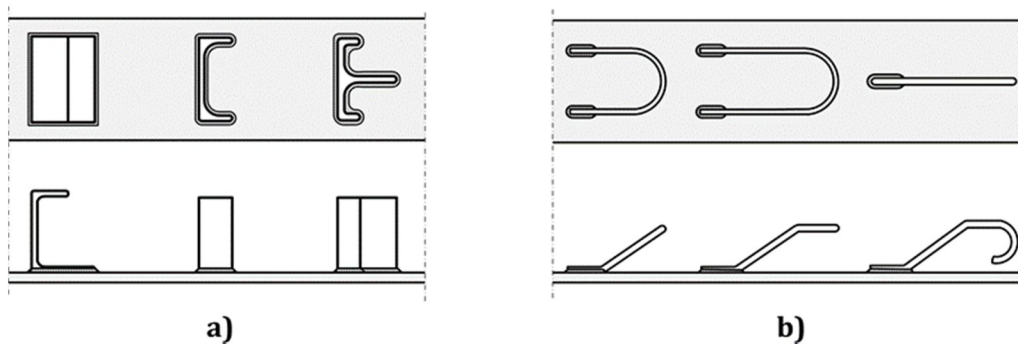


Рисунок U.7 — Зварні з'єднувачі

(3) В якості альтернативи зварним з'єднувачам можливо використовувати сталеві різьбові шпильки (рис. U.8), так, щоб отримати ті ж характеристики, що і у класичного шпилькового з'єднувача з головкою, широко використовуваного в сталебетонних композитних системах. Розрахунок таких з'єднувачів може бути виконано згідно з EN 1994-1-1. Щоб уникнути електрохімічної взаємодії між сталлю і алюмінієм, рекомендовано нанести на болт відповідне пасивуюче покриття.

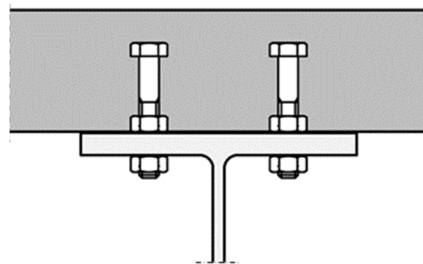


Рисунок U.8 — З'єднувачі, отримані з болтів з шестигранною голівкою

(4) Для підлогових перекриттів, в якості додаткової альтернативи зварним рішенням, до верхньої полиці балки може бути приклепано спеціальні з'єднувачі (рис. U.9).

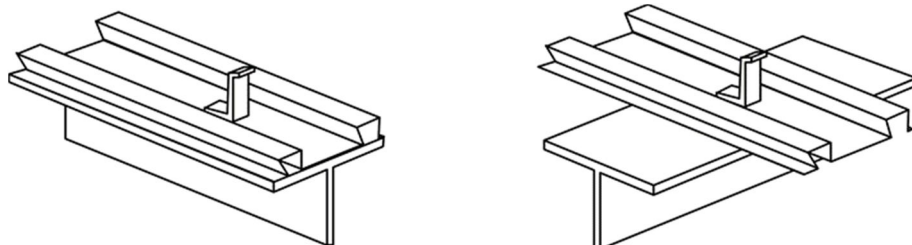


Рисунок U.9 — З'єднувачі, отримані з прикріплених заклепками елементів

U.6.3 Інноваційні з'єднувачі

(1) Технологічні особливості алюмінію може бути використано для

отримання спеціальних типів з'єднувачів, об'єднаних із пресованою верхньою полицею балки (рис. U.10). З'єднання може бути отримано розрізанням і загином верхньої частини пресованого профілю поперемінно з одного і з іншого боку з постійним кроком від 10 до 20 см. Пресований профіль може бути оптимізовано для збільшення тертя між алюмінієвою балкою та бетонною плитою.

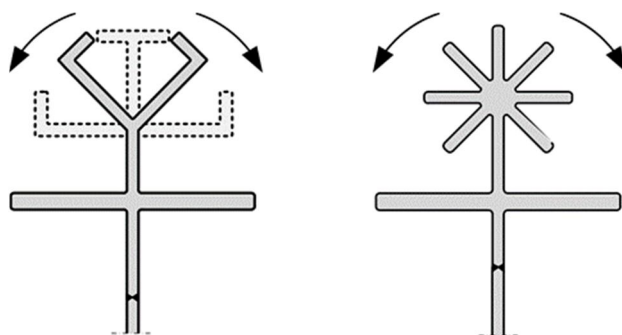


Рисунок U.10 — Спеціальні з'єднувачі

(2) З метою спрощення використання рішень зі збірними бетонними плитами, в якості альтернативи вищевказаним з'єднувальним системам, можливо також використовувати клейові вузли. Такий вид з'єднання має багато переваг, таких як рівномірний розподіл напружень між матеріалами і простота нанесення.

(3) Рішення з'єднувачів, отриманих пресуванням, як показано на рисунку U.10, можливо застосовувати, розрізаючи з'єднувальні деталі на сектори, що чергуються, як показано на малюнку U.11.

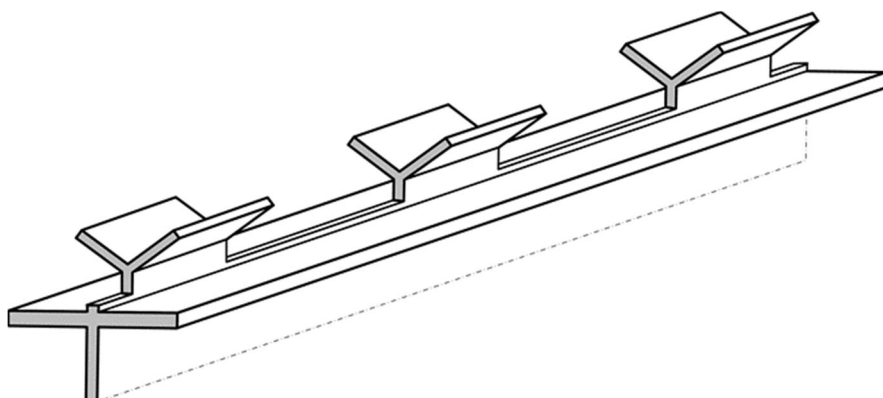


Рисунок U.11 — Приклад застосування спеціальних з'єднувачів

ДОДАТОК V
(обов'язковий)
ЗМІНЕНІ УМОВИ ВТРАТИ СТІЙКОСТІ

V.1 Застосування цього додатка

1) Цей обов'язковий додаток містить додаткові положення до пункту 8.3.1.3, що стосуються опору втраті стійкості елементів.

V.2 Застосування цього додатка

У цьому обов'язковому додатку наведено криві втрати стійкості для геометричного допуску $L/500$, який можливо застосовувати в якості спеціального допуску для наступних випадків: таблиця F.4, випадок B; таблиця F.7, випадок B і таблиця G.2, випадок B у EN 1090-3:2019.

Примітка 1. У пунктах 8.3.1.2, 8.3.1.3 і 8.3.1.4 визначено положення для розрахунку згинальної втрати стійкості елементів під дією осьового навантаження. Положення ґрунтуються на дуговій недосконалості / прямолінійності $L/1000$, див. 8.3.1.3(1) Примітку 1, і відповідають визначенням у EN 1090-3:2019. Дотриматися такої прямолінійності на практиці в майстерні у багатьох випадках дуже складно і дорого. Особливо це стосується елементів з поздовжніми зварними швами. У цьому додатку запропоновано альтернативне рішення, що враховує приведену прямолінійність, через введення альтернативної дугової недосконалості, що дорівнює $L/500$.

Примітка 2. Згідно з 11.1 стандарту EN 1090-3:2019 «спеціальні допуски може бути встановлено або для типів геометричних відхилів, вже визначених кількісними значеннями, або для інших типів відхилів». Якщо потрібні спеціальні допуски, потрібно вказати наступну інформацію:

а) змінені допустимі відхили для типів відхилів, наведених у таблицях з додатків F, G та / або H;

б) додаткові типи відхилів, що підлягають перевірці, разом із певними параметрами та допустимими значеннями; і чи застосовні ці спеціальні допуски до всіх відповідних складових частин або лише до вказаних.

V.3 Розрахунок згинальної втрати стійкості для дугових недосконалостей $L/500$

Розрахунок із дуговою недосконалістю $L/500$ рекомендовано виконувати відповідно до положень

8.3 для згинальної втрати стійкості та згинально - крутильної втрати стійкості із заміною таблиці 8.5 на таблицю V.1, та заміною рисунків 8-10, на рисунок V.1.

Таблиця V.1 — Значення α та $\bar{\lambda}_0$ для згинальної втрати стійкості для дугових недосконалостей $L/500$

Зварювання	Клас втрати стійкості згідно з таблицею 5.3 та 5.4	Крива	α	$\bar{\lambda}_0$
Без зварного шва	A	a	0,36	0,10
	B	b	0,48	0,15
	C	c	0,76	0,14
Поздовжній зварний шов	A	aw	0,54	0,16
	B	bw	0,72	0,22
	C	cw	1,14	0,24

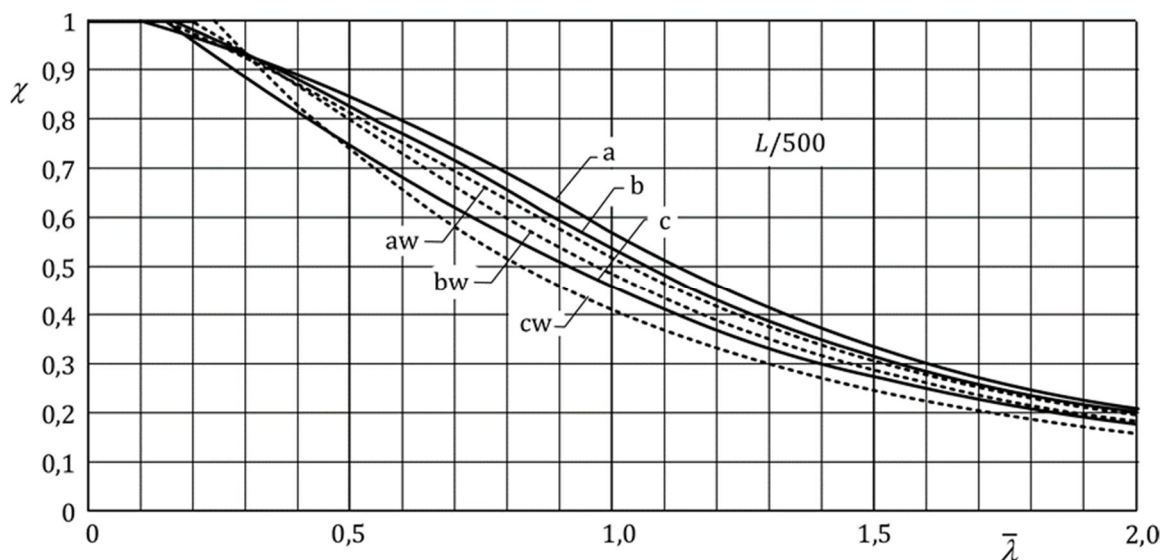


Рисунок V.1 — Понижувальний коефіцієнт χ для згинальної втрати стійкості для дугових недосконалостей $L/500$

БІБЛІОГРАФІЯ

Посилання, наведені в рекомендаціях (тобто через пункти «рекомендовано», «має»)

Посилання на нижчеперелічені документи наведено в тексті так, що частина або весь їх вміст, хоча і не є суворими вимогами, яких необхідно дотримуватися, являють собою настійно рекомендований вибір або напрям дій в рамках даного стандарту. Застосування альтернативних стандартів дозволено за умови технічного обґрунтування відповідно до національного законодавства та/або будь-яких відповідних договірних положень. У разі датованих посилань застосовують тільки наведені видання. У разі недатованих посилань потрібно користуватись останнім виданням нормативних документів (разом зі змінами).

1. EN 754 (all parts), Aluminium and aluminium alloys — Cold drawn rod/bar and tube
2. EN 1301 Aluminium and aluminium alloys — Drawn wire
3. EN 28839 Mechanical properties of fasteners — Bolts, screws, studs and nuts made from non-ferrous metals (ISO 8839)
4. EN ISO 4014 Fasteners — Hexagon head bolts — Product grades A and B (ISO 4014:2022)
5. EN 15048-2 Non-preloaded structural bolting assemblies — Part 2: Fitness for purpose
6. EN 1559-1 Founding — Technical conditions of delivery — Part 1: General
7. EN 1559-4 Founding — Technical conditions of delivery — Part 4: Additional requirements for aluminium alloy castings
8. EN 12681 (all parts) Founding — Radiographic examination
9. EN ISO 3452-1 Non-destructive testing — Penetrant testing — Part 1: General principles (ISO 3452-1)
10. EN 13068 (all parts), Non-destructive testing — Radioscopic testing
11. EN ISO 5579 Non-destructive testing — Radioscopic testing of

metallic materials using film and X- or gamma rays — Basic rules (ISO 5579)

12. EN 1706 Aluminium and aluminium alloys — Castings — Chemical composition and mechanical properties

13. EN ISO 4136 Destructive tests on welds in metallic materials — Transverse tensile test (ISO 4136)

14. EN ISO 4017 (all parts), Fasteners - Hexagon head screws - Product grades A and B (ISO 4017)

15. EN ISO 1481, Slotted pan head tapping screws (ISO 1481)

16. EN ISO 7049, Cross-recessed pan head tapping screws (ISO 7049)

НАЦІОНАЛЬНЕ ПОЯСНЕННЯ

1. EN 754 (всі частини)Алюміній та алюмінієві сплави. Холоднотягнутий прут/брусок і труба.

2. EN 1301 Алюміній та алюмінієві сплави. Тягнутий дріт

3. EN 28839 Механічні властивості кріпильних виробів – Болти, гвинти, шпильки та гайки з кольорових металів (ISO 8839)

4. EN ISO 4014 Кріпильні вироби. Болти з шестигранною головкою. Класи точності A і B. Технічні умови (ISO 4014:2022)

5. EN 15048-2 Конструкційні болтові вузли без попереднього натягування. Частина 2. Придатність до використання

6. EN 1559-1 Лиття. Технічні умови постачання. Частина 1. Загальні положення

7. EN 1559-4 Лиття. Технічні умови постачання. Частина 4. Додаткові вимоги до алюмінієвих сплавів та відливок

8. EN 12681 (всі частини) Литво. Радіографічний контроль.

9. EN ISO 3452-1 Неруйнівний контроль. Капілярний контроль. Частина 1. Загальні принципи (ISO 3452-1)

10. EN 13068 (всі частини) Неруйнівний контроль. Радіоскопічний контроль.

11. EN ISO 5579 Неруйнівний контроль. Радіографічний контроль

металевих матеріалів із застосуванням плівки та рентген- і гамма-випромінювання. Основні правила (ISO 5579)

12. EN 1706 Алюміній та алюмінієві сплави. Виливки. Хімічний склад і механічні властивості

13. EN ISO 4136 Випробування зварних з'єднань металевих матеріалів руйнівні. Випробування на поперечний розтяг (ISO 4136)

14. EN ISO 4017 (всі частини) Кріпильні вироби. Гвинти з шестигранною головкою. Класи виробу А та В (ISO 4017)

15. EN ISO 1481 Гвинти самонарізувальні з циліндричною округлою головкою та прямим шліцом (ISO 1481)

16. EN ISO 7049 Гвинти самонарізувальні з циліндричною скругленою головкою і хрестоподібним шліцом. Технічні умови (ISO 7049)

Посилання, наведені у дозволах (тобто через пункти «дозволено» «можна»)

Посилання на нижчеперелічені документи наведено в тексті так, що частина або весь їх вміст, хоча і не є суворими вимогами, яких необхідно дотримуватися, відображають допустимий в рамках Єврокодів порядок дій. У разі датованих посилань застосовують тільки наведені видання. У разі недатованих посилань потрібно користуватись останнім виданням нормативних документів (разом зі змінами).

17 EN 755-2:2016 Aluminium and aluminium alloys — Extruded rod/bar, tube and profiles — Part 2: Mechanical properties

НАЦІОНАЛЬНЕ ПОЯСНЕННЯ

17 EN 755-2:2016 Алюміній та алюмінієві сплави. Пресований пруткок, труби та профілі. Частина 2. Механічні властивості

Посилання, наведені в якості інформаційних (тобто, через пункти «може» «можливо»)

19. EN 485 (all parts) Aluminium and aluminium alloys — Sheet, strip and

plate

20. EN 515, Aluminium and aluminium alloys — Wrought products — Temper designations

21. EN 573-3, Aluminium and aluminium alloys — Chemical composition and form of wrought products — Part 3: Chemical composition and form of products

22. EN 755 (all parts), Aluminium and aluminium alloys — Extruded rod/bar, tube and profiles

23. EN 1592-1, Aluminium and aluminium alloys — HF seam welded tubes — Part 1: Technical conditions for inspection and delivery

24. EN 12258, Aluminium and aluminium alloys — Terms and definitions

25. EN ISO 898-1, Mechanical properties of fasteners made of carbon steel and alloy steel — Part 1: Bolts, screws and studs with specified property classes — Coarse thread and fine pitch thread (ISO 898-1)

26. EN 508-2, Roofing and cladding products from metal sheet — Specification for self-supporting products of steel, aluminium or stainless steel — Part 2: Aluminium

27. EN 586 (all parts), Aluminium and aluminium alloys — Forgings

28. EN 755 (all parts), Aluminium and aluminium alloys — Extruded rod/bar, tube and profiles

29. EN 12020-2 Aluminium and aluminium alloys — Extruded precision profiles in alloys EN AW-6060 and EN AW-6063 — Part 2: Tolerances on dimensions and form

30. EN 1386 Aluminium and aluminium alloys — Tread plate — Specifications

31. EN 1011-4 Welding — Recommendations for welding of metallic materials — Part 4: Arc welding of aluminium and aluminium alloys

32. EN ISO 18273 Welding consumables — Wire electrodes, wires and rods for welding of aluminium and aluminium alloys — Classification (ISO 18273)

33. EN 14024, Metal profiles with thermal barrier — Mechanical performance — Requirements, proof and tests for assessment
34. EN ISO 1479, Hexagon head tapping screws (ISO 1479)
35. EN ISO 4032 Hexagon regular nuts (style 1) — Product grades A and B (ISO 4032)
36. EN ISO 4033 Hexagon high nuts (style 2) — Product grades A and B (ISO 4033)
37. EN ISO 4035 Hexagon thin nuts chamfered (style 0) — Product grades A and B (ISO 4035)
38. EN ISO 6892 (all parts) Metallic materials — Tensile testing (ISO 6892)
39. EN ISO 7089 Plain washers — Normal series — Product grade A (ISO 7089)
40. EN ISO 7090 Plain washers, chamfered — Normal series — Product grade A (ISO 7090)
41. EN ISO 7599, Anodizing of aluminium and its alloys — Method for specifying decorative and protective anodic oxidation coatings on aluminium (ISO 7599)
42. EN ISO 9223, Corrosion of metals and alloys — Corrosivity of atmospheres — Classification, determination and estimation (ISO 9223)
43. EN ISO 15480, Fasteners — Hexagon washer head drilling screws with tapping screw thread (ISO 15480)
44. EN ISO 15481, Cross recessed pan head drilling screws with tapping screw thread (ISO 15481)
45. ISO 11003-1 (all parts), Adhesives — Determination of shear behaviour of structural adhesives
46. ISO 11003-2, Adhesives — Determination of shear behaviour of structural adhesives — Part 2: Tensile test method using thick adherends

19. EN 485 (всі частини) Алюміній та алюмінієві сплави. Листи, стрічки та плити.

20. EN 515 Алюміній та його сплави. Ковані вироби. Маркування

21. EN 573-3 Алюміній та алюмінієві сплави. Хімічний склад і профілі кованих виробів. Частина 3. Хімічний склад і профілі виробів

22. EN 755 (всі частини), Алюміній та алюмінієві сплави. Пресований пруток, труби та профілі.

23. EN 1592-1 Алюміній та алюмінієві сплави. ВЧ-зварні труби. Частина 1. Технічні умови для контролю та постачання

24. EN 12258 Алюміній та алюмінієві сплави. Терміни та визначення

25. EN ISO 898-1 Механічні властивості кріпильних виробів із вуглецевої сталі й легованої сталі. Частина 1. Болти, гвинти та шпильки. Механічні властивості та методи випробування (ISO 898-1)

26. EN 508-2 Вироби покрівельні металеві листові. Вимоги до самонесних виробів із сталевих, алюмінієвих листів або листів із нержавкої сталі. Частина 2. Алюміній

27. EN 586 (всі частини), Алюміній та алюмінієві сплави. Ковки

28. EN 755 (всі частини), Алюміній та алюмінієві сплави. Пресований пруток, труби та профілі.

29. EN 12020-2, Алюміній та алюмінієві сплави. Пресовані прецезійні профілі зі сплавів EN AW-6060 та EN AW-6063. Частина 2. Допуски на розміри та форму

30. EN 1386, Алюміній та алюмінієві сплави. Рифлені накладки. Технічні характеристики

31. EN 1011-4 Зварювання. Рекомендації щодо зварювання металевих матеріалів. Частина 4. Дугове зварювання алюмінію та алюмінієвих сплавів

32. EN ISO 18273 Матеріали зварювальні. Електроди, дріт та прутки для зварювання алюмінію та його сплавів. Класифікація (ISO 18273)

33. EN 14024 Металеві профілі з теплозахисним покриттям. Механічні

характеристики. Вимоги, докази та тести для оцінки

34. EN ISO 1479 Гвинти самонарізувальні з шестигранною головкою(ISO 1479)

35. EN ISO 4032 Гайки шестигранні, тип 1. Класи точності A і B. Технічні умови (ISO 4032)

36. EN ISO 4032 Гайки шестигранні, тип 2. Класи точності A і B. Технічні умови (ISO 4033)

37. EN ISO 4035 Гайки шестигранні тонкі зі скошеною фаскою (тип 0). Класи точності A і B (ISO 4035)

38. EN ISO 6892 (всі частини), Металеві матеріали. Випробування на розтяг. (ISO 6892)

39. EN ISO 7089 Шайби плоскі. Нормальна серія. Клас виробу A (ISO 7089)

40. EN ISO 7090 Шайби плоскі з фаскою. Нормальна серія. Клас виробу A (ISO 7090)

41. EN ISO 7599 Анодування алюмінію та його сплавів. Загальні технічні вимоги до декоративних та захисних анодних покриттів по алюмінію (ISO 7599)

42. EN ISO 9223 Корозія металів і сплавів. Корозійність атмосфер. Класифікація, визначення та оцінювання (ISO 9223)

43. EN ISO 15480 Кріплення. Гвинти саморізні з шестигранною головкою та самонарізним різьбленням (ISO 15480)

44. EN ISO 15481 Гвинти самосвердлувальні самонарізувальні з циліндричною скругленою головкою та хрестоподібним шліцом. Технічні умови (ISO 15481)

45. ISO 11003-1 (всі частини), Клеї. Визначення характеристик конструкційних клеїв під дією зсуву

46. ISO 11003-2 Клеї. Визначення характеристик конструкційних клеїв під дією зсуву. Частина 2. Метод випробування на розтяг товстих склеєних елементів

ДОДАТОК НА

(довідковий)

**ПЕРЕЛІК НАЦІОНАЛЬНИХ СТАНДАРТІВ УКРАЇНИ, ІДЕНТИЧНИХ
ЄВРОПЕЙСЬКИМ ТА МІЖНАРОДНИМ НОРМАТИВНИМ ДОКУМЕНТАМ,
ПОСИЛАННЯ НА ЯКІ Є В ЦЬОМУ СТАНДАРТІ**

ДСТУ EN 1090-3 (EN 1090-3, IDT) Виконання сталевих і алюмінієвих конструкцій. Частина 3 Технічні вимоги до алюмінієвих конструкцій

ДСТУ EN 1090-5 (EN 1090-5, IDT) Виконання сталевих та алюмінієвих конструкцій. Частина 5. Технічні вимоги до холодноформованих алюмінієвих будівельних елементів та конструкцій для покрівель, стель, підлог і стін

ДСТУ-Н Б EN 1990 (EN 1990, IDT) Єврокод. Основи проектування конструкцій

ДСТУ-Н Б EN 1991 (усі частини) Єврокод 1. Дії на конструкції

ДСТУ-Н Б EN 1993-1-8 (EN 1993-1-8, IDT) Єврокод 3. Проектування сталевих конструкцій. Частина 1-8. Проектування з'єднань

ДСТУ-Н Б EN 1993-1-11 (EN 1993-1-11, IDT) Єврокод 3. Проектування сталевих конструкцій. Частина 1-11. Проектування конструкцій з розтягнутими елементами

ДСТУ-Н Б EN 1999-1-2 (EN 1999-1-2, IDT) Єврокод 9. Проектування алюмінієвих конструкцій. Частина 1-2. Розрахунок конструкцій на вогнестійкість

ДСТУ-Н Б EN 1999-1-3 (EN 1999-1-3, IDT) Єврокод 9. Проектування алюмінієвих конструкцій. Частина 1-3. Конструкції чутливі до втоми

ДСТУ-Н Б EN 1999-1-4 (EN 1999-1-4, IDT) Єврокод 9. Проектування алюмінієвих конструкцій. Частина 1-4. Холодноформовані листи

прДСТУ EN 1999-1-1:202X

ДСТУ-Н Б EN 1999-1-5 (EN 1999-1-5, IDT) Єврокод 9 Проектування алюмінієвих конструкцій. Частина 1-5. Конструкції оболонок

ДСТУ EN 10204 (EN 10204, IDT) Вироби металеві. Види документів контролю

ДСТУ EN 14399-1 (EN 14399-1, IDT) З'єднання болтові високоміцні для попереднього напруження. Частина 1. Загальні вимоги

ДСТУ EN 14399-3 (EN 14399-3, IDT) З'єднання болтові високоміцні для попередньої напруги. Частина 3. Система HR. Вузли з шестигранными болтами та гайками

ДСТУ EN 14399-4 (EN 14399-4, IDT) З'єднання болтові високоміцні для попередньої напруги. Частина 4. Система HV. Вузли з шестигранными болтами та гайками

ДСТУ EN 14399-5 (EN 14399-5, IDT) З'єднання болтові високоміцні для попередньої напруги. Частина 5. Плоскі шайби

ДСТУ EN 14399-6 (EN 14399-6, IDT) З'єднання болтові високоміцні для попередньої напруги. Частина 6. Плоскі шайби зі скошеною фаскою

ДСТУ EN 14399-8:2022 (EN 14399-8:2018, IDT) З'єднання болтові високоміцні для попередньої напруги. Частина 8. Система HV. Вузли з шестигранными болтами та гайками

ДСТУ EN 15048-1 (EN 15048-1, IDT) З'єднання болтові без попереднього напруження. Частина 1. Загальні вимоги

ДСТУ ISO 3506-1 (ISO 3506-1) Механічні властивості кріпильних виробів із корозійностійкої нержавкої сталі. Частина 1. Болти, гвинти та шпильки

ДСТУ ISO 3506-2 Механічні властивості кріпильних виробів із корозійностійкої нержавкої сталі. Частина 2. Гайки (ISO 3506-2)

ДСТУ EN ISO 13918 (EN ISO 13918, IDT; ISO 13918:2017, IDT)
Зварювання. Шпильки і керамічні втулки для дугового зварювання
шпильок. Терміни, визначення понять та позначки.

Ключові слова: алюмінієві сплави, вузлові з'єднання, клейові з'єднання, конструкції, корозія, моделювання

Генеральний директор
ТОВ «Укрінсталькон
ім. В.М. Шимановського»,
заслужений діяч науки і техніки України,
член-кореспондент НАНУ, д.т.н., проф.

О. В. Шимановський

Заступник генерального директора з
науково-технічної політики,
заступник голови ТК 301

В. П. Адріанов

Завідувач відділу науково-технічного
розвитку
(науковий керівник розробки)

О. І. Кордун

Завідувач групи

Я. В. Лимар

Провідний редактор-перекладач

В. П. Гаврилова