



НАЦІОНАЛЬНИЙ СТАНДАРТ УКРАЇНИ

ДСТУ EN 1999-1-4:202__
(EN 1999-1-4:2023, IDT)

**ЄВРОКОД 9.
ПРОЄКТУВАННЯ АЛЮМІНІЄВИХ КОНСТРУКЦІЙ.**

Частина 1-4. Холодноформовані листи

(Проект, остаточна редакція)

Київ
ДП «УкрНДНЦ»
202_

ЗМІСТ

С.

НАЦІОНАЛЬНИЙ ВСТУП.....	VII
ПЕРЕДМОВА до EN 1999-1-4:2023.....	VIII
0. ВСТУП.....	X
1 СФЕРА ЗАСТОСУВАННЯ.....	1
1.1 Сфера застосування EN 1999-1-4	1
1.2 Припущення	2
2 НОРМАТИВНІ ПОСИЛАННЯ.....	2
3 ТЕРМІНИ, ВИЗНАЧЕННЯ ПОНЯТЬ ТА ПОЗНАКИ	3
3.1 Терміни та визначення понять	3
3.2 Познаки.....	5
3.3 Геометрія і умовні познаки.....	8
3.3.1 <i>Форми поперечних перерізів</i>	8
3.3.2 <i>Форми елементів жорсткості</i>	8
3.3.3 <i>Форми поперечних перерізів</i>	9
3.3.4 <i>Умовні познаки осей</i>	10
4 ОСНОВИ ПРОЄКТУВАННЯ.....	10
5 МАТЕРІАЛИ	12
5.1 Загальні положення	12
5.2 Алюмінієві конструкційні сплави	12
5.2.1 <i>Властивості матеріалу</i>	12
5.2.2 <i>Товщина та геометричні допуски</i>	15
5.3 Механічні кріпильні вироби.....	15
6 ДОВГОВІЧНІСТЬ.....	16
7 КОНСТРУКЦІЙНИЙ РОЗРАХУНОК	16
7.1 Вплив заокруглених кутів	16
7.2 Геометричні пропорції	19
7.3 Моделювання несної конструкції для розрахунку.....	19
7.4 Жолоблення полиць	20
7.5 Місцева та загальна втрата стійкості.....	22
7.5.1 <i>Розрахункові значення напружень</i>	22
7.5.2 <i>Плоскі частини поперечних перерізів без елементів жорсткості</i>	22
7.5.3 <i>Плоскі частини поперечних перерізів з проміжними елементами жорсткості</i>	24

7.5.3 Трапецієподібні профільовані листи з проміжними елементами жорсткості30

7.5.5 Холодноформовані елементи..... 40

8 ГРАНИЧНИЙ СТАН ЗА НЕСНОЮ ЗДАТНІСТЮ 41

8.1 Опір поперечного перерізу..... 41

8.1.1 Загальні положення 41

8.1.2 Осьовий розтяг..... 41

8.1.3 Осьовий стиск..... 42

8.1.4 Згинальний момент..... 43

8.1.5 Зсувне зусилля 46

8.1.6 Кручення..... 48

8.1.7 Місцеві поперечні сили..... 48

8.1.8 Спільна дія розтягу та згину 53

8.1.9 Спільна дія стиску та згину 53

8.1.10 Спільна дія зсувного зусилля, осьового зусилля та згинального моменту54

8.1.11 Спільна дія згинального моменту та місцевого навантаження чи реакції опори

..... 55

8.2 Опір втраті стійкості..... 55

8.2.1 Загальні положення 55

8.2.2 Осьовий стиск..... 56

8.2.3 Згин та осьовий стиск..... 57

8.3 Трапецієподібні профільовані листи з напустком на опорі..... 59

8.3.1 Момент опору з'єднання внапусток 59

8.3.2 Одинарний напусток зі перекриванням нижнього листа (SOL-L)..... 63

8.3.3 Одинарний напусток з перекриванням верхнього листа (SOL-U)..... 64

8.3.4 Подвійний напусток (DOL) 65

8.3.5 Місцеве підсилення (CR)..... 67

8.3.6 Трапецієподібні профільовані листи з боковим напустком..... 68

8.4 Проєктування з урахуванням роботи обшивки..... 68

8.4.1 Загальні положення 68

8.4.2 Діафрагмова робота..... 69

8.4.3 Необхідні умови 70

8.4.4 Діафрагми з профільованого алюмінієвого листа 72

8.5 Перфорована обшивка з отворами у формі рівнобічних трикутників 75

9 ГРАНИЧНІ СТАНИ ЗА ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЮ ПРИДАТНІСТЮ..... 76

9.1 Загальні положення..... 77

9.2 Пластична деформація	78
9.3 Прогини.....	78
10 ПРОЄКТУВАННЯ ВУЗЛІВ З МЕХАНІЧНИМИ КРІПІЛЬНИМИ ВИРОБАМИ	78
10.1 Загальні положення	78
10.2 Глухі заклепки	81
10.2.1 <i>Розрахунковий опір заклепкових з'єднань, що працюють на зсув</i>	81
10.2.2 <i>Загальні положення</i>	82
10.2.3 <i>Розрахунковий опір заклепкових з'єднань, що працюють на розтяг</i>	83
10.3 Самонарізальні / самосвердлувальні гвинти	84
10.3.1 <i>Загальні положення</i>	84
10.3.2 <i>Розрахунковий опір гвинтових з'єднань, що працюють на зсув</i>	85
10.3. <i>Розрахунковий опір гвинтових з'єднань, що працюють на розтяг</i>	86
11 РОЗРАХУНОК НА ОСНОВІ ВИПРОБУВАННЯ.....	89
ДОДАТОК А (обов'язковий) МЕТОДИКИ ВИПРОБУВАНЬ	90
A.1 Застосування цього додатка.....	90
A.2 Сфера та область застосування	90
A.3 Випробування профільованих листів.....	90
A.3.1 <i>Загальні положення</i>	90
A.3.2 <i>Випробування одного прогону</i>	91
A.3.3 <i>Випробування двох прогонів</i>	92
A.3.4 <i>Випробування проміжної опори</i>	92
A.3.5 <i>Випробування проміжної опори</i>	96
A.4 Оцінка результатів випробування	96
A.4.1 <i>Загальні положення</i>	96
A.4.2 <i>Уточнення результатів випробування</i>	96
A.4.3 <i>Характеристичні значення</i>	98
A.4.4 <i>Розрахункові значення</i>	100
A.4.5 <i>Експлуатаційна придатність</i>	100
ДОДАТОК В (довідковий) ДОВГОВІЧНІСТЬ КРІПІЛЬНИХ ВИРОБІВ	101
B.1 Застосування цього додатка.....	101
B.2 Сфера та область застосування	101
B.3 Матеріал кріпильних деталей в залежності від корозійного середовища	101
БІБЛІОГРАФІЯ.....	107

прДСТУ EN 1999-1-4:202X

ДОДАТОК НА (довідковий) ПЕРЕЛІК НАЦІОНАЛЬНИХ СТАНДАРТИВ УКРАЇНИ,
ІДЕНТИЧНИХ ЄВРОПЕЙСЬКИМ ТА МІЖНАРОДНИМ НОРМАТИВНИМ ДОКУМЕНТАМ,
ПОСИЛАННЯ НА ЯКІ Є В ЦЬОМУ СТАНДАРТІ..... 111

НАЦІОНАЛЬНИЙ ВСТУП

Цей національний стандарт ДСТУ EN 1999-1-4:202__ (EN 1999-1-4:2023, IDT) «Єврокод 9. Проектування алюмінієвих конструкцій. Частина 1-4. Холодноформовані листи», прийнятий методом перекладу, — ідентичний щодо EN 1999-1-4:2023 (версія en) «Eurocode 9 — Design of aluminium structures — Part 1—4: Cold-formed structural sheeting».

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

Цей стандарт прийнято на заміну ДСТУ-Н Б EN 1999-1-4 «Єврокод 9. Проектування алюмінієвих конструкцій. Частина 1-4. Холодноформовані листи (EN 1999-1-5:2007, 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 1999-1-4:2023

Цей стандарт (EN 1999-1-4:2023) 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 1999-1-4:2007.

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

- деяка реорганізація тексту та приведення його у відповідність з EN 1999-1-1 та іншими Єврокодами;
- нові загальні положення для холоднодеформованих профілів (тобто не тільки для профільованих листів);
- нові положення для розрахункової системи з'єднання листів внапусток з одинарним або подвійним напустком;
- нові правила для трапецієподібних профільованих листів з боковим напустком;
- роз'яснення поведінки діафрагми на кінці будівлі;
- поліпшено формулювання.

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 європейський 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, 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 правил), педагогами, розробниками програмного забезпечення та комітетами, що розробляють стандарти для відповідних виробів, та стандарти на випробування і на виконання.

Примітка. Певні аспекти проектування 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 «Основи будівельного проектування».

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

EN 1999 (усі 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.

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 чутливі 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 1999-1-4

У цьому стандарті наведені загальні розрахункові вимоги до холодноформованих алюмінієвих трапецієподібних листів, що виготовлені з гарячекатаного або холоднокатаного листа або смуги.

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

0.5 Національний додаток до EN 1999-1-4

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 1999-1-4, може містити національний додаток з усіма параметрами, визначеними на національному рівні, необхідними для проектування 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 проекту відповідальними сторонами.

У EN 1999-1-4 національний вибір дозволено у таких пунктах:

4(4)	5.1(3)	9.3(3)	A.4.4(3)
------	--------	--------	----------

У EN 1999-1-5 національний вибір дозволено під час застосування наступних довідкових додатків:

Додаток В.

Національний додаток може містити, безпосередньо або у вигляді посилання, несуперечливу додаткову інформацію для простоти впровадження, за умови, що це не змінює будь-яких положень Єврокодів.

НАЦІОНАЛЬНИЙ СТАНДАРТ УКРАЇНИ

ЄВРОКОД 9.

ПРОЄКТУВАННЯ АЛЮМІНІЄВИХ КОНСТРУКЦІЙ. ЧАСТИНА 1-4. ХОЛОДНОФОРМОВАНІ ЛИСТИ

EUROCODE 9 — DESIGN OF ALUMINIUM STRUCTURES — PART 1—4: COLD-FORMED STRUCTURAL SHEETING

Чинний від 202X-XX-XX

1 СФЕРА ЗАСТОСУВАННЯ

1.1 Сфера застосування EN 1999-1-4

(1) У стандарті EN 1999-1-4 наведено загальні розрахункові вимоги до холодноформованих алюмінієвих трапецієподібних листів. Він поширюється на холодноформовані алюмінієві вироби, виготовлені холодним способом з гарячекатаних або холоднокатаних листів чи смуг шляхом роликового гнуття чи пресування.

Примітка 1. Правила, наведені в цій частині, доповнюють правила, що містяться в інших частинах стандарту EN 1999-1.

Примітка 2. Вимоги до виконання алюмінієвих конструкцій з холодногнутих профілів для покрівлі, стелі, підлоги і стін розглянуто в стандарті EN 1090-5.

(2) У стандарті EN 1999-1-4 наведено методи проєктування з урахуванням роботи обшивки з використанням алюмінієвих профільованих листів в якості конструктивної діафрагми.

(3) Стандарт EN 1999-1-4 не поширюється на холодноформовані алюмінієві профілі, такі як С-, Z- та їм подібні профілі, холодноформовані та зварні круглі чи прямокутні порожнисті профілі.

(4) У стандарті EN 1999-1-4 наведено методи проєктування на основі розрахунків та випробувань. Проєктування на основі розрахунків

використовують тільки для матеріалів з відомими властивостями та геометричними характеристиками, що вже пройшли випробування і досвід проєктування яких вже існує. Ці обмеження не розповсюджуються на проєктування на основі випробувань.

(5) Стандарт EN 1999-1-4 не поширюється на навантаження, що виникають під час зведення та експлуатації.

1.2 Припущення

(1) Проєктування нових конструкцій за EN 1999 передбачає одночасне застосування EN 1990, EN 1991, EN 1992, EN 1993, EN 1994, EN 1995, EN 1997 та EN 1998.

EN 1999 призначений для використання разом з:

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

— EN 1090-1, Execution of steel structures and aluminium structures — Part 1: Requirements for conformity assessment of structural components;

— 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.

НАЦІОНАЛЬНЕ ПОЯСНЕННЯ

EN 1090-1, Виконання сталевих і алюмінієвих конструкцій. Частина 1. Вимоги до оцінки відповідності елементів 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 обґрунтовують 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», «можна») наведено у Бібліографії.

EN 1990 Eurocode — Basis of structural design;

EN 1999-1-1:2023 Eurocode 9 — Design of aluminium structures — Part 1-1: General rules.

НАЦІОНАЛЬНЕ ПОЯСНЕННЯ

EN 1990 Єврокод. Основи проектування конструкцій;

EN 1999-1-1:2003 Єврокод 9. Проектування алюмінієвих конструкцій.

Частина 1-1 Загальні правила

3 ТЕРМІНИ, ВИЗНАЧЕННЯ ПОНЯТЬ ТА ПОЗНАКИ

3.1 Терміни та визначення понять

У цьому стандарті вжито терміни та визначення понять, зазначені в EN 1990, EN 1999-1-1, 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 основний матеріал (*base material*)

Плоский алюмінієвий лист, з якого шляхом холодного формування виготовляють профільовані листи.

3.1.2 умовна границя текучості основного матеріалу (*proof strength of base material*)

0,2 % умовної границі текучості f_0 для основного матеріалу.

3.1.3 діафрагмова робота (*diaphragm action*)

Робота обшивки на зсув у своїй площині.

3.1.4 часткове закріплення (*partial restraint*)

Певне обмеження поперечного або кутового переміщення частини поперечного перерізу, що підвищує його опір втраті стійкості.

3.1.5 закріплення (*restraint*)

Повне обмеження поперечного або кутового переміщення плоскої частини поперечного перерізу, що підвищує його опір втраті стійкості.

3.1.6 відносна гнучкість (*relative slenderness*)

Нормалізована гнучкість, яка враховує властивості матеріалу.

3.1.7 проєктування з урахуванням роботи обшивки (*stressed-skin design*)

Метод проєктування, що враховує внесок діафрагмової роботи обшивки у жорсткість та міцність конструкції.

3.1.8 опора (*support*)

Місце, в якому елемент може передавати сили або моменти на фундамент чи на інші конструктивні елементи.

3.1.9 ефективна товщина (*effective thickness*)

Розрахункове значення товщини для перевірки місцевої втрати стійкості плоскої частини поперечного перерізу.

3.1.10 приведена ефективна товщина (*reduced effective thickness*)

Розрахункове значення товщини для перевірки загальної втрати стійкості з урахуванням елементів жорсткості на другому етапі розрахунку

для тих плоских частин поперечних перерізів, де допущено місцеву втрату стійкості на першому етапі.

3.2 Познаки

У цьому стандарті вжито познаки, зазначені в EN 1999-1-1, а також наведені нижче.

Великі латинські літери

A_g — площа поперечного перерізу бруто;

$A_{g,sh}$ — значення A_g для поперечного перерізу з гострими кутами;

$F_{n,Rd}$ — розрахунковий опір перерізу нетто;

$F_{v,Rk}$ — характеристичний опір зсуву;

$F_{t,Rk}$ — характеристичний опір розтягу;

I_g — момент інерції поперечного перерізу бруто;

$I_{g,sh}$ — значення I_g для поперечного перерізу з гострими кутами;

$R_{p0,2}$ — 0,2 % умовної границі текучості, що передбачена стандартом на виріб;

R_m — гранична міцність на розтяг відповідно до стандарту на матеріал;

S_f, S_w — жорсткість пружного елемента з'єднання листів;

$V_{b,Rd}$ — розрахункове значення опору зсуву.

Рядкові латинські літери

a_{ol} — довжина напустку трапецієподібних профільованих листів;

a_{per} — відстань між центрами перфорацій у листах;

b — загальна ширина полиці;

b_{bu} — ширина будівлі;

b_p — умовна ширина смуги плоскої частини поперечного перерізу;

b_{rib} — крок профілю;

d — діаметр кріпильного елемента;

d_{per} — діаметр перфорацій у листах;

d_w — діаметр шайби або ущільнювальної шайби відповідно або головки кріпильного елемента;

f_{bv} — міцність на зсув з урахуванням втрати стійкості;

$f_{u,\min}$ — менша з граничних міцностей на розтяг з'єднаних частин;

$f_{u,\sup}$ — гранична міцність на розтяг опорного елемента у якому зафіксовано гвинт;

f_y — границя текучості опорного сталевих елемента;

h — загальна висота профілю;

h_a, h_b — відстань від стиснутої полиці до заглиблення, виміряна перпендикулярно до полиці;

h_{bu} — висота колон уздовж будівлі;

h_{sa}, h_{sb} — висота заглиблень в стінках, виміряна перпендикулярно до стінки;

h_w — висота профілю;

k — лінійна жорсткість пружного елемента;

k_f — коефіцієнт жорсткості пружного елемента з'єднання листів;

k_{ol} — коефіцієнт для розрахунку жорсткості пружного елемента з'єднання листів внапусток;

k_{σ} — коефіцієнт втрати стійкості при напруженні стиску;

k_{τ} — коефіцієнт втрати стійкості при напруженні зсуву;

l_a — ефективна довжина обпирання;

n — кількість випробувань;

n_c — кількість кроків між поздовжнім краєм профільованого листа та таким же краєм наступного листа;

n_p — кількість повних кроків подвійного профільованого листа у межах ширини, що дорівнює значенню n_c помноженого на ширину кроку;

$q_{bv,Ed}$ — вертикальне навантаження на одиницю площі, що діє на покриття (сніг, власна вага та стиск від вітру);

$q_{h,Ed}$ — горизонтальне навантаження по довжині, що діє уздовж діафрагми покриття;

r — внутрішній радіус згину;

s_a, s_b — ширина ділянок між заглибленнями в стінках;

s_d — розгорнута загальна похила висота стінки;

s_n — відстань між нейтральною віссю та найближчим заглибленням у стисненій зоні стінки;

s_p — похила висота найбільшої плоскої частини стінки;

s_{per} — похила висота перфорованої частини стінки, центрована відносно висоти стінки;

s_s — довжина обпирання;

s_{sa}, s_{sb} — ширина заглиблень в стінках;

s_w — похила висота стінки, між центрами кутів з'єднання стінки та полиці;

t — розрахункова товщина;

t_{min} — найменша товщина з'єднаних частин чи листів;

t_{nom} — номінальна товщина;

t_{sup} — товщина опорного елемента, в якому зафіксовано гвинт;

v_h — максимальна горизонтальна деформація діафрагми покрівлі обумовлена $q_{h,Ed}$;

x_s — відстань між розгляданим перерізом та шарнірною опорою чи точкою перегину кривої пружного прогину при дії тільки поздовжньої сили.

Великі грецькі літери

θ — поворот.

Рядкові грецькі літери

γ_{M3} — опір з'єднань;

$\bar{\lambda}_{lim}$ — горизонтальна ділянка для втрати стійкості пластиною;

$\bar{\lambda}_p$ — відносна гнучкість пластини;

$\bar{\lambda}_s$ — відносна гнучкість елемента жорсткості;

$\bar{\lambda}_w$ — відносна гнучкість стінки;

μ_{so} — коефіцієнт, який враховує збільшення опору згинальному моменту листів з боковим напустком;

$\sigma_{com,Ed}$ — максимальне стискальне напруження в плоскому елементі або елементі жорсткості;

$\sigma_{cr,sa}$ — пружне згинальне напруження елемента жорсткості;

φ — кут між двома плоскими частинами поперечного перерізу;

ϕ — нахил стінки відносно полиць;

ψ — коефіцієнт співвідношення напружень;

ω_x — коефіцієнт розподілу моменту другого порядку за рахунок осьового зусилля та прогину.

3.3 Геометрія і умовні позначки

3.3.1 *Форми поперечних перерізів*

(1) Холодноформовані листи, в межах дозволених допусків, мають постійну товщину, однакову по всій довжині і постійний поперечний переріз по усій довжині.

(2) Поперечний переріз холодноформованих профільованих листів складений з декількох плоских частин поперечного перерізу з'єднаних криволінійними частинами.

(3) Приклад типових форм поперечного перерізу холодноформованих профільованих листів показано на рисунку 3.1.

(4) Поперечні перерізи холодноформованих профільованих листів можуть бути непідкріпленими чи мати поздовжні елементи жорсткості в своїх стінках та/або полицях.

3.3.2 *Форми елементів жорсткості*

(1) Типові форми елементів жорсткості холодноформованих листів показано на рисунку 3.2.

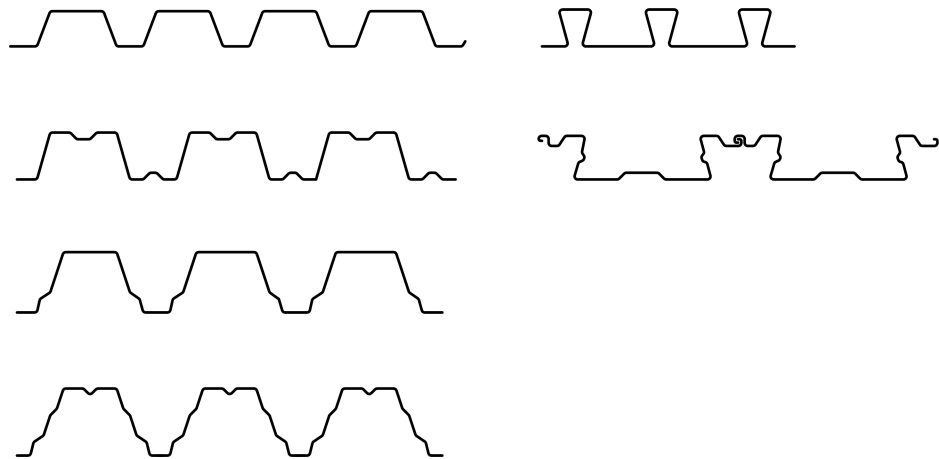
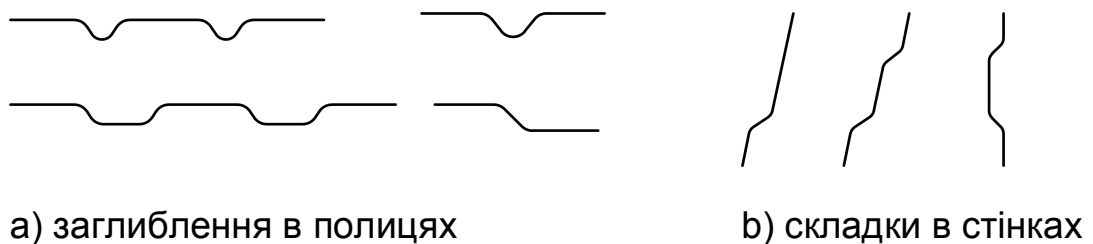


Рисунок 3.1 — Приклади холодноформованих профільованих листів



а) заглиблення в полицях

б) складки в стінках

Рисунок 3.2 — Типові проміжні поздовжні елементи жорсткості

3.3.3 *Форми поперечних перерізів*

(1) Габаритні розміри холодноформованих листів, що охоплюють габаритну ширину b , габаритну висоту h , внутрішній радіус згину r та інші зовнішні розміри, позначені символами без індексів, вимірюють до зовнішнього краю перерізу, якщо не вказано інше, див. рисунок 7.1.

(2) Якщо не вказано інше, усі інші розміри поперечного перерізу холодноформованих листів, позначені символами з індексами, такі як b_p , h_w або s_w , вимірюють або до серединної лінії листа, або до середини кута.

(3) Для похилих стінок в холодноформованих профільованих листах, похилу висоту s вимірюють паралельно до ухилу.

(4) Розгорнуту висоту стінки вимірюють вздовж її серединної лінії,

включно з будь-якими елементами жорсткості стінки.

(5) Розгорнуту ширину полиці вимірюють вздовж її серединної лінії, включно з будь-якими проміжними елементами жорсткості.

(6) Товщина t — розрахункова товщина алюмінію, якщо не вказано інше. Див. 5.2.2.

3.3.4 Умовні позначки осей

(1) Для профільованих листів у цьому стандарті використано наступні умовні позначки:

- y — y вісі, паралельні до площини листів;
- z — z вісі, перпендикулярні до площини листів.

4 ОСНОВИ ПРОЄКТУВАННЯ

(1) Проєктування холодноформованих листів потрібно виконувати згідно з основними вимогами, викладеними у EN 1990 та EN 1999-1-1.

(2) Відповідні часткові коефіцієнти потрібно приймати для граничних станів за несною здатністю та граничних станів експлуатаційної придатності.

(3) Під час розрахунку граничних станів за несною здатністю часткові коефіцієнти γ_M потрібно приймати наступним чином:

- частковий коефіцієнт опору втраті стійкості поперечних перерізів та елементів: γ_{M1} ;
- частковий коефіцієнт опору поперечних перерізів руйнуванню під час розтягу: γ_{M2} ;
- частковий коефіцієнт опору з'єднань: γ_{M3} .

Примітка. Значення γ_{M1} та γ_{M2} наведено у EN 1999-1-1. Для з'єднань холодноформованих листів $\gamma_{M3} = \gamma_{M2}$.

(4) Під час проєктування конструкцій, рекомендовано розрізняти

«класи конструкцій», виходячи з рівня внеску холодноформованих алюмінієвих елементів чи листів у міцність та стійкість конструкції в цілому або окремих конструктивних елементів. Ці класи конструкцій пов'язані з різними вимогами у відповідних стандартах на продукцію та виконання робіт для холодноформованих алюмінієвих елементів та листів, і визначаються наступним чином:

Клас конструкцій I: Конструкції, в яких враховано роботу холодноформованих елементів чи листів для забезпечення міцності та стійкості усєї конструкції;

Клас конструкцій II: Конструкції, в яких враховано роботу холодноформованих елементів чи листів для забезпечення міцності та стійкості окремих частин конструкції;

Клас конструкцій III: Конструкції, в яких холодноформовані елементи чи листи використано тільки як елементи, що передають навантаження на конструкцію. Листи та сандвіч-панелі для класу конструкцій III можуть бути поділені на:

- конструкційні та;
- неконструкційні.

Примітка 1. Допустиме застосування неконструкційних холодноформованих листів для класу конструкцій III може бути наведено у національному додатку.

Примітка 2. EN 1090-1 та EN 1090-5 охоплюють вимоги до виконання конструкційних листів та холодноформованих елементів. EN 14782 поширюється на неконструкційні холодноформовані листи для класу конструкцій III.

(5) Прогони, запроектовані як частина в'язевої системи основної конструкції (наприклад, стиснуті елементи, розпірки, затяжки), дозволено посилювати листами класу конструкцій II.

(6) Розподіл на класи конструкцій рекомендовано виконувати для листів в залежності від їх впливу на загальну конструкцію та безпосередньо опорних елементів.

5 МАТЕРІАЛИ

5.1 Загальні положення

(1) Методи проєктування шляхом розрахунків, наведені в цьому стандарті, рекомендовано використовувати для конструкційних сплавів зі станами за методом зміцнення, вказаними у таблиці 5.1.

(2) Для проєктування шляхом розрахунків згідно цього стандарту, значення 0,2 % умовної границі текучості f_o рекомендовано приймати принаймні $f_o = 135 \text{ Н/мм}^2$.

(3) Алюмінієві листи та смуги, використані для холодноформованих профільованих листів, мають бути придатними для конкретних поперечних перерізів в залежності від процесу холодного формування.

Примітка. Інші алюмінієві матеріали та вироби можна знайти у національному додатку.

5.2 Алюмінієві конструкційні сплави

5.2.1 Властивості матеріалу

(1) Щоб перевірити розрахунок, властивості матеріалу, наведені в цьому розділі, рекомендовано враховувати як характеристичні значення.

Примітка. Характеристичні значення 0,2% умовної границі текучості f_o та міцності на розтяг f_u , розраховані шляхом прийняття мінімальних значень $R_{p0,2}$ та R_m згідно з відповідними стандартами на вироби.

(2) Можна припустити, що для роботи на стиск ці властивості такі ж самі як і при роботі на розтяг.

(3) Якщо частковий пластичний момент опору враховано, то відношення характеристичної граничної міцності на розтяг f_u до характеристичної 0,2% умовної границі текучості f_o має бути не нижчим за 1,2.

(4) Фізичні властивості матеріалу (модуль пружності тощо)

рекомендовано приймати за EN 1999-1-1.

Таблиця 5.1 — Характеристичні значення 0,2% умовної границі текучості f_o , граничної міцності на розтяг f_u , та відносного подовження A_{50} для листів та смуг для станів обробки з $f_o \geq 135$ Н/мм² і товщиною від 0,5 до 6 мм

Числові позначки EN AW-	Хімічні позначки EN AW-	Ступінь довговічності ^e	Стани обробки ^{a, b, c}	Товщина до мм	f_u R_m Н/мм ²	f_o $R_{p0,2}$ ^a Н/мм ²	A_{50} % ^d
3003	AlMn1Cu	A	H16 H26	4,0	170	150 140	2 3
			H18	3,0	190	170	2
			H46	3,0	165	140	3
			H48	3,0	180	165	2–3
3004	AlMn1Mg1	A	H12 H22/H32	6,0	190	155 145	3–5 5–7
			H14 H24/H34	6 3	220	180 170	2–3 4
			H16 H26/H36	4 3	240	200 190	1–2 3
			H18 H28/H38	3 1,5	260	230 220	1–2 3
			H43	3	195	160	4–5
			H44	3	210	180	4
			H46	3	230	200	3
			H48	3	260	220	3
3005	AlMn1Mg0,5	A	H14	6,0	170	150	2–3
			H16	4	195	175	2
			H18 H28	3	220	200 190	2 2–3
			H44	3	165	135	3–4
			H46	3	185	160	2–3
			H48	3	210	180	2
3103	AlMn1	A	H16 H26	8 4	160	145 135	2 3
			H18	3	185	165	2
			H46	3	160	140	3
			H48	3	180	160	2–3

Продовження таблиці 5.1

Числові позначки EN AW-	Хімічні позначки EN AW-	Ступінь довговіч- ності ^e	Стани обробки a, b, c	Товщина до мм	f_u R_m Н/мм ²	f_o $R_{p0,2}$ ^a Н/мм ²	A_{50} % ^d
3105	AlMn0,5Mg 0, 5	A	H16 H26	3	175	160 150	2 3
			H18 H28	3 1,5	195	180 170	1 2
			H46	3	175	150	2–3
			H48	3	195	170	2
5005	AlMg1(B)	A	H16 H26/H36	4,0	165	145 135	2–3 3–4
			H18	3	185	165	2
			H46	3	165	135	3–4
			H48	3	185	160	2–3
5052	AlMg2,5	A	H12	6,0	210	160	5–8
			H14 H24/H34	6	230	180 150	3–4 5– 7
			H16 H26/H36	6	250	210 180	3 4–6
			H18 H28/H38	3	270	240 210	2 3–4
			H44	3	230	150	5–6
			H46	3	250	180	4–5
			H48	3	270	210	3–4
			H12	6	190	150	4–8
5251	AlMg2Mn0, 3	A	H12	6	190	150	4–8
			H14 H24/H34	6	210	170 140	2–4 5–8
			H16 H26/H36	4	230	200 170	2–3 4–7
			H18 H28/H38	3	255	230 200	2 3
			H46	3	210	165	4–5
			H48	3	250	215	3
6025–7072 alclad f	AlMg2,5Si Mn Cu- AlZn1 alclad f	A	H32	5	180	135	2–4
			H34	5	210	165	2–3
			H36	5	220	185	2–4
			H42	3	180	135	3–4
			H46	3	220	185	3–4

Кінець таблиці 5.1

a	Значення станів обробки H1x, H2x, H3x відповідно до EN 485-2:2016+A1:2018.
b	Значення станів обробки H4x (рулонні листи з покриттям та смуги) відповідно до EN 1396:2015.
c	Якщо в одному рядку наведено два (три) стани обробки, то стани, розділені « » мають різні значення технічних характеристик, а стани, розділені «/» мають однакові значення. (Стани обробки відрізняються значеннями f_0 та A_{50} .)
d	A_{50} може залежати від товщини матеріалу у заданих межах, тому іноді також задають межі для A_{50} .
e	Ступінь довговічності наведено у EN 1999-1-1.
f	EN AW-6025-7072 альклед (EN AW-AlMg ₂ , 5SiMnCu-AlZn ₁ альклед) це композитний матеріал з серцевиною EN AW-6025 та облицюванням з обох боків EN AW-7072. З міркувань довговічності товщина облицювання має становити не менше 4% від загальної товщини матеріалу з кожного боку. Якщо товщина облицювання перевищує 5%, цей факт рекомендовано враховувати під час розрахунку конструкції, тобто враховувати тільки товщину серцевини композитного листа. З цих причин мінімальна товщина облицювання в 4% і мінімальна товщина серцевини мають бути вказані в Технічному завданні на виконання, щоб підрядник міг придбати відповідні комплектувальні вироби з сертифікатом перевірки 3.1.

5.2.2 Товщина та геометричні допуски

(1) Положення щодо проєктування шляхом розрахунків, наведені в EN 1999-1-4, дозволено використовувати у заданих межах номінальної товщини листів t_{nom} , без урахування органічних покриттів: $t_{nom} \geq 0,5\text{мм}$.

(2) Номінальну товщину t_{nom} рекомендовано використовувати як розрахункову товщину t якщо від'ємний відхил є меншим за 5 %. В іншому випадку рекомендовано використовувати:

$$t = t_{nom}(100 - |dev|)/95 \quad (5.1)$$

де

dev — від'ємний відхил у %.

Примітка. Допуски для покрівельних виробів наведені у EN 508-2.

5.3 Механічні кріпильні вироби

(1) Можна використовувати наступні типи механічних кріпильних виробів:

— гвинти такі як самонарізальні гвинти або самосвердлувальні гвинти згідно зі стандартами, що наведені в 10.3;

— глухі заклепки відповідно до стандартів, що наведені в 10.2.

(2) Характеристичний опір зсуву $F_{v,Rk}$ та характерний опір розтягу $F_{t,Rk}$ механічних кріпильних елементів рекомендовано розраховувати відповідно до 10.2 та 10.3.

(3) Для отримання докладної інформації про відповідні самонарізальні та самосвердлувальні гвинти і глухі заклепки рекомендовано керуватися стандартом EN 1090-5.

(4) Характеристичний опір зсуву та характерний опір розтягу механічних кріпильних деталей, що не наведені в даному стандарті, дозволено отримати з сертифікатів ETA.

6 ДОВГОВІЧНІСТЬ

(1) Основні вимоги до довговічності, яких потрібно дотримуватися, наведені в стандарті EN 1999-1-1.

(2) Особливу увагу рекомендовано приділити випадкам, коли розглядають спільну роботу різних матеріалів, особливо якщо їхній електрохімічний склад може спровокувати появу корозії.

Примітка. Корозійна стійкість механічних кріпильних виробів за категоріями корозійної стійкості до навколишнього середовища наведена в додатку В EN ISO 9223.

(3) Також до уваги рекомендовано прийняти природні умови, що переважали з моменту виробництва, включно з транспортуванням та зберіганням на складальному майданчику.

7 КОНСТРУКЦІЙНИЙ РОЗРАХУНОК

7.1 Вплив заокруглених кутів

(1) У поперечних перерізах із заокругленими кутами умовну ширину смуги b_p плоскої частини поперечного перерізу рекомендовано вимірювати

від середніх точок прилеглих кутових частин поперечного перерізу, як показано на рисунку 7.1.

(2) У поперечних перерізах з заокругленими кутами, обчислення геометричних характеристик перерізу рекомендовано визначати на базі на реальних геометричних даних поперечного перерізу.

(3) Якщо не використано більш відповідні методи обчислення площі поперечного перерізу, дозволено використати наступну приблизну процедуру. Якщо внутрішній радіус не перевищує $r \leq 10t$ та $r \leq 0,15b_p$ можна не враховувати вплив заокруглення кутів, і площу поперечного перерізу можна обчислювати як для такого, що має гострі кути.

(4) Вплив заокруглених кутів на геометричні характеристики перерізу, дозволено враховувати шляхом приведення площі, обчисленої для такого ж з гострими кутами та використовуючи наступні припущення за (7.1), (7.2) та (7.3):

$$A_g \approx A_{g,sh}(1 - \delta) \quad (7.1)$$

$$I_g \approx I_{g,sh}(1 - 2\delta) \quad (7.2)$$

3

$$\delta = 0,43 \cdot \sum_{j=1}^n (r_j \phi_j / 90) / \sum_{i=1}^m b_{p,i} \quad (7.3)$$

Національна примітка

У формулі допущено технічну помилку. Замість ϕ має бути φ .

де

A_g — площа перерізу брутто;

$A_{g,sh}$ — значення A_g для поперечного перерізу з гострими кутами;

$b_{p,i}$ — умовна ширина смуги i -тої плоскої частини поперечного перерізу для поперечного перерізу з гострими кутами;

I_g — момент інерції поперечного перерізу брутто;

$I_{g,sh}$ — значення I_g для поперечного перерізу з гострими кутами;

φ — кут між двома плоскими елементами (в градусах);

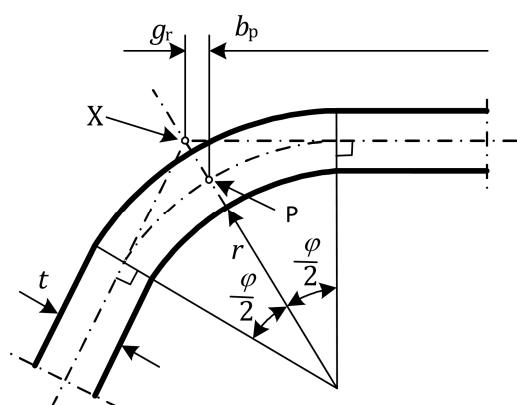
m — кількість плоских частин поперечного перерізу;

n — кількість криволінійних частин поперечного перерізу без урахування кривизни елементів жорсткості на стінках та полицях;

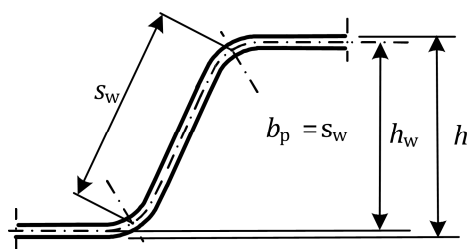
r_j — внутрішній радіус заокругленої частини перерізу.

(5) Наведені у формулі (7.1) скорочення можна також застосувати до розрахунків властивостей характеристик ефективних перерізів A_{eff} та $I_{y,\text{eff}}$ відповідно до 8.1, за умови що приведена умовна ширина смуги плоских частин поперечних перерізів виміряна до точок перетину їх серединних ліній.

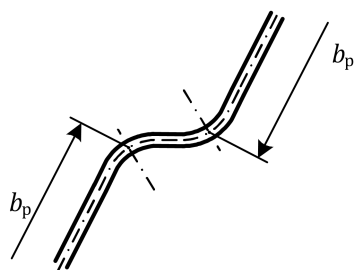
(6) Якщо внутрішній радіус більший за $r \geq 0,04tE/f_o$, то опір згинальному моменту поперечного перерізу рекомендовано визначати шляхом випробувань.



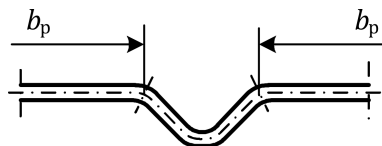
(а) середина кута чи згину



б) умовна ширина смуги b_p для стінки



в) умовна ширина смуги b_p плоских частин, що прилягають до складок



д) умовна ширина смуги b_p плоских частин, що прилягають до заглиблень

Рисунок 7.1 — Умовна ширина смуги плоских частин поперечного перерізу b_p з урахуванням радіусів кутів

Умовні позначки:

X — точка перетину середніх ліній;

P — середина кута;

$$r_m = r + t/2;$$

$$g_r = r_m \left(\tan \left(\frac{\phi}{2} \right) - \sin \left(\frac{\phi}{2} \right) \right);$$

Національна примітка

У формулі допущено технічну помилку. Замість ϕ має бути φ .

b_p — плоска частина поперечного перерізу.

Рисунок 7.1 — Аркуш 2

7.2 Геометричні пропорції

(1) Наведені в цьому стандарті положення, що стосуються проєктування шляхом розрахунків, не рекомендовано застосовувати до поперечних перерізів, що перевищують наведені нижче межі відношень ширини до товщини b/t та s_w/t :

— для стиснутих полиць $b/t \leq 300$;

— для стінок $s_w/t \leq 0,5E/f_o$.

(2) Границями b/t та s_w/t наведеними у параграфі (1), дозволено описувати область, для якої вже існує достатній досвід та можливість перевірки за допомогою випробувань.

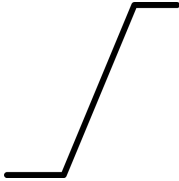
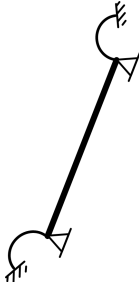
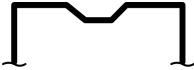
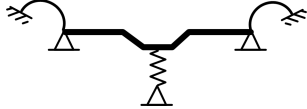
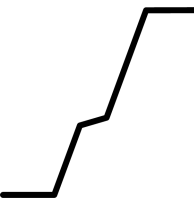
(3) Поперечні перерізи з більшими співвідношеннями «товщина/ширина», також можна використовувати, за умови, що їх опір при граничних станах за несною здатністю та їх поведінку при граничних станах експлуатаційної придатності підкріплено випробуваннями та/чи розрахунками, що підтверджені відповідною кількістю випробувань.

7.3 Моделювання несної конструкції для розрахунку

(1) Плоскі частини поперечного перерізу для розрахунку можна моделювати як показано в таблиці 7.1.

(2) Також рекомендовано врахувати спільний вплив декількох

Таблиця 7.1 — Моделювання плоских частин поперечного перерізу

Тип частини поперечного перерізу	Модель
	
	
	
	

7.4 Жолоблення полиць

(1) Вплив жолоблення (тобто вигину всередину відносно нейтральної площини) на несну здатність дуже широкої полиці в профілі, що піддається згину, або початково вигнутого профілю, що піддається згину, в якого увігнута сторона знаходиться в стані стиску, слід враховувати, якщо такий вигин перевищує 5% висоти поперечного перерізу профілю.

(2) Якщо жолоблення перевищує 5% висоти поперечного перерізу профілю, рекомендовано враховувати зменшення несної здатності профілю, наприклад, через зменшення плеча внутрішнього моменту для частини широкої полиці, а також можливий вплив згину.

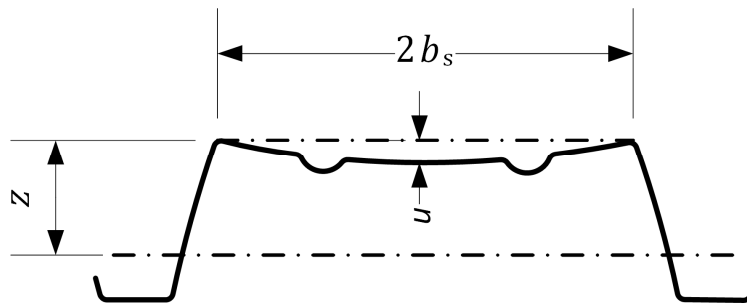


Рисунок 7.2 — Жолоблення полиць

(3) Розрахунок жолоблення можна виконати наступним чином, як для стиснутих так і для розтягнутих полиць, з елементами жорсткості та без них, але без близько розташованих поперечних елементів жорсткості в полицях:

— для профілю, що не був зігнутим до прикладання навантаження (див. рисунок 7.2), рекомендовано використовувати формулу (7.4):

$$u = \frac{2\sigma_a^2 b_s^4}{E^2 t^2 z} \quad (7.4)$$

— для попередньо зігнутого профілю слід використовувати формулу (7.5):

$$u = \frac{2\sigma_a b_s^4}{E t^2 r} \quad (7.5)$$

де

u — прогин полиці відносно нейтральної осі (жолоблення), див. рисунок 7.2;

b_s — половина відстані між стінками;

z — відстань від розгляданої полиці до нейтральної осі профілю;

r — радіус кривизни попередньо зігнутого профілю;

σ_a — середнє напруження у полиці, обчислене за площею бруто.

(4) Якщо напруження обчислено для ефективного поперечного перерізу, то середнє напруження можна отримати шляхом множення напруження ефективного поперечного перерізу на відношення ефективної площі перерізу до загальної площі полиці.

7.5 Місцева та загальна втрата стійкості

7.5.1 Розрахункові значення напружень

(1) Для визначення опору та жорсткості холодноформованих листів рекомендовано враховувати вплив місцевої та загальної втрати стійкості.

(2) Вплив місцевої втрати стійкості дозволено враховувати шляхом використання характеристик ефективного поперечного перерізу, обчислених на основі ефективної товщини, див. EN 1999-1-1.

(3) Для визначення опору місцевій втраті стійкості, рекомендовано використовувати 0,2 % умовної границі текучості f_0 .

Примітка 1. Для перевірки характеристик ефективного поперечного перерізу за експлуатаційною придатністю див. 9.1(3).

Примітка 2. Загальна втрата стійкості частин поперечного перерізу з проміжними елементами жорсткості розглянута в 7.5.3.

7.5.2 Плоскі частини поперечних перерізів без елементів жорсткості

(1) Ефективну товщину t_{eff} для стиснутих частин поперечного перерізу рекомендовано обчислювати як $t_{\text{eff}} = \rho \cdot t$, де ρ — понижувальний коефіцієнт, що враховує місцеву втрату стійкості.

(2) Умовну ширину смуги b_p плоскої частини поперечного перерізу рекомендовано обчислювати згідно з 7.1. Для плоских частин поперечного перерізу похилої стінки рекомендовано використовувати відповідну похилу висоту.

(3) Понижувальний коефіцієнт ρ , для визначення t_{eff} рекомендовано визначати, ґрунтуючись на найбільшому напруженні стиску $\sigma_{\text{com,Ed}}$ у відповідній частині поперечного перерізу (обчисленому на основі ефективного поперечного перерізу), при досягненні найбільшого опору перерізу.

(4) Якщо $\sigma_{\text{com,Ed}} = f_o / \gamma_{M1}$, то понижувальний коефіцієнт ρ рекомендовано обчислювати за формулами (7.6), (7.7) та (7.8):

$$\text{— якщо } \bar{\lambda}_p \leq \bar{\lambda}_{\text{lim}}: \rho = 1, \quad (7.6)$$

$$\text{— якщо } \bar{\lambda}_p > \bar{\lambda}_{\text{lim}}: \rho = \alpha(1 - 0,22/\bar{\lambda}_p)/\bar{\lambda}_p \quad (7.7)$$

в якому гнучкість пластини $\bar{\lambda}_p$ обчислено наступним чином:

$$\bar{\lambda}_p = \sqrt{\frac{f_o}{\sigma_{\text{or}}}} = \frac{b_p}{t} \cdot \sqrt{\frac{12(1 - \nu^2)f_o}{\pi^2 E K_\sigma}} \cong 1,052 \frac{b_p}{t} \sqrt{\frac{f_o}{E K_\sigma}} \quad (7.8)$$

Національна примітка

У формулі допущено технічну помилку. Замість K_σ має бути k_σ .

де

k_σ — відповідний коефіцієнт втрати стійкості з таблиці 7.3.

Параметри $\bar{\lambda}_{\text{lim}}$ та α , рекомендовано приймати за таблицею 7.2.

Таблиця 7.2 — Параметри $\bar{\lambda}_{\text{lim}}$ та α

$\bar{\lambda}_{\text{lim}}$	α
0,517	0,90

(5) Якщо $\sigma_{\text{com,Ed}} < f_o / \gamma_{M1}$, то понижувальний коефіцієнт ρ дозволено визначати наступним чином: можна використати формули (7.6) та (7.7), але із заміною гнучкості пластини $\bar{\lambda}_p$ на приведену гнучкість пластини $\bar{\lambda}_{p,\text{red}}$, що наведена в формулі (7.9):

$$\bar{\lambda}_{p,\text{red}} = \bar{\lambda}_p \sqrt{\frac{\sigma_{\text{com,Ed}}}{f_o / \gamma_{M1}}} \quad (7.9)$$

Примітка. Для розрахунку ефективної жорсткості у граничному стані за експлуатаційною придатністю див. 9.1(3).

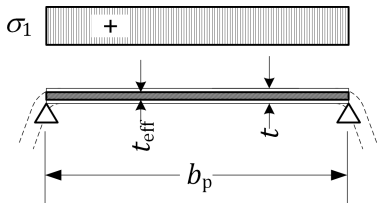
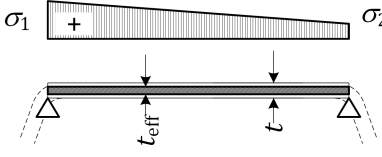
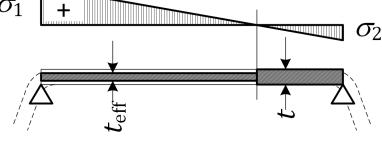
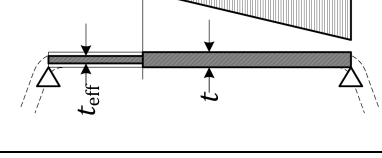
(6) Для визначення ефективної товщини полиці поперечного перерізу під впливом змінного напруження, коефіцієнт напружень ψ , застосований у таблиці 7.3, дозволено обчислювати на основі характеристик поперечного

перерізу бруто.

(7) Для визначення ефективної товщини стінки поперечного перерізу, коефіцієнт напружень ψ , застосований у таблиці 7.3, дозволено обчислювати на основі площі стиснутої полиці і площі стінки. При цьому площа полиці — ефективна, а площа стінки — бруто.

(8) За бажанням характеристики ефективного перерізу дозволено уточнювати шляхом ітеративного повторення параграфів (6) та (7), але з використанням вже знайденого ефективного поперечного перерізу замість поперечного перерізу бруто. Мінімальна кількість ітерацій, для роботи зі змінним напруженням — дві.

Таблиця 7.3 — Коефіцієнт втрати стійкості k_σ для стиснутих частин поперечного перерізу

Частина поперечного перерізу (+ = стиск)	$\psi = \sigma_2/\sigma_1$	Коефіцієнт втрати стійкості k_σ
	$\psi = +1$	$k_\sigma = 4,0$
	$+1 > \psi \geq 0$	$k_\sigma = \frac{8,2}{1,05 + \psi}$
	$0 > \psi \geq -1$	$k_\sigma = 7,81 - 6,29\psi + 9,78\psi^2$
	$-1 > \psi \geq -3$	$k_\sigma = 5,98(1 - \psi^2)$

7.5.3 Плоскі частини поперечних перерізів з проміжними елементами жорсткості

7.5.3.1 Загальні положення

(1) Проектування стиснутих частин поперечного перерізу з проміжними елементами жорсткості рекомендовано виконувати на припущенні, що елемент жорсткості поводить себе як стиснутий елемент з неперервним частковим защемленням та підкріпленням у вигляді пружини, жорсткість якої залежить від граничних умов та жорсткості на згин прилеглих плоских частин поперечного перерізу.

(2) Жорсткість пружного елемента рекомендовано визначати шляхом прикладення одиничного вантажу u , як показано на рисунку 7.3. Жорсткість пружного елемента k на одиницю довжини можна визначати за формулою (7.10):

$$k = u/\delta \quad (7.10)$$

де

δ — прогин поперечної смуги з пластини під одиничним вантажем u , що діє на центр ваги ефективної частини елемента жорсткості.

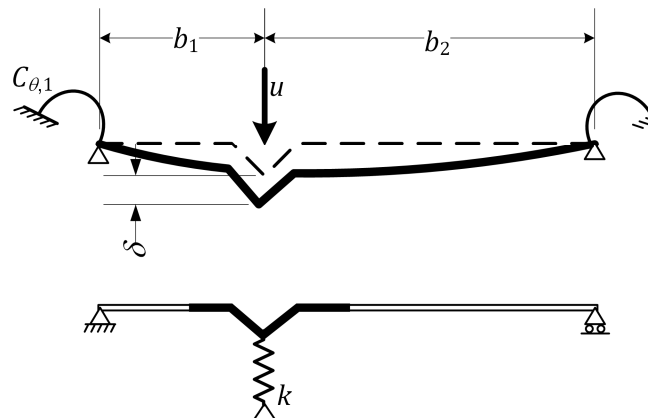


Рисунок 7.3 — Модель для визначення жорсткості пружного елемента

(3) Для визначення значення кутової жорсткості пружного елемента $C_{\theta,1}$ та $C_{\theta,2}$, виходячи з геометрії поперечного перерізу, рекомендовано звернути увагу на можливий вплив інших елементів жорсткості, присутніх у даному поперечному перерізі, або у будь-якій іншій частині поперечного перерізу, що піддається стиску.

(4) Для консервативного розрахунку (у запас) значення кутової жорсткості пружного елемента $C_{\theta,1}$ та $C_{\theta,2}$ для проміжного елемента жорсткості дозволено приймати рівними нулю, а прогин δ дозволено обчислювати за формулою (7.11):

$$\delta = \frac{ub_1^2b_2^2}{3(b_1 + b_2)} \frac{12(1 - \nu^2)}{Et^3} \quad (7.11)$$

(5) Понижувальний коефіцієнт X_d для загальної втрати стійкості елемента жорсткості (втрата стійкості при згині проміжного елемента жорсткості) рекомендовано обчислювати з таблиці 7.4 для відносної гнучкості відповідно до формули (7.12):

$$\bar{\lambda}_s = \sqrt{f_o / \sigma_{cr,s}} \quad (7.12)$$

де

$\sigma_{\chi\rho,\sigma}$ — критичне пружне напруження для елемента жорсткості з 7.5.3.2 чи 7.5.4.2.

Таблиця 7.4 —Понижувальний коефіцієнт X_d при загальній втраті стійкості елементів жорсткості

$\bar{\lambda}_s$	X_d
$\bar{\lambda}_s \leq 0,25$	1,00
$0,25 < \bar{\lambda}_s \leq 1,04$	$1,55 - 0,62\bar{\lambda}_s$
$1,04 \leq \bar{\lambda}_s$	$0,53/\bar{\lambda}_s$

7.5.3.2 Методика розрахунку

(1) Методика розрахунку наведена в 7.5.3.2 застосовна для одного чи двох рівних проміжних елементів жорсткості, що утворені заглибленнями чи вигинами, за умови, що всі плоскі частини розраховано виходячи з 7.5.2.

(2) Елементи жорсткості мають бути однакової форми і їх має бути не більше ніж два. У випадку більшої кількості елементів жорсткості рекомендовано враховувати тільки два.

(3) Якщо виконано умови (1) і (2), ефективність елемента жорсткості

дозволено визначати відповідно до наступної процедури.

(4) Поперечний переріз проміжного елемента жорсткості має бути складений з самого елемента та прилеглих ефективних відрізків плоских частин поперечного перерізу $b_{p,1}$ та $b_{p,2}$, як показано на рисунку 7.4.

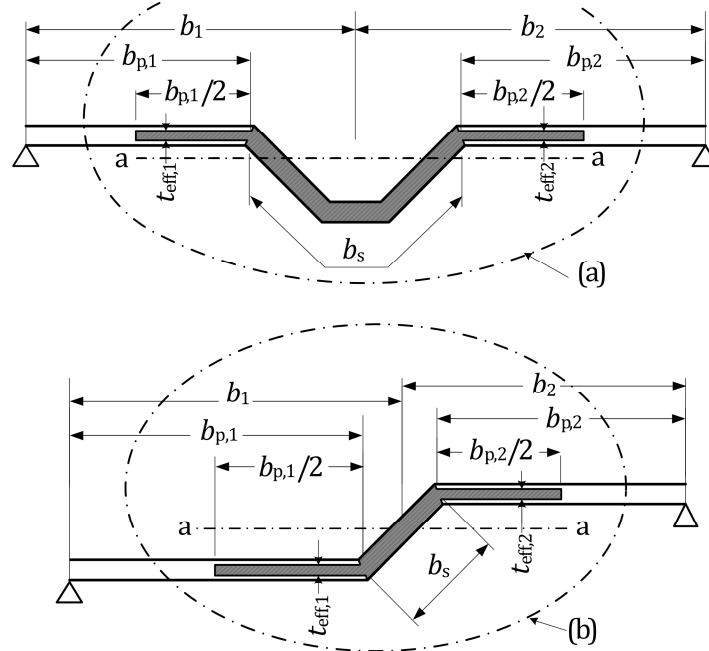


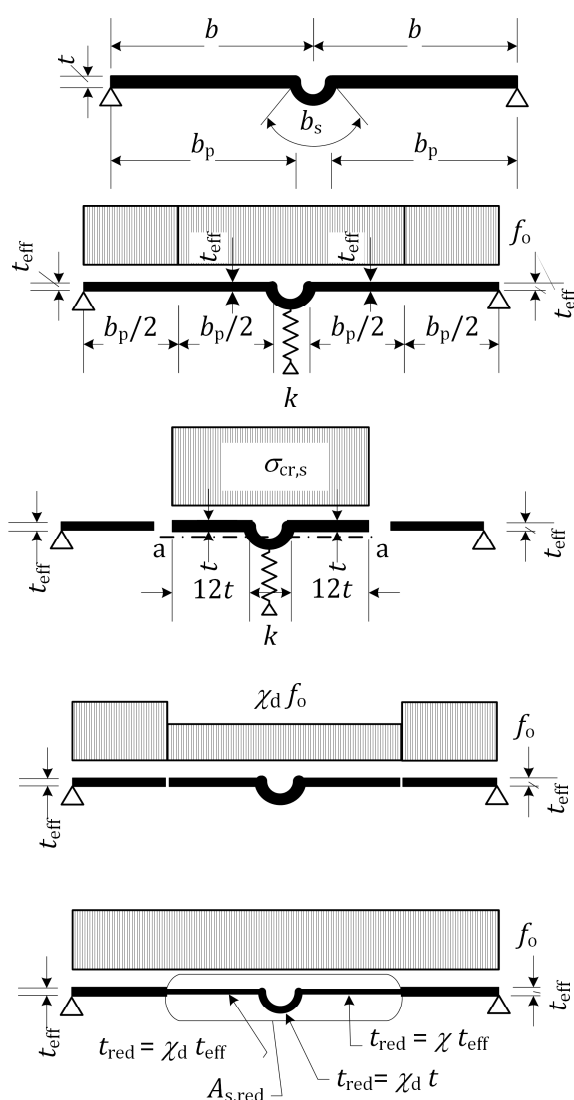
Рисунок 7.4 —Площа початкового ефективного поперечного перерізу A_s для проміжних елементів жорсткості (a) полиці та (b) стінки

(5) Процедуру, зображену на рисунку 7.5, рекомендовано виконувати поетапно, як вказано далі:

- Етап 1: Визначити початковий ефективний поперечний переріз для елемента жорсткості, щоб розрахувати площу перерізу A_s , з використанням ефективної товщини, за умови, що елемент жорсткості має поздовжню опору, та що f_o використано для обчислення ефективної частини, див. параграфи (6) та (7);
- Етап 2: Використати інший ефективний поперечний переріз елемента жорсткості для обчислення моменту інерції ефективного поперечного перерізу відповідно до рисунку 7.6, щоб визначити понижувальний коефіцієнт загальної втрати стійкості, з урахуванням безперервного пружного підкріплення, див. параграфи (8) та (9);
- Етап 3: Для визначення характеристик ефективного перерізу,

приведену ефективну площу $A_{s,red}$ рекомендовано визначати з використанням приведеної товщини $t_{red} = tA_{s,red}/A_s$ для усіх частин поперечного перерізу, що входять в A_s ;

— Етап 4: Ефективну ширину стиснутих частин стінок рекомендовано визначати ґрунтуючись на центрі ваги GC1 для перерізу, що складений з ефективного поперечного перерізу стиснутої полиці з Етапу 3 та поперечного перерізу бруто решти перерізу. Це є ефективний поперечний переріз всього перерізу з фінальним центром ваги GC2.



а) поперечний переріз бруто та граничні умови для стиснутої полиці.

б) Етап 1: Ефективна товщина для $k = \infty$, що ґрунтується на границі f_0 .

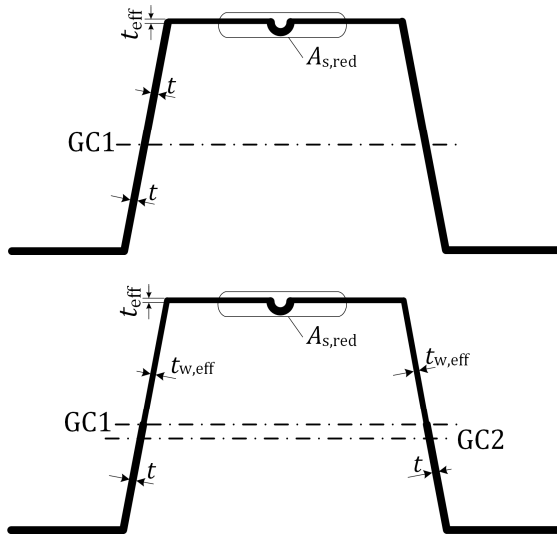
Для граничного стану експлуатаційної придатності замінити f_0 на $0,6f_0$. Див. розділ 9.

в) Етап 2: Критичне пружне напруження $\sigma_{cr,s}$ для ефективного поперечного перерізу, що ґрунтується на ефективній площі A_s , моменті інерції I_s , відповідно до рисунку 7.6 та жорсткості пружного елемента k .

г) Приведена міцність $\chi_d f_0$ для ефективного перерізу елемента жорсткості A_s з понижувальним коефіцієнтом χ_d , що ґрунтується на $\sigma_{cr,s}$. Для граничного стану експлуатаційної придатності $\chi_d = 1,0$.

е) Етап 3: Прийняти ефективний поперечний переріз $A_{s,red}$ з приведеною товщиною $t_{red} = \chi_d t$ для елемента жорсткості та приведеної ефективної товщини $\chi_d t_{eff}$ для прилеглих плоских частин.

Рисунок 7.5 — Модель для розрахунку опору стиску полиці з проміжним елементам жорсткості та ефективний переріз повного поперечного перерізу



f) Центр ваги GC1 для поперечного перерізу, що складений з ефективної площі полиці відповідно до Етапу 3 та поперечного перерізу бруто решти перерізу.

g) Етап 4: Ефективні товщини стиснених частин стінок відповідно до 7.5.4.3, що ґрунтуються на GC1 з f) є ефективним поперечним перерізом всього перерізу з фінальним центром ваги GC2.

Рисунок 7.5 — Аркуш 2

(6) Початкове значення ефективної товщини t_{eff} , що показано на рисунку 7.4, рекомендовано визначати за 7.5.2, припускаючи, що частини плоского поперечного перерізу b_p мають подвійну опору, див. таблицю 7.1.

(7) Ефективну площу поперечного перерізу проміжного елемента жорсткості A_s рекомендовано обчислювати за формулою (7.13):

$$A_s = t_{eff}b_p/2 + tb_s + t_{eff}b_p/2 \quad (7.13)$$

(8) Критичне напруження при поздовжньому згині $\sigma_{cr,s}$ для проміжного елемента жорсткості рекомендовано обчислювати за формулою (7.14):

$$\sigma_{cr,s} = \frac{2\sqrt{kEI_s}}{A_s} \quad (7.14)$$

де

k — жорсткість пружного елемента на одиницю довжини, див. 7.5.3.1(2);

I_s — ефективний момент інерції елемента жорсткості, з використанням товщини t та умовної ефективної ширини, рівної $12t$ прилеглої плоскої частини поперечного перерізу, навколо центральної осі $a - a$ її ефективного поперечного перерізу, див. рисунок 7.6(а).

(9) Понижувальний коефіцієнт χ_d для опору загальній втраті стійкості проміжного елемента жорсткості рекомендовано обчислювати зі значення

$\sigma_{cr,s}$, використовуючи метод наведений в 7.5.3.1(5).

(10) Приведену ефективну площу елемента жорсткості $A_{s,red}$, що допускає загальну втрату стійкості, рекомендовано приймати за формулою (7.15):

$$A_{s,red} = \chi_d A_s \quad (7.15)$$

(11) Для визначення характеристик ефективного перерізу, приведену ефективну площу $A_{s,red}$ рекомендовано визначати з використанням приведеної товщини $t_{red} = \chi_d t_{eff}$ для усіх частин поперечного перерізу, що входять в A_s .

(12) Характеристики ефективного перерізу елементів жорсткості для граничного стану за експлуатаційною придатністю рекомендовано приймати ґрунтуючись на неприведеній товщині t , тобто $\chi_d = 1,00$.

7.5.3 Трапецієподібні профільовані листи з проміжними елементами жорсткості

7.5.4.1 Загальні положення

(1) Рекомендовано використовувати 7.5.4 в поєднанні з 7.5.3.2 для полиць з проміжними ребрами жорсткості та для стінок з проміжними ребрами жорсткості.

(2) Урахування спільної роботи проміжних елементів жорсткості на полицях та проміжних елементів жорсткості на стінках при загальній втраті стійкості рекомендовано проводити згідно з методикою наведеною в 7.5.4.4.

7.5.4.2 Полиці з проміжними ребрами жорсткості

(1) Під дією рівномірного стиску, рекомендовано прийняти, що площа ефективного поперечного перерізу полиці з проміжними елементами жорсткості складена з приведених ефективних площ $A_{s,red}$ двох проміжних елементів жорсткості та двох смуг шириною $0,5b_p$ та товщиною t_{eff} прилеглих до країв, які підтримують стінки, див. рисунок 7.5f).

(2) Для одного центрального елемента жорсткості полиці, критичне напруження при поздовжньому згині $\sigma_{cr,s}$ рекомендовано обчислювати за формулою (7.16):

$$\sigma_{cr,s} = \frac{4,2k_w E}{A_s} \sqrt{\frac{I_s t^3}{4b_p^2(2b_p + 3b_s)}} \quad (7.16)$$

де

b_p — умовна ширина смуги плоскої частини поперечного перерізу, показана на рисунку 7.6(b);

b_s — ширина елемента жорсткості, виміряна по його периметру див. рисунок 7.6(c);

k_w — коефіцієнт, що враховує часткове закріплення від повороту підкріпленої полиці стінками, див. параграфи (5) та (6);

A_s та I_s наведено в 7.5.3.2 та на рисунку 7.6.

(a) геометрія		
(b) ширина елемента жорсткості		
(c) поперечний переріз для I_s		
(d) поперечний переріз для A_s		

Рисунок 7.6 — Стиснута полиця з одним чи двома елементами жорсткості

(3) Для двох симетрично розташованих елементів жорсткості полиць, пружне критичне напруження при поздовжньому згині $\sigma_{cr,s}$ рекомендовано обчислювати за формулою (7.17):

$$\sigma_{cr,s} = \frac{4,2k_w E}{A_s} \sqrt{\frac{I_s t^3}{8b_1^2(3b_e - 4b_1)}} \quad (7.17)$$

з

$$b_e = 2b_{p,1} + b_{p,2} + 2b_s$$

$$b_1 = b_{p,1} + 0,5b_r$$

де

$b_{p,1}$ — умовна ширина смуги зовнішньої плоскої частини поперечного перерізу, як показано на рисунку 7.6;

$b_{p,2}$ — умовна ширина смуги центральної плоскої частини поперечного перерізу, як показано на рисунку 7.6;

b_s — це розгорнута ширина елемента жорсткості, виміряна вздовж середньої лінії елемента жорсткості, див. рисунок 7.6(с).

(4) За наявності трьох елементів жорсткості, центральний рекомендовано приймати за неефективний.

(5) Значення k_w для стиснутої полиці при втраті стійкості дозволено розраховувати з урахуванням довжини хвилі l_b за формулами (7.18) та (7.19):

$$\text{якщо } l_b/s_w \geq 2: \kappa_w = \kappa_{w0} \quad (7.18)$$

$$\text{якщо } l_b/s_w < 2: \kappa_w = \kappa_{w0} - (\kappa_{w0} - 1)[2 l_b/s_w - (l_b/s_w)^2] \quad (7.19)$$

де

s_w — похила висота стінки, див. рисунок 7.7(а);

l_b — довжина напівхвилі для пружної втрати стійкості елемента жорсткості, див. (7).

(6) Як альтернатива, коефіцієнт закріплення від повороту k_w згідно консервативного підходу дозволено приймати рівним одиниці, що відповідає умові шарнірного з'єднання.

(7) Значення l_b та κ_{w0} можна визначити за формулами (7.20) — (7.23):

— для стиснутої полиці з одним проміжним елементом жорсткості:

$$l_b = 3,07 \sqrt[4]{I_s b_p^2 (2b_p + 3b_s) / t^3} \quad (7.20)$$

$$\kappa_{wo} = \sqrt{\frac{s_w + 2b_d}{s_w + 0,5b_d}} \quad (7.21)$$

3

$$b_d = 2b_p + b_s$$

— для стиснутої полиці з двома чи трьома проміжними елементами жорсткості:

$$l_b = 3,65 \sqrt[4]{I_s b_1^2 (3b_e - 4b_1) / t^3} \quad (7.22)$$

$$\kappa_{wo} = \sqrt{\frac{(2b_e + s_w)(3b_e - 4b_1)}{b_1(4b_e - 6b_1) + s_w(3b_e - 4b_1)}} \quad (7.23)$$

(8) Приведену ефективну площу елемента жорсткості $A_{s,red}$, що враховує загальну втрату стійкості (втрата стійкості при згині проміжного елемента жорсткості), рекомендовано визначати за формулою (7.24):

$$A_{s,red} = \chi_d A_s \frac{f_o / \gamma_{M1}}{\sigma_{com,Ed}} \text{ але } A_{s,red} \leq A_s \quad (7.24)$$

(9) Якщо стінки не підкріплені елементами жорсткості, понижувальний коефіцієнт χ_d , рекомендовано обчислювати безпосередньо з $\sigma_{cr,s}$ використовуючи метод, що наведений в 7.5.3.1(5).

(10) Якщо стінки мають елементи жорсткості, понижувальний коефіцієнт $\sigma_{cr,s}$, рекомендовано обчислювати використовуючи метод, що наведений в 7.5.3.1(5), але зі зміненим критичним пружним напруженням $\sigma_{cr,mod}$, наведеним в 7.5.4.4.

(11) Для визначення властивостей ефективного перерізу, приведену ефективну площу $A_{s,red}$ рекомендовано визначати з використанням приведеної товщини $t_{red} = \chi_d t_{eff}$ для усіх частин поперечного перерізу, що складають A_s .

7.5.4.3 Стінки з більше ніж двома елементами жорсткості за наявності градієнта напруження

(1) Рекомендовано вважати, що ефективний поперечний переріз стиснутої зони стінки складений з приведених ефективних площ $A_{s,red}$, не більше ніж з двох проміжних елементів жорсткості; смуги, що прилягає до стиснутої полиці та смуги, що прилягає до центральної осі поперечного перерізу профілю, див. рисунок 7.7. Стінки під рівномірним напруженням стиску рекомендовано розраховувати аналогічно до підкріплених полиць.

(2) Ефективний поперечний переріз стінки, як показано на рисунку 7.7, має включати в себе:

- a) смугу шириною $s_a/2$ та ефективною товщиною $t_{eff,a}$, що прилягає до стиснутої полиці;
- b) приведену ефективну площу $A_{s,red}$ кожного елемента жорсткості в стінці, але не більше ніж двох елементів;
- c) смугу шириною $2s_n/3$, що прилягає до центральної осі ефективного перерізу;
- d) розтягнуту частину стінки.

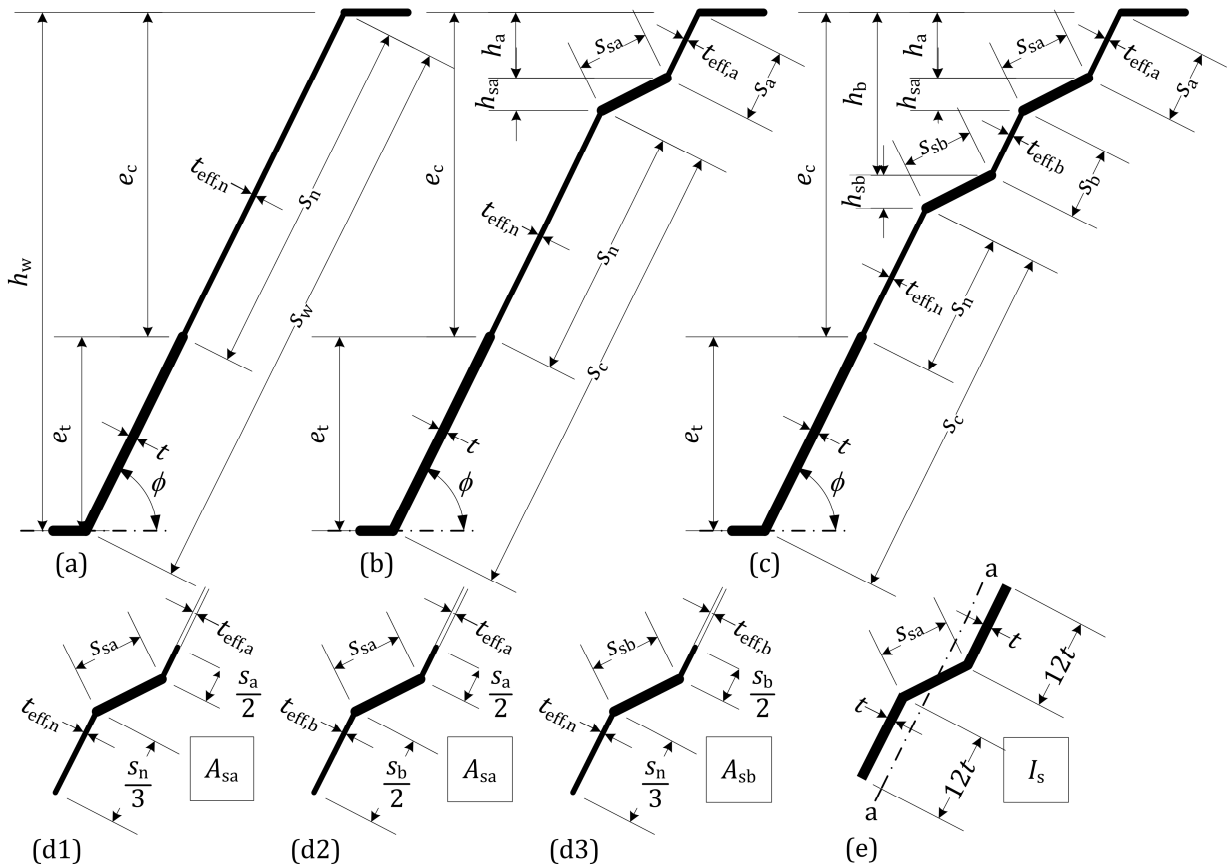


Рисунок 7.7 —Ефективні поперечні перерізи стінок в холодноформованих профільованих листах

(3) Початкові ефективні площі рекомендовано обчислювати за формулами (7.25), (7.26) та (7.27):

— для одинарного елемента жорсткості:

$$A_{sa} = \left(t_{eff,a} \frac{s_a}{2} + t s_{sa} + t_{eff,n} \frac{s_n}{3} \right), \text{ рисунок 7.7(d1)} \quad (7.25)$$

— для елемента жорсткості, розташованого ближче до стиснутої полиці у стінках з двома елементами жорсткості:

$$A_{sa} = \left(t_{eff,a} \frac{s_a}{2} + t s_{sa} + t_{eff,b} \frac{s_b}{3} \right), \text{ рисунок 7.7(d2)} \quad (7.26)$$

— для другого елемента жорсткості:

$$A_{sb} = \left(t_{eff,b} \frac{s_b}{2} + t s_{sb} + t_{eff,n} \frac{s_n}{3} \right), \text{ рисунок 7.7(d3)} \quad (7.27)$$

де розміри s_a , s_{sa} , s_b , s_{sb} та s_n такі ж як показано на рисунку 7.7, а $t_{eff,a}$, $t_{eff,b}$ та $t_{eff,n}$ наведені в (5).

(4) Початково місце ефективної центральної осі рекомендовано

визначати на базі площ полиць і стінок. При цьому площі полиць — ефективні, а площі стінок — брутто.

(5) Якщо гнучкість $\bar{\lambda}_p$ стиснутої зони стінки є більшою за $\bar{\lambda}_{lim}$ (див. 7.5.2(4)), то ефективні товщини $t_{eff,a}$, $t_{eff,b}$ та $t_{eff,n}$ рекомендовано обчислювати за формулою (7.28):

$$t_{eff} = \rho t \quad (7.28)$$

де ρ обчислюють за формулою (7.2) з гнучкістю $\bar{\lambda}_p$ та коефіцієнтом співвідношення напружень ψ , відповідно до таблиці 7.5, де e_c та e_t — відстані від ефективної центральної осі до системної лінії стиснутої чи розтягнутої полиці (див. рисунок 7.7), розміри h_a , h_b , h_{sa} , h_{sb} , s_n та ϕ показані на рисунку 7.7.

(6) Щоб розрахувати початкову ефективну площу A_{sa} та A_{sb} елементів жорсткості стінки, s_a та s_b діляться на дві рівні частини $s_a/2$ та $s_b/2$. Частина стінки s_n над центральною віссю ділиться на одну частину $s_n/3$, що прилягає до елемента жорсткості, рисунок 7.7 (d1) та (d3), і одну частину $2s_n/3$, що прилягає до центральної осі.

Таблиця 7.5 —Відносна гнучкість $\bar{\lambda}_p$ та коефіцієнт співвідношення напружень ψ для стінок з елементами жорсткості

Місце розташування частини стінки	Частина стінки	Відносна гнучкість $\bar{\lambda}_p$	Коефіцієнт співвідношення напружень ψ
Без елементів жорсткості, рисунок 7.7 (а)			
Між стиснутою полицею та центральною віссю	s_n	$\bar{\lambda}_p = 1,052 \frac{s_n}{t} \sqrt{\frac{f_o}{EK_\sigma}}$	$\psi = -\frac{e_t}{e_c}$
Один елемент жорсткості, рисунок 7.7 (b)			
Прилегла до стиснутої полиці	s_a	$\bar{\lambda}_p = 1,052 \frac{s_a}{t} \sqrt{\frac{f_o}{EK_\sigma}}$	$\psi = \frac{e_c - h_a}{e_c}$
Прилегла до центральної осі	s_n	$\bar{\lambda}_p = 1,052 \frac{s_n}{t} \sqrt{\frac{f_o}{EK_\sigma} \frac{(e_c - h_a - h_{sa})}{e_c}}$	$\psi = -\frac{e_t}{s_n \cdot \sin\phi}$
Два елемента жорсткості, рисунок 7.7 (с)			
Прилегла до стиснутої полиці	s_a	$\bar{\lambda}_p = 1,052 \frac{s_a}{t} \sqrt{\frac{f_o}{EK_\sigma}}$	$\psi = \frac{e_c - h_a}{e_c}$
Між елементами жорсткості	s_b	$\bar{\lambda}_p = 1,052 \frac{s_b}{t} \sqrt{\frac{f_o}{EK_\sigma} \frac{(e_c - h_a - h_{sa})}{e_c}}$	$\psi = \frac{e_c - h_b}{e_c - h_a - h_{sa}}$
Прилегла до центральної осі	s_n	$\bar{\lambda}_p = 1,052 \frac{s_n}{t} \sqrt{\frac{f_o}{EK_\sigma} \frac{(e_c - h_b - h_{sb})}{e_c}}$	$\psi = -\frac{e_t}{s_n \cdot \sin\phi}$

(7) Для одинарного елемента жорсткості, або для елемента жорсткості, розташованого ближче до стиснутої полиці у стінці з двома елементами жорсткості, пружне згинальне напруження $\sigma_{cr,sa}$, рекомендовано визначати за формулами (7.29), (7.30) та (7.31):

$$\sigma_{cr,sa} = \frac{1,05\kappa_f \sqrt{I_{sa} t^3 s_1}}{A_{sa} s_2 (s_1 - s_2)} \quad (7.29)$$

де s_1 та s_2 розраховано наступним чином:

— для одинарного елемента жорсткості:

$$s_1 = 0,9(s_a + s_{sa} + s_c), s_2 = s_1 - s_a - 0,5s_{sa} \quad (7.30)$$

— для елемента жорсткості, розташованого ближче до стиснутої

полиці, у стінці з двома елементами жорсткості, в яких інший елемент жорсткості є розтягнутим, або розташованим ближче до центральної осі:

$$s_1 = s_a + s_{sa} + s_b + 0,5(s_{sb} + s_c), s_2 = s_1 - s_a - 0,5s_{sa} \quad (7.31)$$

де

κ_f — коефіцієнт, що враховує часткове обмеження повороту елемента жорсткості стінки полицями;

I_{sa} — момент інерції поперечного перерізу з елементами жорсткості, включно зі складками, товщиною s_{sa} та двома прилеглими смугами, кожна шириною $12t$, відносно його власної центральної осі, паралельної до плоских частин поперечного перерізу стінки, див. рисунок 7.7(е). Для обчислення I_{sa} можливою різницею ухилів плоских частин поперечного перерізу з кожного боку елемента жорсткості можна знехтувати.

(8) За відсутності більш детальних досліджень, коефіцієнт обмеження повороту κ_f дозволено консервативно прийняти за одиницю, що відповідає умові шарнірного обпирання.

(9) Для одинарного стиснутого елемента жорсткості, або для елемента жорсткості, розташованого ближче до стиснутої полиці, у стінці з двома елементами жорсткості приведену ефективну площу $A_{sa,red}$ (крок 2 на рисунку 7.5) рекомендовано визначати за формулою (7.32):

$$A_{sa,red} = \frac{\chi_d A_{sa}}{1 - \frac{h_a + 0,5h_{sa}}{e_c}} \text{ but } A_{sa,red} \leq A_{sa} \quad (7.32)$$

(10) Якщо на полицях також є елементи жорсткості, понижувальний коефіцієнт χ_d рекомендовано обчислювати використовуючи метод, наведений у 7.5.3.1(5), але зі зміненим критичним пружним напруженням $\sigma_{cr,mod}$, наведеним у 7.5.4.4.

(11) Якщо одинарний елемент жорсткості є розтягненим, приведену ефективну площу $A_{sa,red}$ рекомендовано приймати рівною A_{sa} .

(12) Для стінок з двома елементами жорсткості приведену ефективну площу $A_{sa,red}$ для другого елемента жорсткості, ближчого до нейтральної

осі, рекомендовано приймати рівною A_{sb} .

(13) Для визначення властивостей ефективного перерізу, приведену ефективну площу $A_{sa,red}$ рекомендовано визначати з використанням приведеної товщини $t_{red} = \chi_d t_{eff}$ для усіх частин поперечного перерізу, що складають A_{sa} .

(14) Якщо $\chi_d < 1$ то, за необхідності, його значення можна розрахувати шляхом ітерації, див. 7.5.3(7).

Примітка. Про властивості ефективного перерізу при граничних станах за експлуатаційною придатністю див. 9.1.

7.5.4.4 Профільовані листи з елементами жорсткості на полицях та стінках

(1) Для профільованих листів з проміжними елементами жорсткості на полицях та стінках, див. рисунок 7.8, взаємодію між загальною втратою стійкості елементів жорсткості на полицях та стінках рекомендовано враховувати з використанням приведеного критичного пружного напруження $\sigma_{cr,mod}$ для обох типів елементів, що обчислене за формулою (7.33):

$$\sigma_{cr,mod} = \frac{\sigma_{cr,s}}{\sqrt[4]{1 + \left[\beta_s \frac{\sigma_{cr,s}}{\sigma_{cr,sa}} \right]^4}} \quad (7.33)$$

де

$\sigma_{cr,s}$ — критичне пружне напруження для проміжного елемента жорсткості полиць, див. 7.5.4.2(2) для полиці з одиночним елементом жорсткості та 7.5.4.2(3) для полиці з двома елементами жорсткості;

$\sigma_{cr,sa}$ — критичне пружне напруження для одинарного елемента жорсткості стінки чи для елемента жорсткості, розташованого ближче до стиснутої полиці для стінки з двома елементами жорсткості, див. 7.5.4.3(7);

$\beta_s = 1 - (h_a + 0,5h_{sa})/e_c$ — для профілю під дією згину;

$\beta_s = 1$ — для профілю під дією поздовжнього стиску.

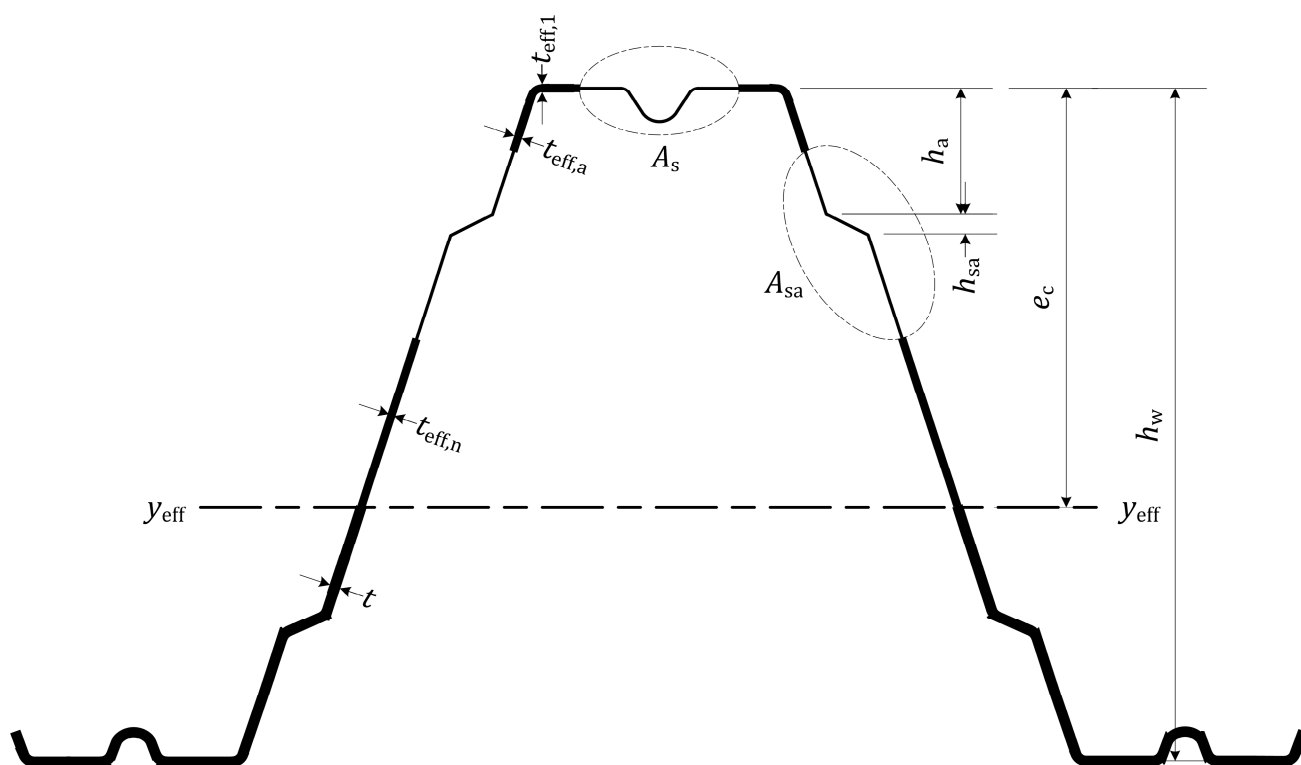


Рисунок 7.8 — Ефективний поперечний переріз

холодноформованого профільованого листа з елементами жорсткості на полицях та стінках

7.5.5 Холодноформовані елементи

(1) Для простого холодноформованого елемента з однією складкою (кутові поперечні перерізи на рисунку 7.9а) крутильну або згинально-крутильну форми втрати стійкості рекомендовано розраховувати відповідно до EN 1999-1-1.

(2) Для елементів на рисунку 7.9b з частинами поперечного перерізу схильними до загальної втрати стійкості, числовий метод (метод скінченних смуг або метод скінченних елементів) може бути використаний для розрахунку пружної критичної сили та понижувального коефіцієнту χ_d відповідно до 7.5.3.1 для визначення ефективної товщини стиснутих частин поперечного перерізу.

(3) Для елементів на рисунку 7.9c, складених з холодноформованих частин (та, можливо, екструдованих частин) зварених разом застосовують

стандарт EN 1999-1-1.

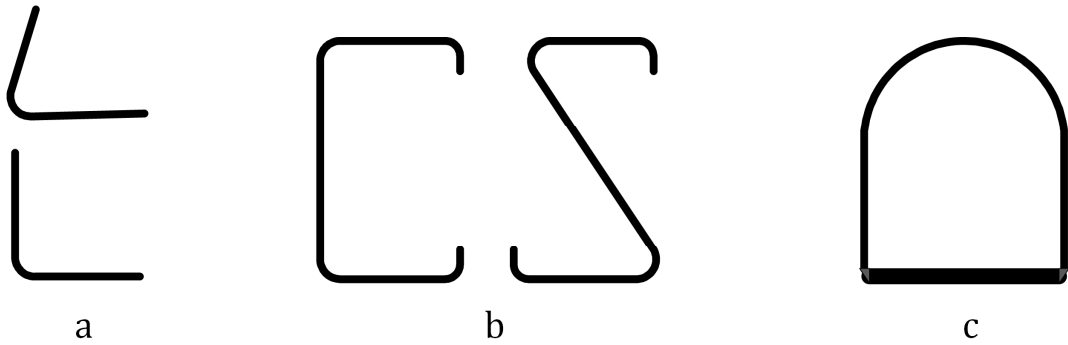


Рисунок 7.9 — (а) та (b) холодноформовані перерізи, (с) поперечні перерізи з холодноформованих частин

8 ГРАНИЧНИЙ СТАН ЗА НЕСНОЮ ЗДАТНІСТЮ

8.1 Опір поперечного перерізу

8.1.1 Загальні положення

(1) Правила, наведені в цьому розділі, застосовні до проєктування за допомогою розрахунків.

(2) Проєктування шляхом розрахунків дозволено замінити на проєктування шляхом випробувань, див. розділ 11 та додаток А.

Примітка. Проєктування шляхом випробувань може бути пріоритетним для поперечних перерізів з відносно високим співвідношенням b_p/t , наприклад у випадку непружної роботи, пружно-пластичної втрати стійкості стінки чи в разі впливу запізненого зсуву.

(3) Для проєктування шляхом розрахунків, рекомендовано врахувати вплив місцевої та загальної втрати стійкості, для чого слід врахувати характеристики ефективного перерізу, визначених, як вказано в 7.5.

(4) Опір втраті стійкості елементів профільованого листа під впливом стиску рекомендовано перевіряти згідно вимог 8.2.

8.1.2 Осьовий розтяг

(1) Розрахунковий опір поперечного перерізу під дією рівномірного розтягу $N_{t,Rd}$ рекомендовано визначати за формулою (8.1):

$$N_{t,Rd} = \frac{f_o A_g}{\gamma_{M1}} \text{ але } N_{t,Rd} \leq F_{net,Rd} \quad (8.1)$$

де

A_g — площа перерізу брутто;

$F_{net,Rd}$ — опір поперечного перерізу нетто для відповідного типу механічних кріпильних виробів.

8.1.3 Осьовий стиск

(1) Розрахунковий опір поперечного перерізу під дією стиску $N_{c,Rd}$ рекомендовано визначати за формулами (8.2) та (8.3):

— якщо ефективна площа A_{eff} є меншою за площу брутто A_g (переріз зменшено для врахування місцевої та/або загальної втрати стійкості):

$$N_{c,Rd} = A_{eff} f_o / \gamma_{M1} \quad (8.2)$$

— якщо ефективна площа A_{eff} дорівнює площі брутто A_g (переріз зменшено для врахування місцевої та/або загальної втрати стійкості):

$$N_{c,Rd} = A_g f_o / \gamma_{M1} \quad (8.3)$$

де

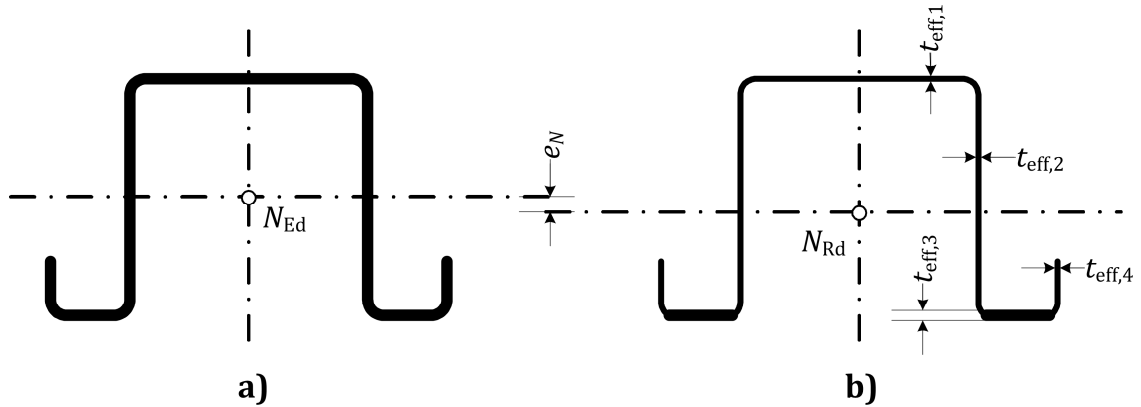
A_{eff} — ефективна площа поперечного перерізу, обчислена за 7.5.2, якщо припустити, що рівномірне стискальне напруження дорівнює f_o / γ_{M1} .

(2) Внутрішнє нормальне зусилля в елементі має бути прикладене до центра ваги його поперечного перерізу брутто.

Примітка. Це припущення є консервативним, але може бути застосоване без подальшого розрахунку. Додатковий розрахунок може дати більш реалістичну картину внутрішніх сил, наприклад, у випадку рівномірного нарощування нормальної сили в стиснутій частині поперечного перерізу, що піддається стисненню.

(3) Розрахунковий опір поперечного перерізу під дією рівномірного стиску рекомендовано приймати таким, що діє в центрі ваги ефективного

поперечного перерізу. Якщо центр ваги ефективного поперечного перерізу не співпадає з центром ваги повного поперечного перерізу, то рекомендовано прийняти до уваги ексцентриситет e_N відносно центральної осі (див. рисунок 8.1) визначений за методикою, що наведена в 8.1.9.



Умовні позначки:

(a) — поперечний переріз бруто

(b) — ефективний поперечний переріз

Рисунок 8.1 — Демонстрація ексцентриситету у поперечному перерізі під дією стиску

8.1.4 Згинальний момент

8.1.4.1 Пружний та пружно-пластичний опір з пластичними деформаціями стиснутої полиці

(1) Розрахунковий момент опору при згині $M_{c,Rd}$ для поперечного перерізу рекомендовано визначати за формулами (8.4) та (8.5):

— якщо момент опору ефективного перерізу W_{eff} є меншим за пружний момент опору перерізу бруто W_{el} :

$$M_{c,Rd} = W_{eff} f_o / \gamma_{M1} \quad (8.4)$$

— якщо момент опору ефективного перерізу W_{eff} дорівнює пружному моменту опору перерізу бруто W_{el} :

$$M_{c,Rd} = f_o \left(W_{el} + (W_{pl} - W_{el}) 4(1 - \lambda / \lambda_{el}) \right) / \gamma_{M1} \quad (8.5)$$

де

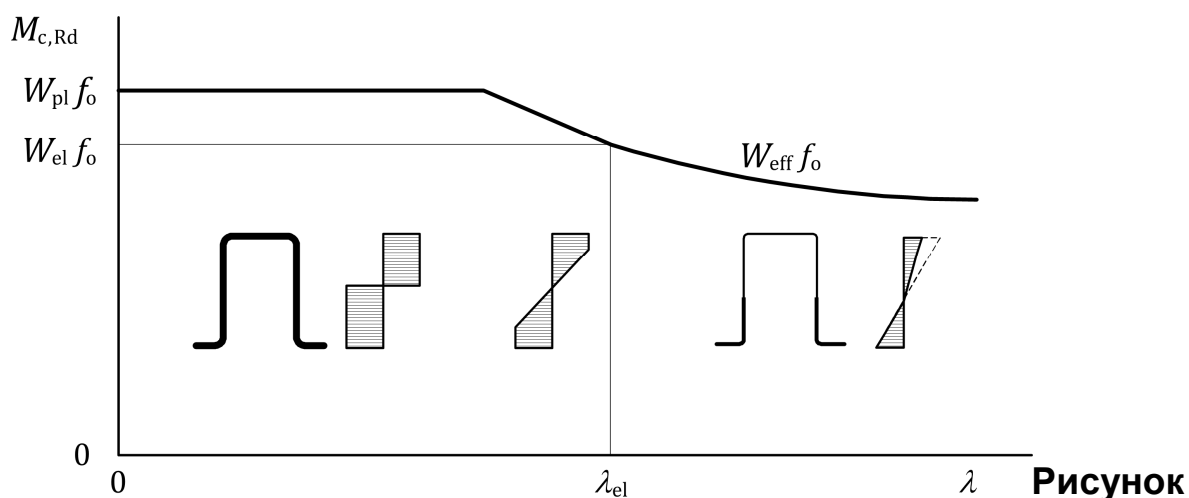
λ — гнучкість частини поперечного перерізу, що відповідає

найбільшому значенню λ/λ_{el} .

Для двічі обпертих плоских частин поперечного перерізу $\lambda = \bar{\lambda}_p$ та $\lambda_{el} = \bar{\lambda}_{lim}$, де $\bar{\lambda}_{lim}$ отримують з таблиці 7.2.

Для підсилених частин поперечного перерізу $\lambda = \bar{\lambda}_s$ та $\lambda_{el} = 0,25$, див. 7.5.3.1

Примітка. Результативний опір згинальному моменту з формули (8.5) представлено на графіку як функцію гнучкості, див. рисунок 8.2.



8.2 — Опір згинальному моменту, як функція гнучкості

(2) Формулу (8.5) можна застосовувати за умови, що нахил стінки відносно полиці ϕ (див. рисунок 6.5) менший за 60° .

(3) Якщо умову параграфу (2) не виконано, рекомендовано застосувати наступну формулу:

$$M_{c,Rd} = W_{el} f_0 / \gamma_{M1} \quad (8.6)$$

(4) Ефективний момент опору W_{eff} рекомендовано визначати на основі ефективного поперечного перерізу, на який діє лише згинальний момент, при максимальному напруженні $\sigma_{max,Ed}$, що дорівнює f_0 / γ_{M1} та при врахуванні впливу місцевої та загальної втрати стійкості, як вказано у 7.5. Ефект запізненого зсуву, рекомендовано враховувати, якщо він суттєвий (див. EN 1999-1-1).

(5) Коефіцієнт напруження $\psi = \sigma_2 / \sigma_1$, застосований для визначення

ефективних частин стінки, дозволено обчислити через ефективну площу стиснутої полиці та площу стінки бруто, див. рисунок 8.3.

(6) При початковому розвитку текучості на стиснутому краї поперечного перерізу, окрім врахування умови, що наведена в 8.1.4.2, значення W_{eff} рекомендовано визначати з урахуванням лінійного розподілу напружень по всьому поперечному перерізу.

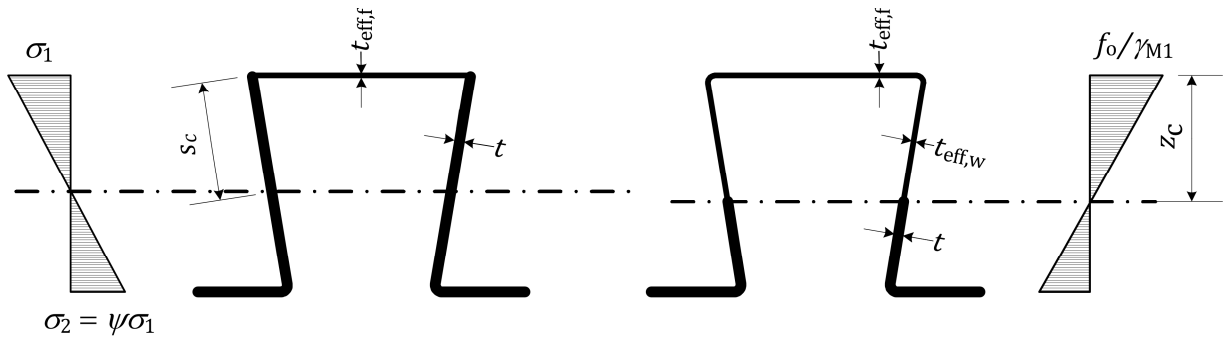


Рисунок 8.3 — Приклад ефективного поперечного перерізу для визначення опору згинальним моментам

(7) Якщо при виконанні загального розрахунку допускається перерозподіл згинальних моментів, то рекомендовано задовольнити умову 9.2. Якщо залишковий момент на проміжній опорі не дорівнює нулю, то діючий залишковий момент рекомендовано визначати за випробуваннями.

8.1.4.2 Пружний та пружно-пластичний опір з пластичними деформаціями лише для розтягнутої полиці

(1) За умови, що пластична деформація спочатку з'являється на розтягнутому краї, здатність протистояти пластичним деформаціям у розтягнутій зоні дозволено використовувати без обмеження напружень доти, доки максимальне стискальне напруження $\sigma_{\text{com,Ed}}$ не досягне f_o/γ_{M1} . Це правило застосовне тільки для згину без осьового зусилля; для осьового зусилля та згину рекомендовано використовувати 8.1.8 чи 8.1.9.

(2) У випадку (1), ефективний частковий пластичний момент опору $W_{\text{pp,eff}}$ рекомендовано визначати, виходячи з того, що розподіл напружень є білінійним у розтягнутій зоні, але лінійним у стиснутій.

(3) За відсутності більш детального розрахунку, ефективну товщину стінок t_{eff} можна визначити за 7.5.2 та ґрунтуючись на розмірі e_c для білінійного розподілу напружень (див. рисунок 8.4) з використанням $\psi = -1$.

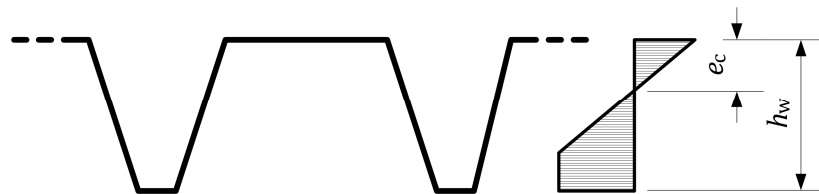


Рисунок 8.4 — Розмір e_c для визначення ефективної товщини

(4) Застосовується 8.1.4.1(7).

8.1.4.3 Ефекти запізненого зсуву

(1) Ефекти запізненого зсуву рекомендовано враховувати відповідно до EN 1999-1-1, але можна проігнорувати для полиць з $b/t \leq 300$.

8.1.5 Зсувне зусилля

(1) Опір зсуву $V_{b,Rd}$ рекомендовано визначати за формулою (8.7):

$$V_{b,Rd} = (h_w / \sin \phi) t f_{bv} / \gamma_{M1} \quad (8.7)$$

де

f_{bv} — міцність на зсув з урахуванням втрати стійкості відповідно до таблиці 8.1;

h_w — висота стінки, виміряна між серединними лініями полиць, див. Рисунок 8.5;

ϕ — нахил стінки відносно полиць.

Таблиця 8.1 — Зв'язок між міцністю на зсув з урахуванням втрати стійкості f_{bv} та відносною гнучкістю стінки $\bar{\lambda}_w$

Відносна гнучкість стінки	Стінка без елемента жорсткості на опорі	Стінка з елементом жорсткості на опорі ^а
$\bar{\lambda}_w \geq 0,83$	$0,58f_o$	$0,58f_o$
$0,83 < \bar{\lambda}_w \leq 1,40$	$0,48f_o/\bar{\lambda}_w$	$0,48f_o/\bar{\lambda}_w$
$\bar{\lambda}_w \geq 1,40$	$0,67f_o/\bar{\lambda}_w^2$	$0,48f_o/\bar{\lambda}_w$
^а Підкріплення на опорі, такі як ребра жорсткості, що мають попереджати деформацію стінки й розраховані, щоб витримувати опорні реакції.		

(2) Умовну гнучкість стінки $\bar{\lambda}_w$ рекомендовано обчислювати за формулами (8.8), (8.9) та (8.10):

— для стінок без поздовжніх елементів жорсткості:

$$\bar{\lambda}_w = 0,346 \frac{s_w}{t} \sqrt{\frac{f_o}{E}} \quad (8.8)$$

— для стінок з поздовжніми елементами жорсткості, див. рисунок 8.5:

$$\bar{\lambda}_w = 0,346 \frac{s_d}{t} \sqrt{\frac{5,34 f_o}{k_\tau E}} \text{ але } \bar{\lambda}_w \geq 0,346 \frac{s_p}{t} \sqrt{\frac{f_o}{E}} \quad (8.9)$$

з

$$k_\tau = 5,34 + \frac{2,10}{t} \sqrt[3]{\frac{\sum I_s}{s_d}} \quad (8.10)$$

де

I_s — момент інерції окремого поздовжнього елемента жорсткості, який визначають відносно осі а-а, як показано на рисунку 8.5;

s_d — розгорнута загальна похила висота стінки, як позначено на рисунку 8.5;

s_p — похила висота найбільшої плоскої частини стінки, див. рисунок 8.5;

s_w — похила висота стінки, що показана на рисунку 8.5, виміряна між

центрами кутів, див. рисунок 8.5.

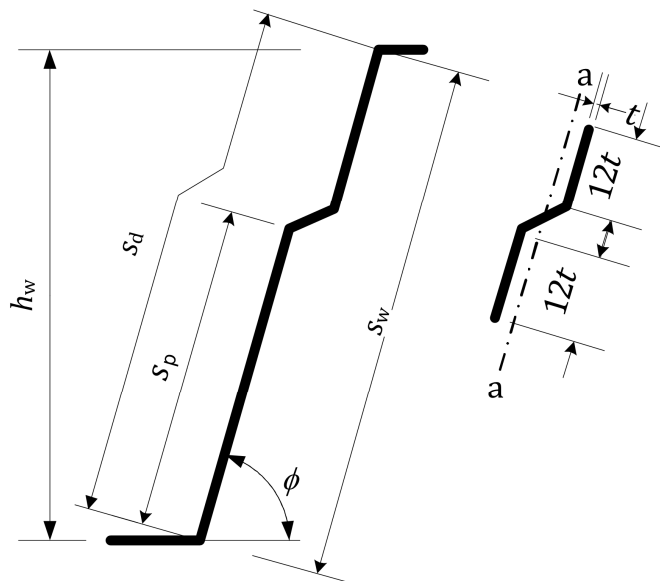


Рисунок 8.5 — Геометрія стінки з поздовжніми елементами жорсткості та ефективний поперечний переріз елементів жорсткості

8.1.6 Кручення

(1) У профільованих листах дозволено нехтувати крутильною жорсткістю та опором крученню.

8.1.7 Місцеві поперечні сили

8.1.7.1 Загальні положення

(1) Для запобігання руйнуванню, пошкодженню чи випинанню стінки, що піддається дії опорної реакції чи іншої поперечної сили, прикладеної до полиці, поперечна сила F_{Ed} має відповідати умові (8.11):

$$F_{Ed} \leq R_{w,Rd}$$

де

F_{Ed} — місцевий поперечний опір стінки.

(2) Місцевий поперечний опір стінки $R_{w,Rd}$ рекомендовано обчислювати наступним чином:

а) для непідкріплених стінок: за 8.1.7.2;

b) для підкріплених стінок: за 8.1.7.3.

(3) Там де місцеве навантаження чи опорна реакція передається через ребро жорсткості, встановлене для попередження деформацій стінки та розраховане на навантаження від місцевого поперечного зусилля, місцевий опором стінки поперечній силі можна знехтувати.

8.1.7.2 Загальні положення

(1) Місцевий поперечний опір непідкріпленої стінки, див. рисунок 8.6, рекомендовано визначати відповідно до параграфу (2), за умов врахування наступних умов:

— чиста відстань (у просвіті) s від фактичної точки прикладення опорної реакції чи місцевого навантаження до вільного кінця (див. рисунок 8.7) має бути не меншою за 40 мм;

— поперечний переріз відповідає формулі (8.12) та умовам:

$$r/t \leq 10$$

$$h_w/t \leq 200 \sin \phi$$

$$45^\circ \leq \phi \leq 90^\circ$$

де

h_w — висота стінки, виміряна між серединними лініями полиць;

r — внутрішній радіус кутів;

ϕ — нахил стінки відносно полиць (градуси).

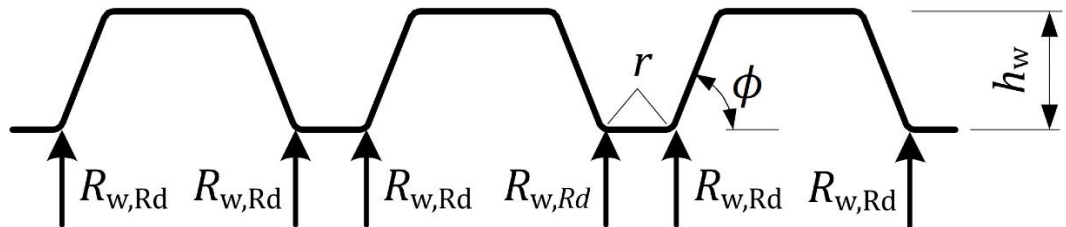


Рисунок 8.6 — Приклади поперечних перерізів з двома чи більше стінками

(2) Якщо виконано обидві умови, вказані у параграфі (1), місцевий поперечний опір $R_{w,Rd}$ стінки профільованого листа рекомендовано

визначати за формулою (8.13):

$$R_{w,Rd} = \alpha t^2 \sqrt{f_o E} \left(1 - 0,1 \sqrt{r/t} \right) \left(0,5 + \sqrt{0,02 l_a / t} \right) (2,4 + (\phi/90)^2) / \gamma_{M1} \quad (8.13)$$

де

l_a — ефективна довжина обпирання для відповідної категорії, див. параграф (4);

α — коефіцієнт для врахованої категорії, див. параграф (3);

s_w — похила довжина стінки ($= h_w / \sin \phi$);

r — внутрішній радіус кривизни ($r < 10t$).

(3) Значення коефіцієнта α рекомендовано визначити з рисунку 8.7.

(4) Значення l_a рекомендовано обчислювати за параграфом (5). Для внутрішніх опор на круглих трубах або холодноформованих С-перерізах значення s_s рекомендовано приймати рівним 10мм, для Z- та Sigma-профілів рівним фактичній ширині полиці. Відповідна категорія (1 чи 2) має залежати від чистої відстані (у просвіті) e між місцевим навантаженням та найближчою опорою або від чистої відстані (у просвіті) c від опорної реакції чи місцевого навантаження до вільного кінця, див. рисунок 8.7.

(5) Значення ефективної довжини обпирання l_a для профільованих листів рекомендовано обчислювати за формулами (8.14) та (8.15):

$$\text{a) для категорії 1: } l_a = s_s, \text{ але } l_a \leq 40\text{мм} \quad (8.14)$$

$$\text{b) для категорії 2: } l_a = s_s, \text{ але } l_a \leq 200\text{мм} \quad (8.15)$$

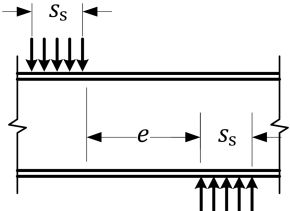
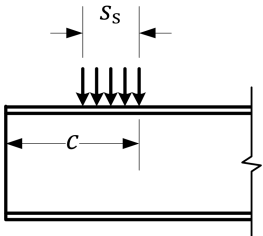
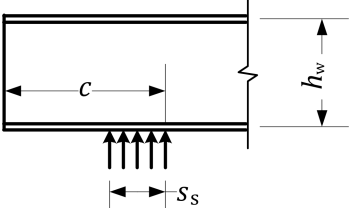
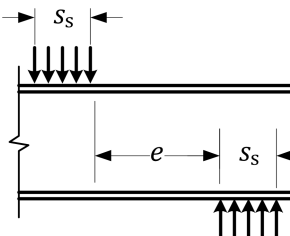
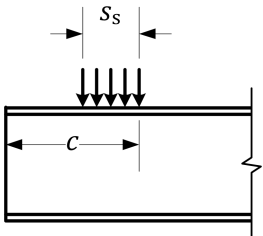
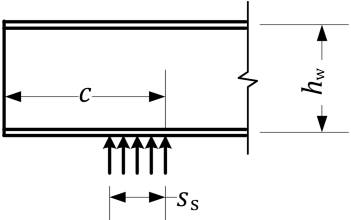
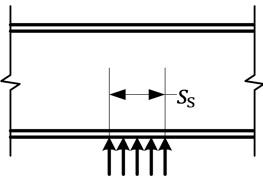
	Категорія обпирання 1: $\alpha = 0,75$ місцеве навантаження прикладене на відстані у просвіті $e \leq 1,5h_w$ від найближчої опори;
	Категорія обпирання 1: $\alpha = 0,75$ місцеве навантаження прикладене на відстані у просвіті $c \leq 1,5h_w$ від вільного краю;
	Категорія обпирання 1: $\alpha = 0,75$ реакція на крайній опорі розташована на відстані $c \leq 1,5h_w$ від вільного краю;
	Категорія обпирання 2: $\alpha = 0,15$ місцеве навантаження прикладене на відстані у просвіті $e \leq 1,5h_w$ від найближчої опори;
	Категорія обпирання 2: $\alpha = 0,15$ місцеве навантаження прикладене на відстані у просвіті $c \leq 1,5h_w$ від вільного краю;
	Категорія обпирання 2: $\alpha = 0,15$ реакція на крайній опорі розташована на відстані $c \leq 1,5h_w$ від вільного краю;
	Категорія обпирання 2: $\alpha = 0,15$ Реакція на проміжній опорі без прикладання місцевого навантаження на відстані $1,5h_w$;

Рисунок 8.7 — Геометрія стінки з поздовжніми елементами жорсткості та ефективний поперечний переріз елементів жорсткості

8.1.7.3 Підкріплені стінки

(1) Місцевий поперечний опір підкріпленої стінки дозволено визначати як вказано у параграфі (2) для поперечних перерізів з поздовжніми елементами жорсткості, зігнутими таким чином, що два згини на стінці направлені в різні боки від системної лінії стінки, що з'єднує точки перетину серединних ліній стінки із серединними лініями полиць, див. рисунок 8.8, що відповідає формулі (8.16).

$$2 < e_{\max}/t < 12 \quad (8.16)$$

де

$e_{\max}$ — найбільший ексцентриситет складок стінки відносно системної лінії стінки.

(2) Для поперечних перерізів з підкріпленими стінками, що задовольняють умови, вказані у параграфі (1), місцевий поперечний опір підкріпленої стінки дозволено визначати множенням відповідного значення для подібної непідкріпленої стінки, що отримане з 8.1.7.2, на коефіцієнт $\kappa_{a,s}$, обчислений за формулою (8.17):

$$\kappa_{a,s} = 1,45 - 0,05 e_{\max}/t \text{ але } \kappa_{a,s} \leq 0,95 + 35000t^2 e_{\min}/(b_d^2 s_p) \quad (8.17)$$

де

b_d — розгорнута ширина навантаженої полиці, див. рисунок 8.8;

$e_{\min}$ — найменший ексцентриситет складки відносно системної лінії стінки, див. рисунок 8.8;

s_p — похила висота плоскої частини стінки поперечного перерізу, що розташований найближче до навантаженої полиці, див. рисунок 8.8.

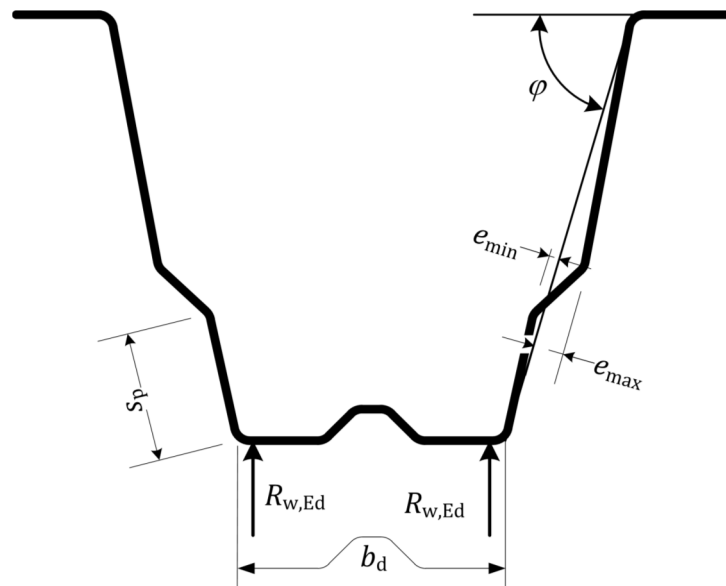


Рисунок 8.8 — Опорні реакції та геометрія підкріплених стінок

8.1.8 Спільна дія розтягу та згину

(1) Поперечний переріз під спільною дією поздовжнього розтягу N_{Ed} та згинального моменту $M_{y,Ed}$ має задовольняти наступний умову (8.18):

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{cy,Rd,ten}} \leq 1 \quad (8.18)$$

де

$N_{t,Rd}$ — розрахунковий опір поперечного перерізу для рівномірного розтягу (8.1.2);

$M_{cy,Rd,ten}$ — розрахунковий момент опору поперечного перерізу від максимального розтягувального напруження, викликане тільки моментом, що діє відносно осі у-у (8.1.4).

(2) Якщо $M_{cy,Rd,com} \leq M_{cy,Rd,ten}$, де $M_{cy,Rd,com}$ — це момент опору від максимального стискального напруження в поперечному перерізі, викликаного тільки моментом, то має бути виконана умова (8.19):

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{cy,Rd,com}} - \frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1 \quad (8.19)$$

8.1.9 Спільна дія стиску та згину

(1) Поперечний переріз під спільною дією осьового стиску N_{Ed} та згинального моменту $M_{y,Ed}$ має задовольняти умову (8.20):

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} + \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{M_{cy,Rd,com}} \leq 1 \quad (8.20)$$

де $N_{c,Rd}$ визначено в 8.1.3 та $M_{cy,Rd,com}$ визначено в 8.1.8.

(2) Додатковий момент $\Delta M_{y,Ed}$ від зміщення центральної осі рекомендовано визначати за формулою (8.21):

$$\Delta M_{y,Ed} = N_{Ed} e_N \quad (8.21)$$

де e_N — це зміщення центральної осі у-у під дією поздовжніх сил, див 8.1.3 (3).

(3) Якщо $M_{cy,Rd,ten} \leq M_{cy,Rd,com}$, то має бути виконано умову (8.22):

$$\frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{M_{cy,Rd,ten}} - \frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1 \quad (8.22)$$

де $M_{cy,Rd,ten}$ визначено за 8.1.8.

8.1.10 Спільна дія зсувного зусилля, осьового зусилля та згинального моменту

(1) Якщо $V_{Ed}/V_{w,Rd}$ (див. нижче) не перевищує 0,5, то розрахунковий опір згинальному моменту та осьовому зусиллю дозволено вважати незалежним від зсувного зусилля. Якщо $V_{Ed}/V_{w,Rd}$ більше за 0,5, то спільна дія від осьового зусилля N_{Ed} , згинального моменту M_{Ed} та зсувного зусилля V_{Ed} має задовольняти умову (8.23):

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} + \left(1 - \frac{M_{f,Rd}}{M_{pl,Rd}}\right) \left(\frac{2V_{Ed}}{V_{w,Rd}} - 1\right)^2 \leq 1 \quad (8.23)$$

де

N_{Rd} — розрахунковий опір поперечного перерізу на розтяг чи стиск, що наведений в 8.1.2 або 8.1.3;

$M_{y,Rd}$ — розрахунковий опір згинальному моменту поперечного перерізу, що наведений в 8.1.4;

$V_{w,Rd}$ — розрахунковий опір зсуву стінки, що наведений в 8.1.5. Для елементів з більш ніж однією стінкою $V_{w,Rd}$ — це сума опорів $V_{b,Rd}$ згідно 8.1.5;

$M_{f,Rd}$ — розрахунковий пластичний момент опору поперечного перерізу, складеного лише з ефективної площі полиць;

$M_{pl,Rd}$ — розрахунковий пластичний момент опору поперечного перерізу, складеного з ефективної площі полиць та повної ефективної площі стінки, незалежно від класу перерізу.

8.1.11 Спільна дія згинального моменту та місцевого навантаження чи реакції опори

(1) Поперечний переріз під спільною дією згинального моменту M_{Ed} та поперечної сили, викликані місцевим навантаженням чи опорною реакцією F_{Ed} має задовольняти умови (8.24), (8.25) і (8.26):

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1 \quad (8.24)$$

$$\frac{F_{Ed}}{R_{w,Rd}} \leq 1 \quad (8.25)$$

$$0,94 \cdot \left[\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \right]^2 + \left[\frac{F_{Ed}}{R_{w,Rd}} \right]^2 \leq 1 \quad (8.26)$$

де

$M_{c,Rd}$ — момент опору поперечного перерізу, що наведений у 8.1.4.1;

$R_{w,Rd}$ — відповідне значення суми місцевих поперечних опорів окремих стінок з 8.1.7.

(2) У формулі (8.26) згинальний момент M_{Ed} дозволено обчислювати на краю опори.

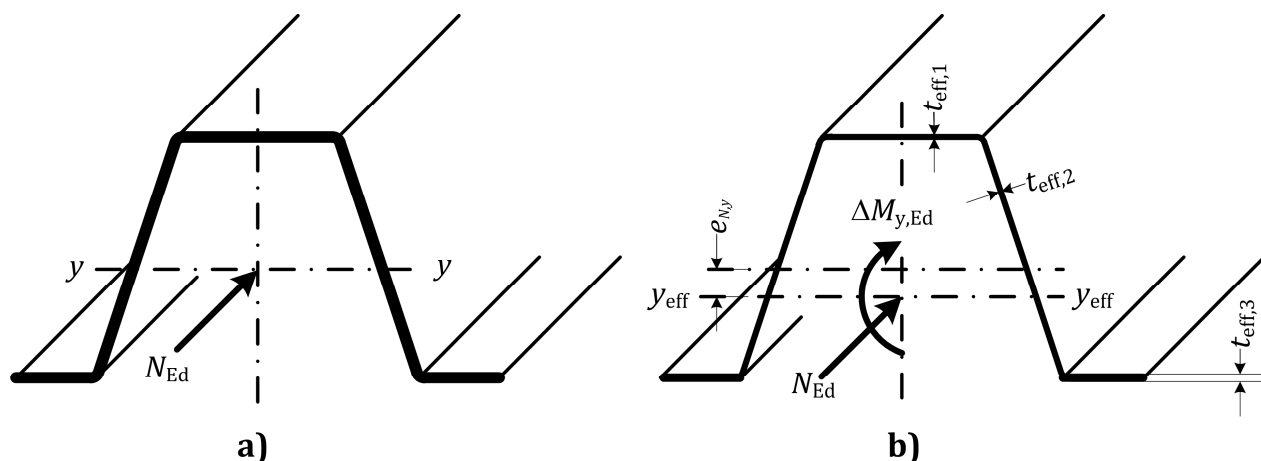
8.2 Опір втраті стійкості

8.2.1 Загальні положення

(1) Рекомендовано враховувати вплив місцевої та загальної втрати стійкості. Можна застосовувати методи, наведені в 7.5.

(2) Осьове зусилля в листах має бути прикладене до центра ваги його поперечного перерізу брутто.

(3) Рекомендовано вважати, що зусилля опору поперечного перерізу осьовому зусиллю проходить через центр ваги ефективного поперечного перерізу. Якщо він не співпадає з центром ваги поперечного перерізу брутто, рекомендовано враховувати моменти, що відповідають зміщенню центральної осі (див. рисунок 8.9), для чого застосовують методику, наведену у 8.2.3.



Умовні позначки:

(a) — поперечний переріз брутто

(b) — ефективний поперечний переріз

Рисунок 8.9 — Ілюстрація зміщення центральної осі ефективного поперечного перерізу

8.2.2 Осьовий стиск

8.2.2.1 Розрахунковий опір втраті стійкості при згині

(1) Розрахунковий опір втраті стійкості при стиску $N_{b,Rd}$ рекомендовано обчислювати за формулою (8.27):

$$N_{b,Rd} = \chi A_{eff} f_o / \gamma_{M1} \quad (8.27)$$

де

A_{eff} — ефективна площа поперечного перерізу, обчислена з розділу 5, за припущення, що рівномірне стискальне напруження $\sigma_{\text{com,Ed}}$ дорівнює f_o/γ_{M1} ;

χ — відповідне значення понижувального коефіцієнта для опору втраті стійкості.

(2) Понижувальний коефіцієнт χ для опору втраті стійкості рекомендовано визначати за формулами (8.28) та (8.29):

$$\chi = \frac{1}{\varphi + [\varphi^2 - \bar{\lambda}^2]^{0,5}} \text{ but } \chi \leq 1,0 \quad (8.28)$$

з

$$\varphi = 0,5(1 + \alpha(\bar{\lambda} - \bar{\lambda}_0) + \bar{\lambda}^2) \quad (8.29)$$

де

α — коефіцієнт недосконалості;

$\bar{\lambda}_0$ — границя горизонтальної ділянки;

$\bar{\lambda}_p$ — відносна гнучкість для відповідної форми втрати стійкості.

(3) Рекомендовано використовувати коефіцієнт недосконалості для профільованих листів $\alpha = 0,113$ та границю горизонтальної ділянки $\bar{\lambda}_0 = 0,2$.

(4) Відносну гнучкість для втрати стійкості від згину рекомендовано визначати за формулою(8.30):

$$\bar{\lambda} = \frac{l}{i\pi} \sqrt{\frac{f_o}{E}} \quad (8.30)$$

де

l — розрахункова довжина для втрати стійкості від згину відносно осі у-у (l_y);

i — радіус інерції поперечного перерізу бруто відносно відповідних осей (i_y).

8.2.3 Згин та осьовий стиск

(1) Всі елементи, піддані спільній дії згину та осьового стиску мають задовольняти умову (8.31):

$$\frac{\omega_x N_{Ed}}{x_y f_o A_{eff} / \gamma_{M1}} + \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{f_o W_{eff,y,com} / \gamma_{M1}} \leq 1 \quad (8.31)$$

де

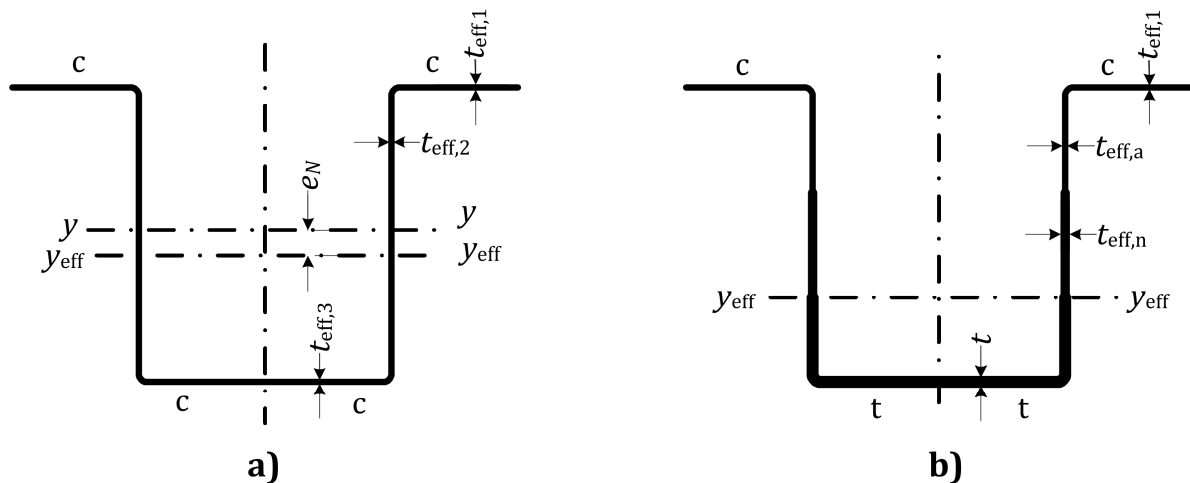
A_{eff} — ефективна площа ефективного поперечного перерізу, визначена для випадку, коли діє тільки осьовий стиск; див рисунок 8.10(a);

$W_{eff,y,com}$ — ефективний момент опору для максимального стискального напруження ефективного поперечного перерізу, на який діє лише момент відносно осі у-у, див. рисунок 8.10 (b);

$\Delta M_{y,Ed}$ — додатковий момент, що виникає через можливе зміщення центральної осі, див. 8.1.9(2);

x_y — понижувальний коефіцієнт з 8.2.2 для втрати стійкості відносно осі;

ω_x — коефіцієнт розподілу моменту другого порядку, див. (2).



Умовні позначки:

(a) — поперечний переріз брутто

(b) — ефективний поперечний переріз

Рисунок 8.10 — Ілюстрація зміщення центральної осі ефективного поперечного перерізу

(2) Для профільованих листів, що піддані спільній дії осьового стиску та неоднакових кінцевих моментів та/чи поперечних навантажень, рекомендовано перевірити різні перерізи вздовж усього прогону.

Фактичний згинальний момент у розгляданому перерізі використовують у рівнянні взаємодії та в формулі (8.32):

$$\omega_x = \chi_y + (1 - \chi_y) \sin(\pi x_s / l_c) \quad (8.32)$$

де

x_s — відстань між розгляданим перерізом та шарнірною опорою чи точкою перегину кривої пружного прогину під дією тільки поздовжньої сили, див. EN1999-1-1;

$l_c = kL$ — розрахункова довжина, див. EN 1999-1-1.

Для спрощення дозволено застосовувати $\omega_x = 1$.

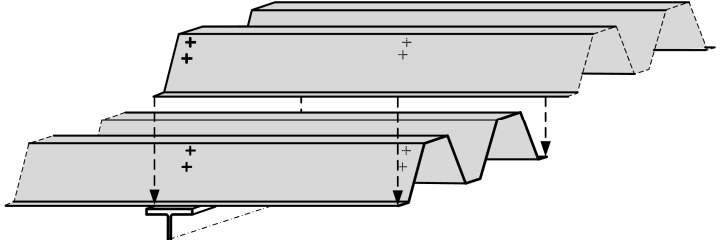
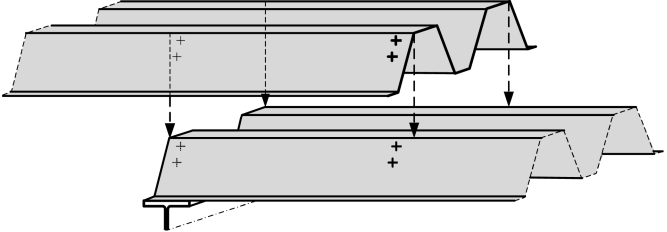
8.3 Трапецієподібні профільовані листи з напуском на опорі

8.3.1 Момент опору з'єднання внапусток

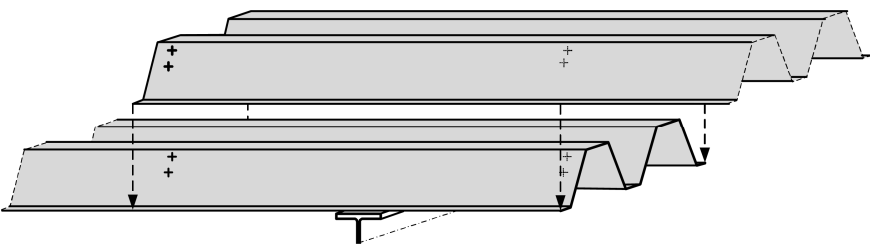
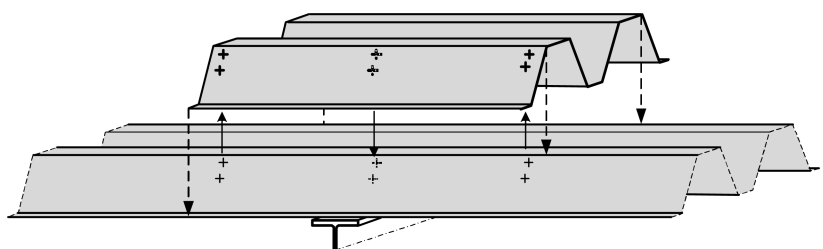
8.3.1.1 Загальні положення

(1) З'єднання внапусток кінців листів, що запроєктоване статично незмінюваним, рекомендовано застосовувати тільки на внутрішніх опорах нерозрізної системи. Різні системи з'єднання листів внапусток наведено в таблиці 8.2. Їх розміри мають відповідати цьому розділу та розділам 8.3.2—8.3.5 відповідно.

Таблиця 8.2 — Розрахункова схема з'єднання листів внапусток з одинарним або подвійним напуском або підсилення

Розділ 8.3.2	Одинарний напусток з консольними нижніми листами (<i>Single overlap with cantilevered lower sheeting; SOL-L</i>)	
Розділ 8.3.3	Одинарний напусток з консольними верхніми листами (<i>Single overlap with cantilevered upper sheeting; SOL-U</i>)	

Кінець таблиці 8.2

Розділ 8.3.4	Подвійний напуск (<i>Double overlap; DOL</i>)	
Розділ 8.3.5	Нерозрізні листи посилені над опорою (<i>Continuous sheeting reinforced above the support; CR</i>)	

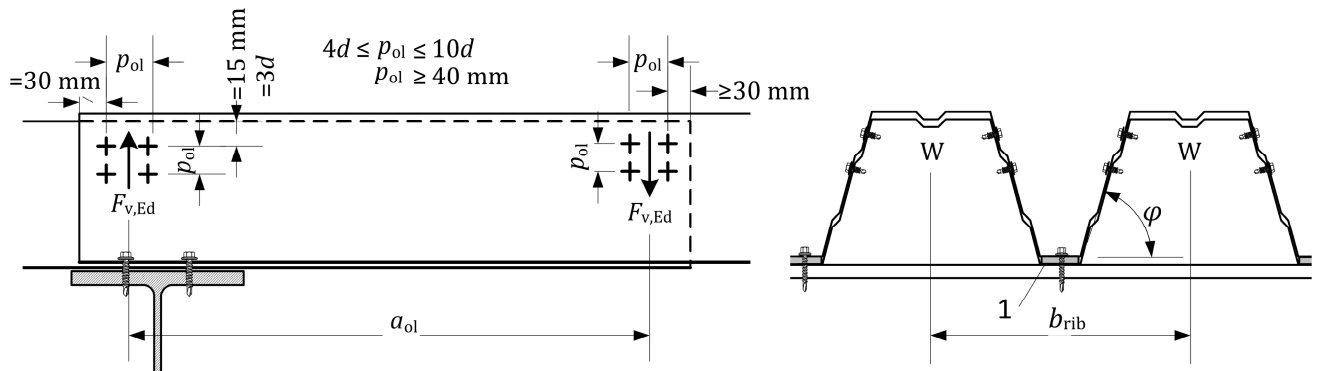
(2) Для профільованих листів товщиною більш ніж 1,00мм, в залежності від поперечного перерізу (наприклад, зі стінками, в яких $\varphi > 75^\circ$, та плоскими жолобами (див. рисунок 8.11), можна вважати, посилення з листа для нижньої полиці на опорі вже виконано.

(3) У разі, якщо стінки профільованого листа частково перфоровані, то кріпильні вироби рекомендовано розташовувати на неперфорованих ділянках стінок.

8.3.1.2 Нерозрізні профільовані листи завдяки з'єднанню внапусток стінок кріпильними елементами

(1) Ділянку з'єднання внапусток дозволено вважати нерозрізною, якщо довжина з'єднання внапусток становить не менше $0,08L$ та кріпильні вироби розташовані як показано на рисунку 8.11. Довжина прольотів має бути приблизно однаковою.

(2) Для кріпильних виробів крайові відстані та інтервали приймають відповідно до рисунку 8.11.



Умовні позначки:

1 — підкладка з листа

Рисунок 8.11 —Трапецієподібні профільовані листи з одинарним напустком на опорі

(3) Рекомендовано використовувати як мінімум два кріпильних вироби в кожному вертикальному ряду з кожного боку вільного краю верхнього листа.

8.3.1.3 Розрахункова схема, що враховує деформацію з'єднань внапусток та кріпильних виробів

(1) Рекомендовано використовувати розрахункову схему відповідно до рисунку 8.12, в якій кріпильні вироби змодельовані у вигляді пружин з постійною пружністю $K_{ol,f}$ або $K_{ol,w}$ відповідно до (5).

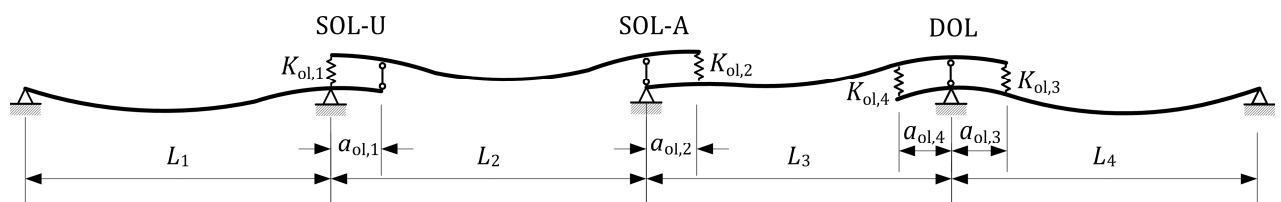


Рисунок 8.12 —Розрахункова схема для трапецієподібних профільованих листів з одинарним напустком на опорі

(2) Довжина з'єднання внапусток має бути в інтервалі від $0,065L$ до $0,11L$, де L — найбільший із сусідніх прольотів. Але довжина з'єднання внапусток не має бути більшою, ніж $0,15$ найкоротшого сусіднього прольоту.

(3) Відстані до краю елемента, відстані до кромки від кріпильної деталі та інтервали між отворами для кріпильних виробів мають відповідати умовам, зазначеним в розділі 10.3, для кріпильних виробів на гребені чи в жолобі в таблиці 8.3.

(4) Жорсткість пружного елемента з'єднання рекомендовано приймати відповідно до формули (8.33):

— для кріпильних виробів у нижній полиці:

$$K_{ol,f} = 0,5k_{ol}E \sqrt{\frac{t^3 d_w}{h_w b_p}} \quad (8.33)$$

— для кріпильних виробів у верхній полиці над опорою: $0,5K_{ol,f}$ відповідно до формули (8.33);

— для кріпильних виробів у стінках: деформацію можна не враховувати, тобто $K_{ol,f} = \infty$,

де

k_{ol} — коефіцієнт згідно таблиці 8.3;

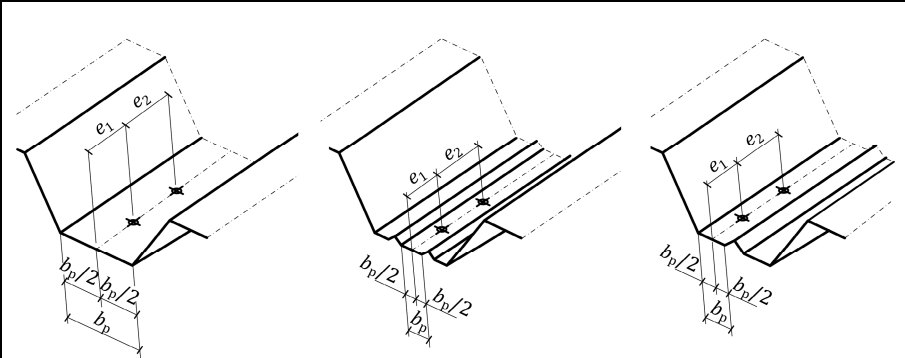
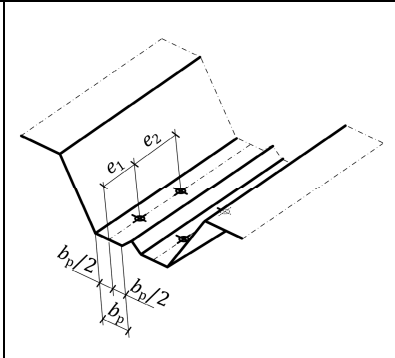
d — діаметр кріпильного виробу;

d_w — діаметр шайби;

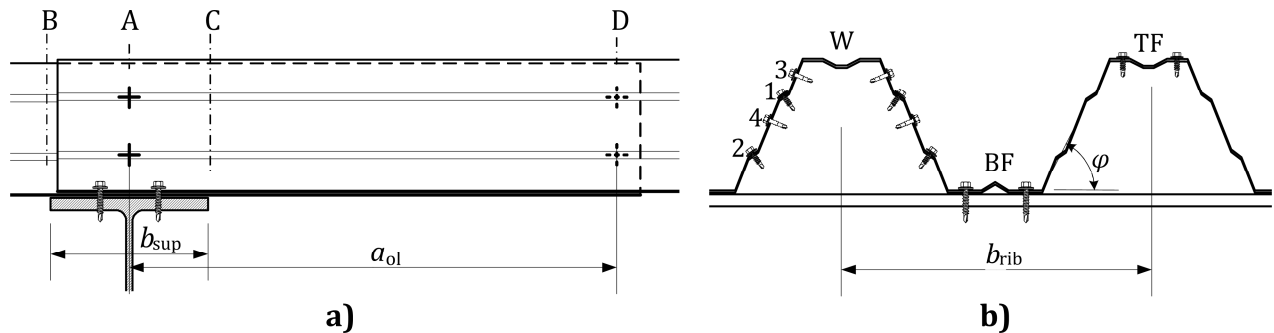
h_w — висота профілю;

b_p — ширина плоскої частини полиці згідно таблиці 8.3.

Таблиця 8.3 — Розташування кріпильних виробів над опорою та коефіцієнт деформації

	
$e_1 \geq b_p, e_2 \geq 40\text{мм}$ $k_{ol} = 0,07$	$e_1 \geq b_p, e_2 \geq 40\text{мм}$ $k_{ol} = 0,13$

(5) Кріпильні вироби на кінцях з'єднань внапусток мають бути розподілені по висоті стінки в порядку 1, 2, 3 ... відповідно до рисунку 8.13; за необхідності в двох вертикальних рядах:



Умовні позначки:

(a) — одинарний напусток типу SOL-L

(b) — альтернативні положення кріпильних виробів

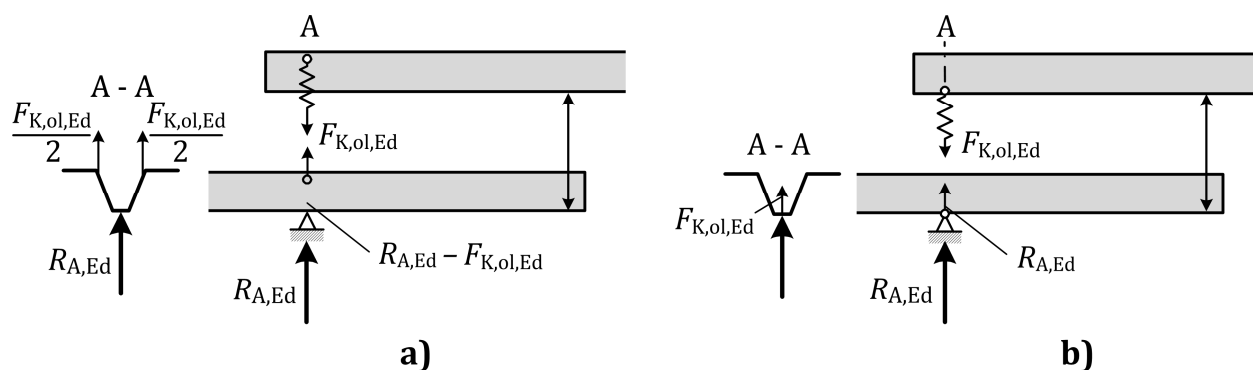
Рисунок 8.13 — Трапецієподібні профільовані листи з одинарним напустком на опорі (SOL-L)

(6) Кріпильні вироби мають бути розраховані на зусилля в пружинах розрахункової схеми, згідно рисунку 8.12, з урахуванням нахилу стінки.

8.3.2 Одинарний напусток зі перекриванням нижнього листа (SOL-L)

(1) Якщо переважає навантаження, спрямоване донизу, кріпильні вироби на консольному кінці (переріз D на рисунку 8.13) у варіанті SOL-L можна не виконувати. В такому випадку під дією підйомної сили листи рекомендовано розглядати як шарнірно закріплені.

(2) Нижній лист рекомендовано розраховувати залежно від положення кріпильних виробів W, FT чи BF згідно рисунку 8.14.



Умовні позначки:

(a) — варіант W чи TF (кріпильні вироби в стінках або гребенях)

(b) — варіант BF (кріпильні вироби в жолобі)

Рисунок 8.14 — Опорна реакція для напустку з перекриванням нижнього листа (SOL-L)

(3) Кріпильні вироби рекомендовано розраховувати на зусилля зсуву стінки відповідно до формули (8.34):

$$F_{k,ol,Ed} = \varphi_{fold} \frac{|M_{supp,Ed}|}{2a_{ol}\sin\varphi} \cdot b_{rib} \text{ для SOL-L} \quad (8.34)$$

де

$M_{supp,Ed}$ — згинальний момент на опорі;

φ_{fold} — 1,0 для кріпильних виробів в плоскій частині стінки та 1,33 для кріпильних виробів в складках;

φ — нахил стінки;

b_{rib} — крок профілю.

8.3.3 Одинарний напусток з перекриванням верхнього листа (SOL-U)

(1) У випадку з'єднання внапусток з перекриванням верхнього листа (SOL-U відповідно до таблиці 8.2) опорна реакція має бути розділена на два листи згідно рисунку 8.15.

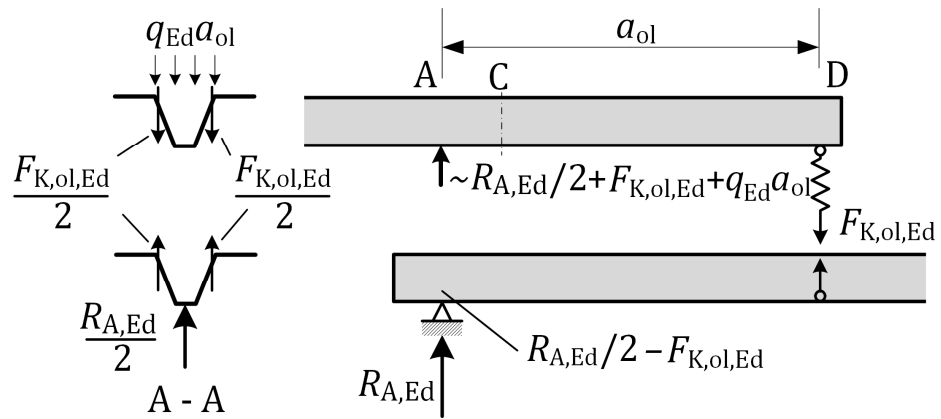


Рисунок 8.15 — Опорна реакція для напустку з перекриванням верхнього листа (SOL-U)

(2) Кріпильні вироби рекомендовано розраховувати на зусилля зсуву стінки відповідно до формули (8.35):

$$F_{k,ol,Ed} = \frac{|M_{supp,Ed}| + a_{ol}|V_{supp,L,Ed}|}{2a_{ol}\sin\varphi} \cdot b_{rib} \text{ для SOL-U} \quad (8.35)$$

де

$M_{supp,Ed}$ — згинальний момент на опорі;

$V_{supp,L,Ed}$ — зусилля зсуву, прикладене до лівого краю опори;

φ — нахил стінки;

b_{rib} — крок профілю.

8.3.4 Подвійний напусток (DOL)

(1) Опір ділянки подвійного напустку (для спільної дії згинального моменту і опорної реакції) DOL, згідно таблиці 8.2, рекомендовано приймати як суму опору нижнього листа на опорі та згинального моменту в верхньому листі, розрахованого як опір R_{wEd} , згідно (5), помноженого на a_{ol} , але не більше ніж опір згинальному моменту самого листа, див. рисунок 8.16. Згинальний момент та опорна реакція мають бути прийняті збільшеними за рахунок подвійного листа, але не менше ніж 1,1 рази від моменту, отриманого за нерозрізною схемою. Умови (8.36), (8.37) та (8.38) мають бути виконані.

$$0,8 \left\{ \frac{1,1M_{\text{cont,Ed}}}{\min(M_{\text{u,Rd}}; R_{\text{w,Rd}}a_{\text{ol}}) + M_{\text{l,Rd}}} + \frac{F_{\text{cont,Ed}}}{R_{\text{wu,Ed}} + R_{\text{wl,Ed}}} \right\} \leq 1 \quad (8.36)$$

$$\frac{1,1M_{\text{cont,Ed}}}{\min(M_{\text{u,Rd}}; R_{\text{w,Rd}}a_{\text{ol}}) + M_{\text{l,Rd}}} \leq 1 \quad (8.37)$$

$$\frac{F_{\text{cont,Ed}}}{R_{\text{wu,Ed}} + R_{\text{wl,Ed}}} \leq 1 \quad (8.38)$$

де

$M_{\text{cont,Ed}}$ — згинальний момент на опорі у випадку коли лист неперервний на опорі;

$F_{\text{cont,Ed}}$ — опорна реакція у випадку коли лист неперервний на опорі;

$M_{\text{u,Rd}}$ — опір згинальному моменту верхнього листа;

$M_{\text{l,Rd}}$ — опір згинальному моменту нижнього листа;

$R_{\text{w,Rd}}$ — опір поперечним силам, визначений згідно 8.1.7.3 виходячи з навантаженої довжини, що дорівнює відстані по вертикалі між кріпильними виробами в перерізі E на рисунку 8.16;

a_{ol} — довжина напущку;

$R_{\text{wu,Ed}}$ — опір верхнього листа поперечним силам згідно 8.1.7.3;

$R_{\text{wl,Ed}}$ — опір нижнього листа поперечним силам згідно 8.1.7.3.

(2) Гвинти на кінці напущку рекомендовано перевірити на зусилля зсуву за формулою (8.39):

$$F_{\text{K,ol,Ed}} = \frac{|M_{\text{supp,Ed}}|/2 - q_{\text{Ed}}a_{\text{ol}}^2/2}{2a_{\text{ol}}\sin\varphi} \cdot b_{\text{rib}} \quad (8.39)$$

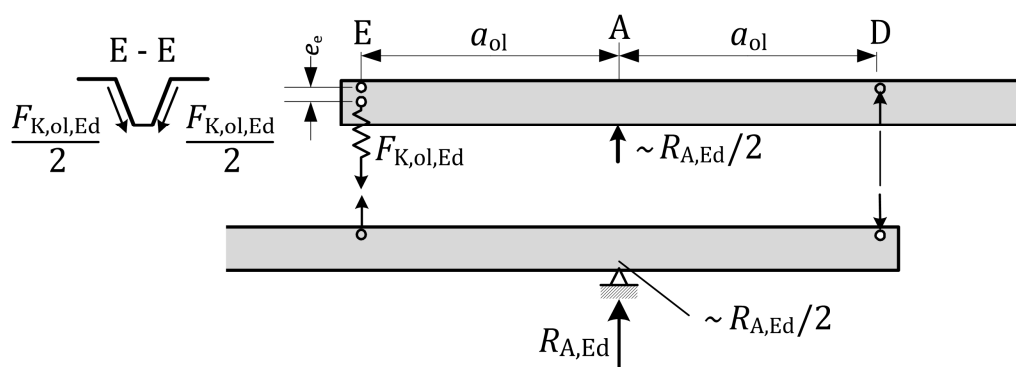


Рисунок 8.16 — Опорна реакція та згинальний момент для подвійного напущку (DOL)

(3) Листи за межами кінців напустку (D та E на рисунку 8.16) мають бути перевірені на згинальний момент у цьому перерізі без урахування спільної роботи двох листів.

(4) Кінець верхнього листа рекомендовано перевіряти на силу реакції $F_{K,ol,Ed}$ та опір R_{wEd} виходячи з навантаженої довжини, що дорівнює відстані по вертикалі e_e між кріпильними виробами в перерізі E, див. рисунок 8.17.

(5) Якщо переважає навантаження, спрямоване донизу, і немає результтивного навантаження відриву, то кріпильні вироби на консольному кінці D рисунок 8.16 можна не враховувати.

8.3.5 Місцеве підсилення (CR)

(1) Опір листа підсиленого додатковим листом поверх неперервного листа (CR згідно таблиці 8.3 та рисунку 8.17) дозволено прийняти таким як для подвійного напустку з 8.3.4.

Національна примітка

У тексті допущено технічну помилку. Замість посилання на таблицю 8.3 має бути посилання на таблицю 8.2.

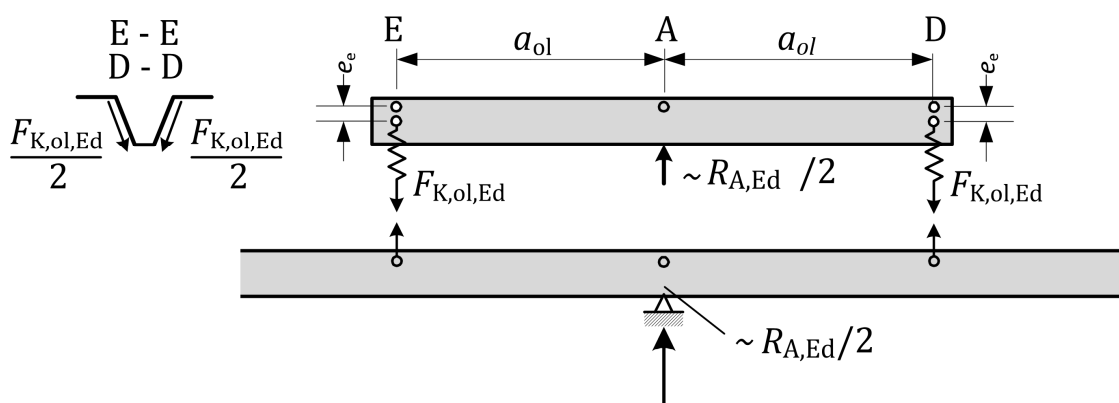


Рисунок 8.17 — Опорна реакція неперервного листа з підсиленням (CR)

(2) Кріпильні вироби рекомендовано встановлювати в стінках на консольних кінцях D та E та над опорою A.

(3) Якщо лист підсилення перебуває під неперервним листом, то опір над опорою можна отримати як суму опорів двох листів. Листи за межами кінців напустку рекомендовано перевіряти згідно 8.1.4.

8.3.6 Трапецієподібні профільовані листи з боковим напустком

(1) Додаткові напустки по краях (бокові напустки) листів можна використати для збільшення опору згинального моменту і жорсткості під дією розподілених навантажень (рівномірних в поперечному напрямку) шляхом множення на коефіцієнт за формулою (8.40):

$$\mu_{so} = 1 + 1,02 \frac{n_p}{n_c} - 0,02 \frac{n_c}{n_p} \quad (8.40)$$

де

n_c — кількість кроків між поздовжнім краєм профільованого листа і таким же краєм наступного листа, див. рисунок 8.18;

n_p — кількість повних кроків подвійного профільованого листа у межах ширини, що дорівнює значенню n_c помноженого на ширину кроку, див. рисунок 8.18, при $1 \leq n_p \leq n_c$ та $n_p \leq 7$.

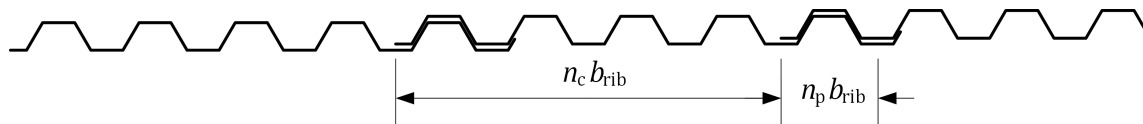


Рисунок 8.18 — Боковий напусток профільованих листів

8.4 Проєктування з урахуванням роботи обшивки

8.4.1 Загальні положення

(1) Взаємодія між конструкційними елементами та профільованими листами, призначеними для спільної роботи як частини комбінованої конструктивної системи, можна враховувати як описано у 8.4.

(2) Дозволено складати діафрагму з профільованих алюмінієвих

листів, використаних як покриття чи зовнішня обшивка стін.

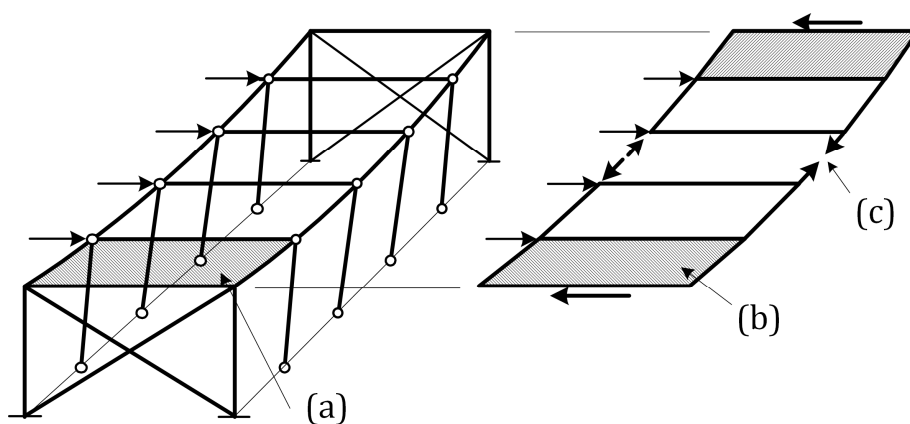
Примітка. Інформація щодо перевірки таких діафрагм може бути отримана з: Публікації ECCS №88 (1995): Європейські рекомендації щодо використання металевих профільованих листів, які працюють як діафрагма.

8.4.2 Діафрагмова робота

(1) У проектуванні з урахуванням роботи обшивки, дозволено вважати, що діафрагми з профільованих листів, що працюють як покриття, перекриття чи зовнішня обшивка стін, забезпечують загальну жорсткість і міцність конструктивної рами завдяки їх власній міцності та жорсткості на зсув.

(2) Покриття та перекриття можна вважати балками-стінками, що виходять за межі будівлі та сприймають поперечне навантаження в одній площині та передають їх на кінцеві опори чи проміжні жорсткі рами. Панель обшивки можна розглядати як стінку, що сприймає поперечне навантаження зсуву в одній площині, з крайніми елементами, що працюють як пояси, які сприймають зусилля поздовжнього розтягу чи стиску, див. рисунок 8.19 та 8.20.

(3) Так само, прямокутні стінові панелі можна розглядати як систему в'язей жорсткості, що працює як діафрагма, яка сприймає сили зсуву в їх площині.



Умовні позначки:

(a) — обшивка

(b) — поле зсуву в покритті

(c) — сили в поясах в крайніх елементах

Рисунок 8.19 — Робота з урахуванням обшивки для будівлі з плоскою покрівлею

8.4.3 Необхідні умови

(1) Методи проєктування з урахуванням роботи обшивки, які враховують обшивку як неподільну частину конструкції, можна використати лише за наступних умов:

- окрім виконання основної функції, обшивка бере участь у формуванні діафрагм, що протистоять переміщенням конструкції у площині обшивки;

- діафрагми мають поздовжні крайові елементи, призначені для передавання бічних сил, що виникають час діафрагмової роботи;

- зусилля, що виникають у діафрагмі у площині покриття чи перекриття, передаються на фундаменти через в'язеві рами, інші діафрагми з робочою обшивкою чи за допомогою інших засобів забезпечення поперечної стійкості;

- відповідні конструкційні з'єднання використовують для передачі діафрагмових зусиль на основну раму і для з'єднання крайових елементів, що працюють як пояси;

- обшивку слід вважати конструкційним компонентом, який не може

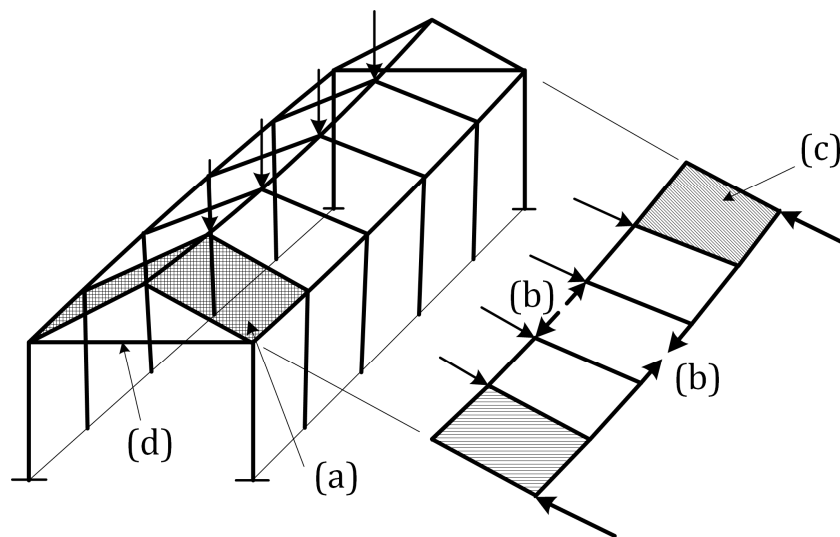
бути видалений без ґрунтового розгляду;

— в робочій документації, включно з розрахунками та кресленнями, слід привернути увагу до факту, що будівлю запроєктовано з урахуванням роботи обшивки;

— рекомендовано встановити попереджувальні знаки щодо того, що стіни використано як конструктивні компоненти і вони не можуть бути прибрані без прийняття запобіжних заходів для забезпечення стійкості.

(2) Проєктування з урахуванням обшивки можна використовувати для покриття, перекриття та фасадів будівель.

(3) Діафрагми з робочою обшивкою переважно використовують для сприйняття вітрових, снігових та інших навантажень, що діють безпосередньо на саму обшивку, включаючи сейсмічні дії. Також, їх можна використовувати для роботи з невеликими тимчасовими навантаженнями, такими як поштовхи від легких мостових кранів чи кран-балок, але не можна використовувати для протистояння постійним зовнішнім навантаженням, таким як технологічні навантаження.



Умовні позначки:

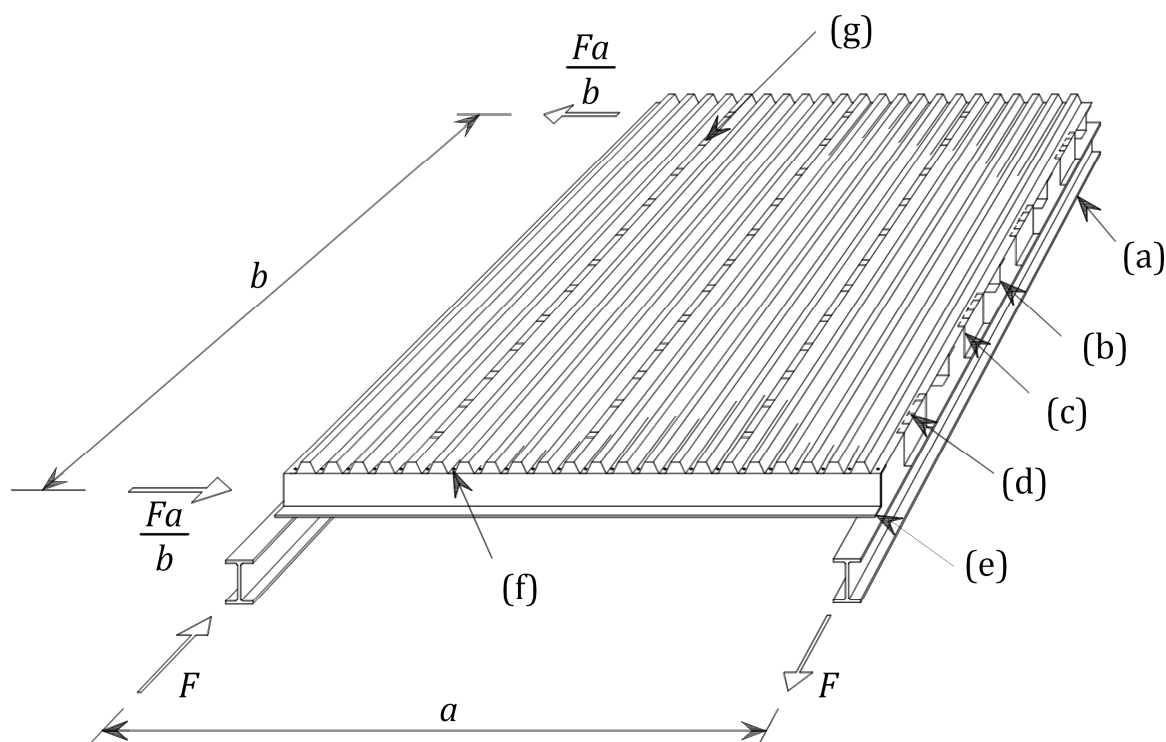
(a) — обшивка

(b) — сили в поясах в крайніх елементах

(c) — поле зсуву в покритті

(d) — торцеві в'язі, необхідні для передачі зусиль від листів покрівлі

Рисунок 8.20 — Робота обшивки у будівлі зі скатною покрівлею



Умовні позначки:

- (a) — балка;
- (b) — прогін;
- (c) — з'єднувальний елемент, що працює на зріз;
- (d) — з'єднання листа для попередження зсуву;
- (e) — прогін;
- (f) — з'єднання листа з прогоном;
- (g) — з'єднання по шву.

Рисунок 8.21 — Компоновка окремої панелі

8.4.4 Діафрагми з профільованого алюмінієвого листа

(1) У діафрагмі з профільованого алюмінієвого листа, (див. рисунок 8.21) обидва краї листів мають бути приєднані до опорних елементів самонарізальними або самосвердлувальними гвинтами, зварюванням, болтами чи іншими кріпильними виробами, що не будуть втрачати працездатність під час експлуатації, вириватися чи зрізатися до появи руйнувань. Усі ці кріпильні вироби рекомендовано фіксувати крізь листи безпосередньо в опорних елементах, наприклад, через жолоби профільованих листів, якщо не вжито спеціальних заходів для

забезпечення ефективного передавання зусиль, передбачених проєктом.

(2) Шви між прилеглими листами мають бути з'єднані заклепками, самосвердлувальними гвинтами, зварюванням чи іншими кріпильними деталями, що не будуть втрачати працездатність під час експлуатації, вириватися чи зрізатися до появи руйнувань. Відстань між такими кріпильними виробами має бути не більшою ніж 500 мм.

(3) Відстань від будь-яких кріпильних виробів до ребер та кромок листів має бути достатньою для запобігання передчасному розриванню листів.

(4) Маленькі, хаотично розташовані отвори, що становлять до 3 % відповідної площі, можна влаштовувати без спеціальних розрахунків, за умови, що загальну кількість кріпильних виробів не буде зменшено. Отвори, що становлять до 15% відповідної площі (площа поверхні діафрагми, врахована у розрахунках) дозволено влаштовувати, якщо це обґрунтовано більш детальними розрахунками. Площі, що містять більшу кількість отворів, рекомендовано розбити на менші ділянки, кожную з повною роботою діафрагми.

(5) Усі профільовані листи, з яких сформовано частини діафрагм робочої обшивки, мають спочатку бути розраховані за основним призначенням на згин. Щоб запобігти погіршенню роботи обшивки при згині внаслідок того, що вона виконує функцію діафрагми, рекомендовано перевірити, чи зсувне зусилля, викликане роботою діафрагми, не перевищує $0,25 f_o / \gamma_{M1}$.

(6) Несна здатність з'єднань листів з листами та з'єднань листів з елементами паралельних гофрам або для діафрагм, закріплених тільки до поздовжніх елементів, кінцевих з'єднань листів з елементами має бути розрахована на дію розрахункового навантаження:

— розрахований опір зсуву при руйнуванні з'єднань профільованого листа до прогону та з'єднань профільованого листа до балки на головних балках має перевищувати розрахункове навантаження як мінімум на 50%,

за винятком випадкових дій через деформацію профілю (рисунок 8.22(6)) та перпендикулярних сил, що виникають у прогоні через проковзування в швах (рисунок 8.22(5)), що враховано відповідним розрахунком;

— використання підкріплення на кінці (див. рисунок 8.22(9)) може запобігти випадковим діям через деформування профілю;

— комбінацію сили зсуву та підйомної сили, що виникає під дією вітру, рекомендовано перевірити відповідно до 10.1(7);

— для інших видів руйнування, опір має перевищувати розрахункове навантаження як мінімум на 25 %.

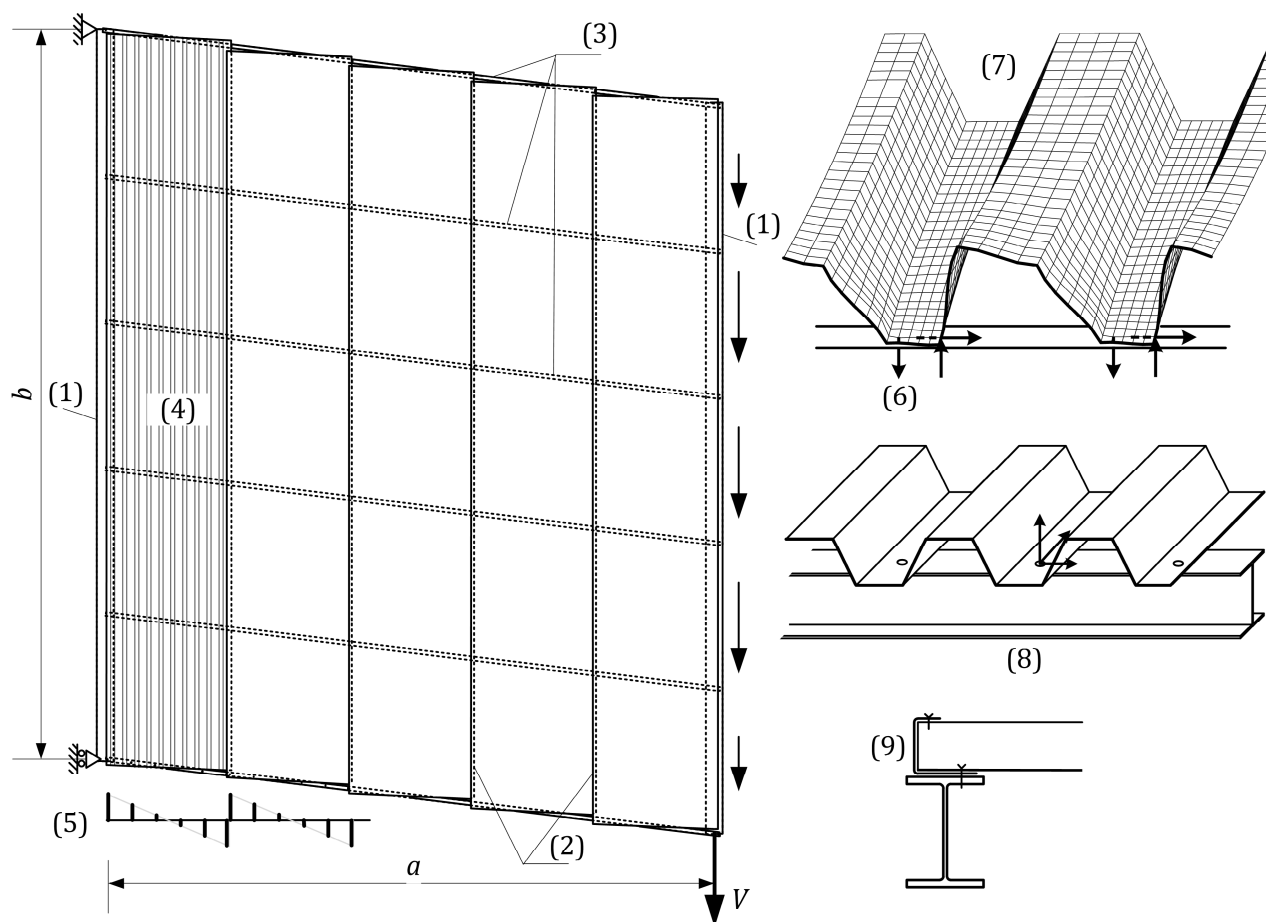


Рисунок 8.22 — Компоновка панелі діафрагми

Умовні позначки:

- (1) — балка;
- (2) — з'єднання по шву;
- (3) — прогони;;
- (4) — торцевий лист
- (5) — зусилля зсуву, що виникають через проковзування в швах;
- (6) — ефект зсуву та випадкової дії на кінці перерізу;
- (7) — середній переріз;
- (8) — сили, що діють на з'єднання профільованого листа до прогону;
- (9) — підкріплення на кінці, що запобігає виникненню випадкових дій на кінці перерізу.

Рисунок 8.22 — Аркуш 2

(7) Горизонтальний прогин діафрагми покриття має відповідати умові формули (8.41):

$$v_h \leq \frac{1,2q_{h,Ed}h_{bu}}{b_{bu}q_{v,Ed}} \quad (8.41)$$

де

$q_{h,Ed}$ — горизонтальне навантаження по довжині, що діє уздовж діафрагми покриття;

h_{bu} — висота колон уздовж будівлі;

b_{bu} — ширина будівлі;

$q_{v,Ed}$ — вертикальне навантаження на одиницю площі, що діє на покриття (сніг, власна вага та стиск від вітру);

v_h — максимальна горизонтальна деформація діафрагми покриття, обумовлена $q_{h,Ed}$.

Примітка. Формули для розрахунку прогину наведено в підрозділі 8.4.1 (2).

8.5 Перфорована обшивка з отворами у формі рівнобічних трикутників

(1) Перфороване покриття дозволено проєктувати шляхом розрахунків, за умови, що правила розрахунку неперфорованого покриття

змінені з уведенням ефективної товщини наведеної нижче.

Примітка. Ці правила розрахунку, як правило, дають консервативні результати. Більш економічні рішення можна отримати шляхом проектування за допомогою випробувань.

(2) За умови $0,2 \leq d_{\text{per}}/a_{\text{per}} \leq 0,9$ характеристики перерізу брутто дозволено розраховувати згідно 8.1.2 — 8.1.5, але замість t слід використовувати $t_{\text{a,eff}}$, що обчислена за (8.42):

$$t_{\text{a,eff}} = 1,18t \left(1 - \frac{d}{0,9a} \right) \quad (8.42)$$

де

d_{per} — діаметр перфорації;

a_{per} — відстань між центрами перфорації.

(3) За умови, що $0,2 \leq d/a \leq 0,9$ характеристики ефективного перерізу можна вирахувати за 7.5, але замість t слід використовувати $t_{\text{b,eff}}$, що обчислена за (8.43):

$$t_{\text{b,eff}} = t \sqrt[3]{1,18 \left(1 - \frac{d}{a} \right)} \quad (8.43)$$

(4) За умови, що $0,2 \leq d_{\text{per}}/a_{\text{per}} \leq 0,9$ опір одинарної непідкріпленої стінки місцевим поперечним силам можна обчислити за 8.1.7, але замість t слід використовувати $t_{\text{c,eff}}$, що обчислена за (8.44):

$$t_{\text{c,eff}} = t \left[1 - \left(\frac{d}{a} \right)^2 \cdot \frac{s_{\text{per}}}{s_{\text{w}}} \right]^{3/2} \quad (8.44)$$

де

s_{per} — похила висота перфорованої частини стінки, центрована відносно висоти стінки;

s_{w} — повна похила висота стінки.

9 ГРАНИЧНІ СТАНИ ЗА ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЮ ПРИДАТНІСТЮ

9.1 Загальні положення

(1) Правила для граничних станів за експлуатаційною придатністю, наведені у EN 1999-1-1, слід застосовувати також до холодноформованих листів.

(2) Геометричні характеристики ефективного поперечного перерізу для граничного стану за експлуатаційною придатністю, отримані з параграфу (3), рекомендовано використовувати для всіх розрахунків за граничними станами за експлуатаційною придатністю для холодноформованих листів.

(3) Момент інерції дозволено обчислювати шляхом інтерполяції поперечного перерізу бруто та ефективного поперечного перерізу з використанням формули (9.1):

$$I_{\text{ser}} = I_{\text{gr}} - \frac{\sigma_{\text{ser,Ed}}}{0,6f_0} (I_{\text{gr}} - I(0,6)_{\text{eff}}) \quad (9.1)$$

де

I_{gr} — момент інерції поперечного перерізу бруто;

$I(0,6)_{\text{eff}}$ — момент інерції ефективного поперечного перерізу з урахуванням місцевої втрати стійкості, розрахований для максимального напруження $0,6f_0$;

$\sigma_{\text{ser,Ed}}$ — максимальне стискальне напруження від згину при граничному стані за несною здатністю, що ґрунтується на поперечному перерізу бруто (у формулі додатне значення).

(4) Ефективний момент інерції I_{ser} дозволено приймати як змінний по довжині прольоту, наприклад шляхом дискретизації кожного прольоту щонайменше на 10 елементів. Як альтернативу, можна використовувати постійну величину моменту інерції, використовуючи формулу (9.2).

$$I_{\text{ser}} = (2I_{\text{ser,f}} + I_{\text{ser,s}})/3 \quad (9.2)$$

де

$I_{\text{ser,f}}$ — момент інерції в середині прольоту для граничного стану за експлуатаційною придатністю;

$I_{ser,s}$ — середнє значення моменту інерції для двох опор в прольоті для граничного стану за експлуатаційною придатністю.

9.2 Пластична деформація

(1) У випадку розрахунку з урахуванням розвитку пластичних деформацій, комбінація опорного моменту та опорної реакції на проміжній опорі не має перевищувати 0,9 від об'єднаного розрахункового опору, визначеного через $I_{eff,ser}$ згідно 9.1(3).

(2) Об'єднаний розрахунковий опір дозволено визначати за формулою (8.26) в 8.1.11, при цьому використовуючи ефективний поперечний переріз для граничного стану за експлуатаційною придатністю.

9.3 Прогини

(1) Прогини можна розрахувати за умови пружної роботи конструкції.

(2) У розрахунку прогинів, зусиль та моментів рекомендовано враховувати вплив піддатливості з'єднань (наприклад у випадку нерозрізних профільованих листів зі з'єднаннями внапусток).

Примітка. Для часто використовуваних кріпильних виробів, відповідно до підрозділів 10.2 і 10.3, проковзуванням можна знехтувати.

(3) Відповідно до EN 1990, границі прогинів мають бути вказані окремо для кожного проєкту та узгоджені з замовником.

Примітка.

Границі можуть бути вказані в національному додатку.

10 ПРОЄКТУВАННЯ ВУЗЛІВ З МЕХАНІЧНИМИ КРІПІЛЬНИМИ ВИРОБАМИ

10.1 Загальні положення

(1) З'єднання з механічними кріпильними виробами мають бути компактними. Розташування кріпильних деталей має бути таким, щоб

забезпечити достатньо місця для збирання та обслуговування під час експлуатації. Мінімальні значення відстаней та інтервалів для кріпильних елементів наведено в таблиці 10.1 та таблиці 10.2, де позначки відстаней та інтервалів наведено на рисунку 10.1.

Таблиця 10.1 — Відстані та інтервали для кріпильних виробів

	Відстані та інтервали	
	Нормальні	Мінімальні
p_1	$3d$	$2,4d$
p_2	$3d$	$2,4d$
e_1	$2d$	$1,5d$
e_2	$1,5d$	$1,2d$
	Повний опір	2/3 від повного опору

Таблиця 10.2 —Понижувальний коефіцієнт значень несної здатності згідно 10.2.1.1 та 10.3.2.1

Кріпильні вироби	
Крайові	Внутрішні
$(2(e_1/d) - 1)/3$	$0,56(p_1/d) - 0,68$
$1,12(e_2/d) - 0,68$	$0,56(p_2/d) - 0,68$

(2) Сили зсуву в окремих механічних кріпильних деталях у з'єднаннях дозволено вважати рівними за умови:

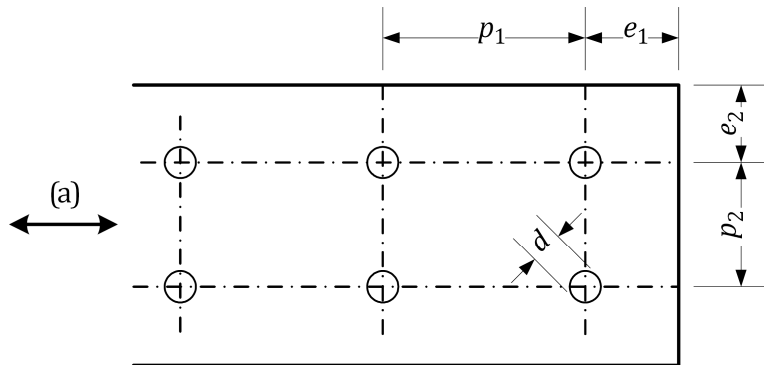
- кріпильні вироби мають достатню пластичність;
- руйнування кріпильного виробу не є критичним видом пошкодження.

(3) При проєктуванні шляхом розрахунків, опір механічних кріпильних виробів, на які діють в основному статичні навантаження, має визначатися з 10.2 для глухих заклепок та з 10.3 для самонарізальних та самосвердлувальних гвинтів.

(4) Опір стиків та кінцевих з'єднання в елементах, підданих стиску, має бути такий самий, як і поперечний переріз елемента, або вони мають бути запроєктовані так, щоб витримувати додатковий згинальний момент, обумовлений впливами другого порядку всередині елемента, на додаток

до внутрішньої сили стиску N_{Ed} та внутрішніх згинальних моментів $M_{y,Ed}$ та $M_{z,Ed}$, що отримані після основного розрахунку. Рекомендовано використовувати методи, наведені в EN 1999-1-1.

(5) Частковий коефіцієнт для розрахунку розрахункових опорів механічних кріпильних виробів рекомендовано приймати як γ_{M3} згідно 4.



Умовні позначки:

(a) — напрямок передачі навантаження

Рисунок 10.1 — Відстань до краю елемента, відстань до кромки від кріпильного елемента та інтервали між кріпильними елементами

(6) Опір вириву, наведений у 10.2.3.1 для глухих заклепок та самонарізальних і самосвердлувальних гвинтів, залежить від розташування кріпильних деталей та має бути понижений, якщо кріпильні вироби не розташовані по центру жолобів у профільованих листах. Якщо точка кріплення зміщена на одну четверту ширини жолобу від його центру, то розрахунковий опір має бути понижений на $0,9F_{p,Rd}$. Якщо кріпильні вироби є в обох чвертях жолобу, то опір рекомендовано приймати з коефіцієнтом $0,7F_{p,Rd}$ на один кріпильний виріб, див. таблицю 10.5.

(7) Для кріпильного виробу, що одночасно навантажений зсувом та розтягом, за умови, що $F_{p,Rd}$, $F_{o,Rd}$, $F_{b,Rd}$ та $F_{n,Rd}$ обчислено шляхом розрахунків, згідно 10.2 для глухих заклепок або 10.3 для самонарізальних та самосвердлувальних гвинтів, опір кріпильного елемента можна перевірити за формулою (10.1):

$$\frac{F_{t,Ed}}{\min(F_{p,Rd}, F_{o,Rd})} + \frac{F_{v,Ed}}{\min(F_{b,Rd}, F_{n,Rd})} \leq 1 \quad (10.1)$$

(8) Деформацією поперечного перерізу можна знехтувати, якщо розрахунковий опір обчислювати за 10.2.3 та 10.3.3 за умови, що закріплення виконано через полицю, ширина якої не перевищує 150 мм.

(9) Діаметр отворів для гвинтів має відповідати вимогам виробника. Ці вимоги мають ґрунтуватися на наступних умовах:

- прикладений крутний момент має бути більшим, ніж крутний момент, необхідний для нарізування різьби;
- прикладений крутний момент має бути меншим ніж момент, що вириває зріз різьби чи головки гвинта;
- крутний момент при закручуванні має бути меншим за 2/3 крутного моменту, що зрізає головку гвинта.

(10) Правила для проєктування глухих заклепок дійсні за умови, що діаметр отвору перевищує діаметр заклепки не більше ніж на 0,1 мм.

10.2 Глухі заклепки

10.2.1 Розрахунковий опір заклепкових з'єднань, що працюють на зсув

10.2.1.1 Несна здатність

Несну здатність $F_{b,Rd}$ кріпильного виробу рекомендовано розраховувати за (10.2) та (10.3):

$$F_{b,Rd} = 2,5f_{u,min}\sqrt{t^3d}/\gamma_{M3} \text{ для } t_{sup}/t = 1,0, \\ \text{але } F_{b,Rd} \leq 1,5f_{u,min}td/\gamma_{M3} \quad (10.2)$$

$$F_{b,Rd} = 1,5f_{u,min}td/\gamma_{M3} \text{ для } t_{sup}/t \geq 2,5 \quad (10.3)$$

Для товщини $1,0 < t_{sup}/t < 2,5$ несну здатність $F_{b,Rd}$ дозволено отримувати лінійною інтерполяцією.

10.2.1.2 Опір перерізу нетто

Опір перерізу нетто $F_{\text{net,Rd}}$ з'єднаних частин біля кріпильного виробу рекомендовано розраховувати за формулою (10.4):

$$F_{\text{net,Rd}} = A_{\text{net}} f_u / \gamma_{\text{M3}} \quad (10.4)$$

10.2.1.3 Опір під дією зсуву

Опір під дією зсуву $F_{\text{v,Rd}}$ кріпильного виробу рекомендовано розраховувати за формулою (10.5):

$$F_{\text{v,Rd}} = 38d^2 / \gamma_{\text{M3}} [\text{H}] \text{ з } d \text{ в мм} \quad (10.5)$$

10.2.1.4 Умови для несної здатності та опору під дією зсуву

(1) Значення $f_{\text{u,min}}$ має бути не більше за 260 Н/мм^2 . Інші значення дозволено використовувати тільки після підтвердження випробуваннями.

(2) Діаметр кріпильного виробу має бути в діапазоні $2,6 \text{ мм} \leq d \leq 6,4 \text{ мм}$.

10.2.2 Загальні положення

(1) Опір гвинтів, що сприймають зсув, є найменшим значенням між несною здатністю $F_{\text{b,Rd}}$, опором перерізу нетто $F_{\text{net,Rd}}$ листа та опір під дією зсуву кріпильного елемента $F_{\text{v,Rd}}$.

(2) Застосовують граничні значення діаметра гвинтів, зазначені в наступних розділах, якщо тільки інші граничні значення не можуть бути отримані і підтверджені відповідними випробуваннями.

(3) Застосовують граничні значення міцності несних матеріалів, якщо тільки інші граничні значення не можуть бути отримані і підтверджені відповідними випробуваннями.

(4) Рекомендовано використовувати самонарізальні гвинти відповідно до EN ISO 1479, EN ISO 1481 або ISO 7049.

(5) Рекомендовано використовувати самосвердлувальні гвинти відповідно до EN ISO 15480 або EN ISO 15481.

Національна примітка

Допущено технічну помилку. Переплутано вміст підрозділів 10.2.2 та 10.3.1. Параграфи підрозділу 10.2.2 мають бути наступними:

(1) Опір глухих заклепок, що сприймають зсув, є найменшим значенням між несною здатністю $F_{b,Rd}$, опором перерізу нетто $F_{net,Rd}$ листа та опір під дією зсуву кріпильного елемента $F_{v,Rd}$.

(2) Хвостовик глухої заклепки має відповідати EN AW-5019.

(3) Рекомендовано використовувати глухі заклепки відповідно до EN ISO 15973, EN ISO 15974, EN ISO 15977, EN ISO 15978, EN ISO 15981 або EN ISO 15982.

10.2.3 Розрахунковий опір заклепкових з'єднань, що працюють на розтяг

10.2.3.1 Опір вириву

Опір вириву $F_{p,Rd}$ кріпильного виробу рекомендовано розраховувати за формулою (10.6):

$$F_{p,Rd} = 2,35a_E t f_0 / \gamma_{M3} \text{ [H]} \quad (10.6)$$

з t в мм та f_0 в Н/мм²; a_E згідно з таблицею 10.5 за дотримання наступних умов:

- $t \leq 1,5\text{мм}$;
- $d_w \geq 9,5\text{мм}$;
- значення $f_0 > 220 \text{ Н/мм}^2$ не рекомендовано враховувати.

10.2.3.2 Опір висмикуванню

Опір висмикуванню $F_{o,Rd}$ кріпильного виробу рекомендовано розраховувати за формулами (10.7) та (10.8):

- якщо опорний елемент виготовлено зі сталі:

$$F_{o,Rd} = 0,47 t_{sup} d f_y / \gamma_{M3} \quad (10.7)$$

- якщо опорний елемент виготовлено з алюмінію:

$$F_{o,Rd} = 0,20 t_{sup} d f_o / \gamma_{M3} \quad (10.8)$$

за дотримання наступних умов:

- значення товщини $t_{sup} > 6 \text{ мм}$ не потрібно враховувати;
- значення $f_y > 350 \text{ Н/мм}^2$ не потрібно враховувати;
- значення $f_o > 220 \text{ Н/мм}^2$ не рекомендовано враховувати.

Свердління отворів рекомендовано виконувати відповідно до рекомендацій виробника.

10.2.3.3 Опір розтягу

Опір розтягу $F_{t,Rd}$ кріпильного виробу рекомендовано розраховувати за формулою (10.9):

$$F_{t,Rd} = 47 d^2 / \gamma_{M3} [\text{Н}] \quad (10.9)$$

де d слід приймати в мм.

10.3 Самонарізальні / самосвердлувальні гвинти

10.3.1 Загальні положення

(1) Опір глухих заклепок, що сприймають зсув, є найменшим значенням між несною здатністю $F_{b,Rd}$, опором перерізу нетто $F_{net,Rd}$ листа та опором під дією зсуву кріпильного елемента $F_{v,Rd}$.

(2) Хвостовик глухої заклепки має відповідати EN AW-5019.

(3) Рекомендовано використовувати глухі заклепки відповідно до EN ISO 15973, EN ISO 15974, EN ISO 15977, EN ISO 15978, EN ISO 15981 або EN ISO 15982.

Національна примітка

Допущено технічну помилку. Переплутано вміст підрозділів 10.2.2 та 10.3.1. Параграфи підрозділу 10.3.1 мають бути наступними:

(1) Опір гвинтів, що сприймають зсув, є найменшим значенням між несною здатністю $F_{b,Rd}$, опором перерізу нетто $F_{net,Rd}$ листа та опір під дією

зсуву кріпильного елементу $F_{v,Rd}$.

(2) Застосовуються граничні значення діаметра гвинтів, зазначені в наступних розділах, якщо тільки інші граничні значення не можуть бути отримані і підтверджені відповідними випробуваннями.

(3) Застосовуються граничні значення міцності несних матеріалів, якщо тільки інші граничні значення не можуть бути отримані і підтверджені відповідними випробуваннями.

(4) Рекомендовано використовувати самонарізальні гвинти відповідно до EN ISO 1479, EN ISO 1481 або ISO 7049.

(5) Рекомендовано використовувати самосвердлувальні гвинти відповідно до EN ISO 15480 або EN ISO 15481.

10.3.2 Розрахунковий опір гвинтових з'єднань, що працюють на зсув

10.3.2.1 Несна здатність

(1) Несну здатність, якщо опорні елементи виготовлені зі сталі або з алюмінію, рекомендовано приймати за формулами (10.10) та (10.11):

$$F_{b,Rd} = 2,5f_{u,min}\sqrt{t^3d}/\gamma_{M3} \text{ для } t_{sup}/t = 1,0,$$

$$\text{але } F_{b,Rd} \leq 1,5f_{u,min}td/\gamma_{M3} \quad (10.10)$$

$$F_{b,Rd} = 1,5f_{u,min}td/\gamma_{M3} \text{ для } t_{sup}/t \geq 2,5 \quad (10.11)$$

за дотримання наступних умов:

- самонарізальні та самосвердлувальні гвинти мають бути з вуглецевої або нержавкої сталі з діаметром $d \geq 5,5\text{мм}$;
- значення $f_{u,min}$ має бути не більшим за 260 Н/мм^2 ;
- для $t > t_{sup}$ приймати $t = t_{sup}$;
- свердління отворів рекомендовано виконувати відповідно до рекомендацій виробника. Для товщини $1,0 < t_{sup}/t < 2,5$ несну здатність $F_{b,Rd}$ дозволено отримувати лінійною інтерполяцією.

(2) Несну здатність для алюмінієвих профільованих листів, якщо опорні елементи виготовлені з деревини, рекомендовано обчислювати за

формулою (10.12):

$$F_{b,Rd} \leq 1,5 t d f_{u,min} / \gamma_{M3} \text{ [H]} \quad (10.12)$$

за дотримання наступних умов:

— самонарізальні та самосвердлувальні гвинти мають бути з вуглецевої або нержавкої сталі з діаметром $5,5 \text{ мм} \leq d \leq 8,0 \text{ мм}$;

— відстані до кромки від кріпильного виробу та інтервали в дерев'яних елементах, див. EN 1995-1-1.

10.3.2.2 Опір перерізу нетто

Опір перерізу нетто $F_{net,Rd}$ з'єднаних частин біля гвинтів рекомендовано розраховувати за формулою (10.13):

$$F_{net,Rd} = A_{net} f_u / \gamma_{M3} \quad (10.13)$$

10.3.2.3 Опір під дією зсуву

Розрахунковий опір під дією зсуву гвинтів з вуглецевої або нержавкої сталі рекомендовано розраховувати за формулою (10.14):

$$F_{v,Rd} = 380 A_s / \gamma_{M3} \text{ [H]} \text{ з } A_s \text{ в мм}^2 \quad (10.14)$$

10.3. Розрахунковий опір гвинтових з'єднань, що працюють на розтяг

10.3.3.1 Опір вириву

(1) Якщо випробуваннями не підтверджено інше, опір вириву гвинтових з'єднань, що працюють на розтяг, рекомендовано розраховувати за формулою (10.15):

$$F_{p,Rd} = 6,1 \alpha_L \alpha_E \alpha_M t f_u \sqrt{d_w / 22} / \gamma_{M3} \text{ [H]} \quad (10.15)$$

з t та d_w в мм, f_u в Н/мм²; α_E та

— α_L коригувальний коефіцієнт для врахування розтягу при згині (таблиця 10.3);

— α_M коригувальний коефіцієнт для врахування типу шайб (таблиця

10.4);

— α_E коригувальний коефіцієнт для врахування розташування кріпильних елементів (таблиця 10.5).

Примітка. На опорних кінцях без напруження згину та в з'єднаннях на верхніх полицях α_L завжди дорівнює 1.

(2) Умовами застосування є:

- $t \leq 1,5\text{мм}$;
- $d_w \geq 10,0\text{мм}$ та товщина шайби $\geq 1,0\text{мм}$;
- ширина прилеглої полиці частини поперечного перерізу листа $\leq 200\text{мм}$;
- $d_w \leq 30,0\text{мм}$;
- значення $f_u > 260\text{ Н/мм}^2$ не рекомендовано враховувати;
- якщо товщина листів менша за 25 мм, опір вириву рекомендовано зменшити на 30 %.

Таблиця 10.3 — Коригувальний коефіцієнт α_L , для врахування напруження згину при згині для опорних кріпильних виробів

Гранична міцність [Н/мм ²]	α_L		
	Проліт $L < 1,5\text{м}$	Проліт $1,5 \leq L \leq 4,5\text{м}$	Проліт $L > 4,5\text{м}$
< 215	1	1	1
≥ 215	1	$1,25 - L/6$	0,5

Таблиця 10.4 — Коригувальний коефіцієнт α_M , що враховує матеріал шайби

Матеріал шайби	α_M
Вуглецева сталь, нержавка сталь	1,0
Алюміній	0,8

Таблиця 10.4 — Коригувальний коефіцієнт α_E , що враховує розташування кріпильних елементів ^a

Якщо полиця контактує з опорою						без контакту	
Вузол							
α_E	1,0	$b_u \leq 150: 0,9$ $b_u > 150: 0,7$	0,7	0,9	0,7 0,7	1,0	0,9

^a Комбінація коригувальних коефіцієнтів не обов'язкова. Застосовується найменше значення.

10.3.3.2 Опір висмикуванню

(1) Опір висмикуванню для самонарізальних та самосвердлувальних гвинтів з вуглецевої або нержавкої сталі, де опорні елементи зі сталі або алюмінію, рекомендовано розраховувати за формулою (10.16):

$$F_{o,Rd} = 0,95 f_{u,sup} \sqrt{t_{sup}^3 \cdot d} / \gamma_{M3} \quad (10.16)$$

за дотримання наступних умов:

— самонарізальні та самосвердлувальні гвинти з вуглецевої або нержавкої сталі; $5,5\text{мм} \leq d \leq 8,0\text{мм}$

— діаметр гвинтів $6,25\text{мм} \leq d \leq 6,5\text{мм}$;

— значення $t_{sup} > 6\text{мм}$ та $f_{u,sup} > 250 \text{ Н/мм}^2$ не рекомендовано враховувати для алюмінію або

— значення $t_{sup} > 5\text{мм}$ та $f_{u,sup} > 400 \text{ Н/мм}^2$ не рекомендовано враховувати для сталі;

— діаметр просвердленого отвору має відповідати рекомендаціям виробника.

(2) Для дерев'яних опорних елементів, див. EN 1995-1-1.

10.3.3.3 Опір розтягу

Розрахунковий опір розтягу гвинтів з вуглецевої або нержавкої сталі рекомендовано розраховувати за формулою (10.17):

$$F_{t,Rd} = 560A_s/\gamma_{M3} \text{ [H]} \text{ з } A_s \text{ в мм}^2 \quad (10.17)$$

11 РОЗРАХУНОК НА ОСНОВІ ВИПРОБУВАННЯ

(1) Цей розділ можна використовувати для розрахунків на основі випробувань, які наведено в EN 1990, з додатковими особливими вимогами до холодноформованих листів.

(2) Випробування профільованих листів має ґрунтуватися на принципах, наведених у додатку А.

(3) Випробування на розтяг алюмінієвих сплавів рекомендовано проводити згідно з відповідними європейськими стандартами. Випробування інших характеристик алюмінію рекомендовано проводити згідно з відповідними європейськими стандартами.

(4) Випробування кріпильних виробів і з'єднань рекомендовано проводити згідно з відповідним європейським стандартом або міжнародним стандартом.

ДОДАТОК А
(обов'язковий)
МЕТОДИКИ ВИПРОБУВАНЬ

A.1 Застосування цього додатка

Цей обов'язковий додаток містить додаткові положення до розділу 11, що стосуються відповідних стандартизованих процедур випробувань та процедури оцінювання для ряду випробувань, яких зазвичай не вимагають на практиці, як основу для узгодження майбутніх випробувань.

A.2 Сфера та область застосування

Цей обов'язковий додаток охоплює:

- випробування профільованих листів, див А.3;
- оцінку результатів випробувань для визначення розрахункових значень, див. А.4.

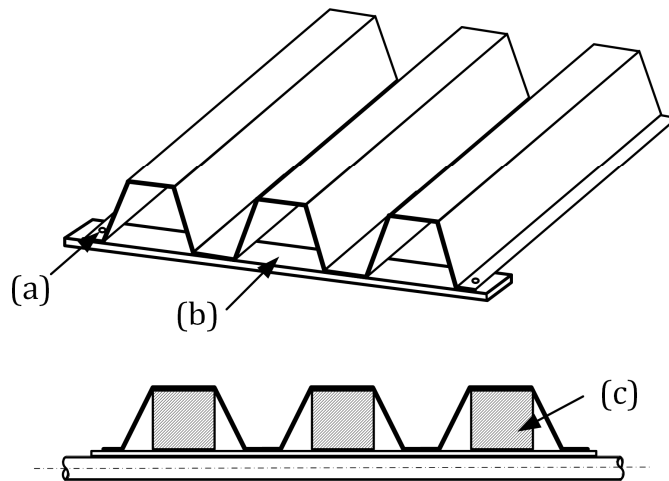
A.3 Випробування профільованих листів

A.3.1 Загальні положення

(1) Навантаження дозволено прикладати за допомогою повітряних подушок, або у вакуумній камері, або за допомогою металевих чи дерев'яних траверс, встановлених так, щоб моделювати рівномірно розподілене навантаження.

(2) Для запобігання розповзанню гофр, до випробних зразків дозволено застосовувати поперечні в'язі або інші пристосування для випробувань, такі як дерев'яні блоки. Деякі приклади наведено на рисунку А.1.

(3) Випробні зразки профільованих листів мають бути складені як мінімум з двох повних гофр, але за умови забезпечення достатньої жорсткості дозволено щоб випробний зразок мав лише один гофр. Вільні поздовжні краї під час випробувань мають бути у розтягненій зоні.



Умовні позначки:

- (a) — заклепка чи гвинт
- (b) — поперечні в'язі (металеві смуги)
- (c) — дерев'яні блоки

Рисунок А.1 — Приклади відповідного випробувального обладнання

(4) Для випробування на підйомне навантаження випробування рекомендовано організувати так, щоб відобразити поведінку конструкції в реальних умовах. Типи вузлів між листами і опорами мають бути такими ж як у дійсності.

(5) Для запобігання будь-якому впливу закріплень проти повороту чи поздовжнього переміщення на опорах під час випробування рекомендовано використовувати шарнірні та шарнірно-рухомі опори. Тоді отримані результати матимуть широкую сферу застосування.

(6) Навантаження має діяти перпендикулярно до початкової площини листа впродовж усього випробування.

(7) Для виключення деформації опор рекомендовано виміряти прогини на обох кінцях випробувального зразка.

(8) За результат випробування рекомендовано прийняти максимальне значення навантаження, прикладеного до зразка, під дією якого зразок або зруйнується, або буде дуже близьким до руйнування.

А.3.2 Випробування одного прогону

(1) Відповідну випробувальну установка показано на рисунку А.2 дозволено використовувати для визначення моменту опору на середині прогону (за відсутності зсувного зусилля) та ефективної згинальної жорсткості.

(2) Відстань між опорами рекомендовано визначати так, щоб результати випробування відображали момент опору листа.

(3) Момент опору рекомендовано визначати з результатів випробування.

(4) Гнучкість на згин рекомендовано визначати за графіком зміни прогину під дією навантаження.

А.3.3 Випробування двох прогонів

(1) Схему випробувальної установки, що показана на рисунку А.3, дозволено використовувати для визначення опору листа, неперервного більше ніж у двох прольотах, під спільною дією моменту та зсуву на внутрішніх опорах, та його опору до спільних моменту та реакції опори для заданої ширини опор.

(2) Рекомендовано щоб навантаження було рівномірно розподіленим (прикладене з використанням повітряних мішків чи, наприклад, вакуумної камери).

(3) Як альтернативу можна використовувати будь-яку кількість лінійних навантажень (поперечних до прогону), розташованих таким чином, щоб викликати внутрішні моменти та зусилля, які відповідають рівномірно розподіленому навантаженню. Деякі схеми підходящих розташувань показані на рисунку А.4.

А.3.4 Випробування проміжної опори

(1) Замість А.2.3, на рисунку А.5 показано випробувальну установку, яку можна використовувати для визначення опору листа, нерозрізного у двох або в більшій кількості прольотів, від комбінації моменту та зсуву на

внутрішніх опорах, та його опору спільній дії моменту та опорних реакцій для заданої ширини опор.

(2) Випробувальний проліт s , який представляє частину листа між точками перегину з кожної сторони від проміжної опори, для листа, нерозрізного більше ніж у двох рівних прольотах L можна обчислити за формулою (A.1):

$$s = 0,4L \quad (\text{A.1})$$

(3) Якщо очікується пластичний перерозподіл опорного моменту, то випробувальний прогін s рекомендовано зменшити, щоб відобразити відповідну залежність між опорним моментом та зсувним зусиллям.

(4) Ширина b_B балки, в для прикладення випробувального навантаження, має відповідати дійсній ширині опори.

(5) Кожен результат випробування можна використовувати для відображення опору спільній дії згинального моменту та опорної реакції (чи зсувного зусилля) для заданого прогону та заданої ширини опори. Щоб отримати дані щодо взаємодії згинального моменту та опорної реакції, рекомендовано дослідити кілька різних прогонів.

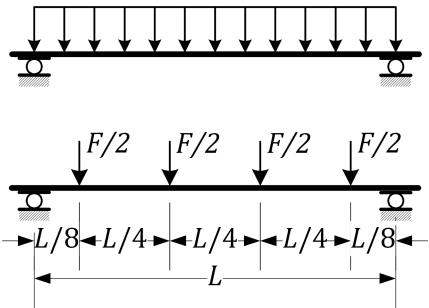
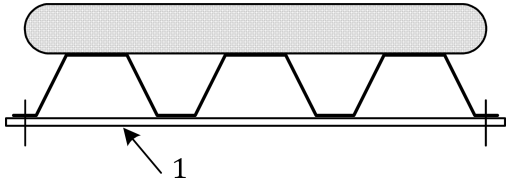
	
а) Рівномірно розподілене навантаження та приклад альтернативних еквівалентних лінійних навантажень	б) Розподілене навантаження, прикладене за допомогою повітряної подушки (як варіант — вакуумною дослідною установкою) 1 = поперечна в'язь

Рисунок А.2 — Випробувальна установка для випробування одного прогону

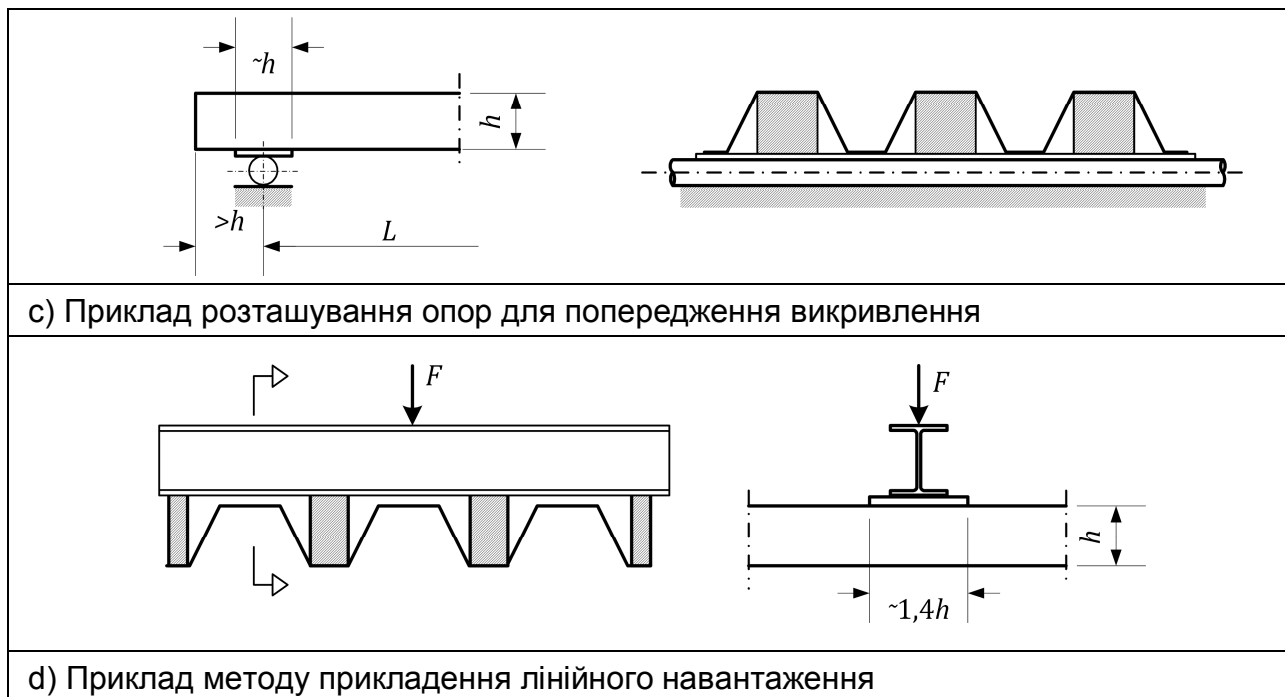


Рисунок А.2 — Аркуш 2

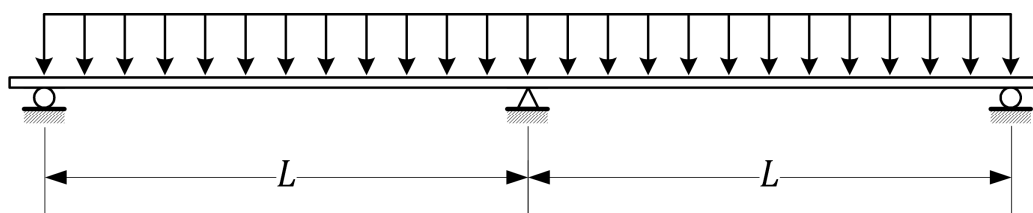


Рисунок А.3 — Випробувальна установка для випробування двох прогонів

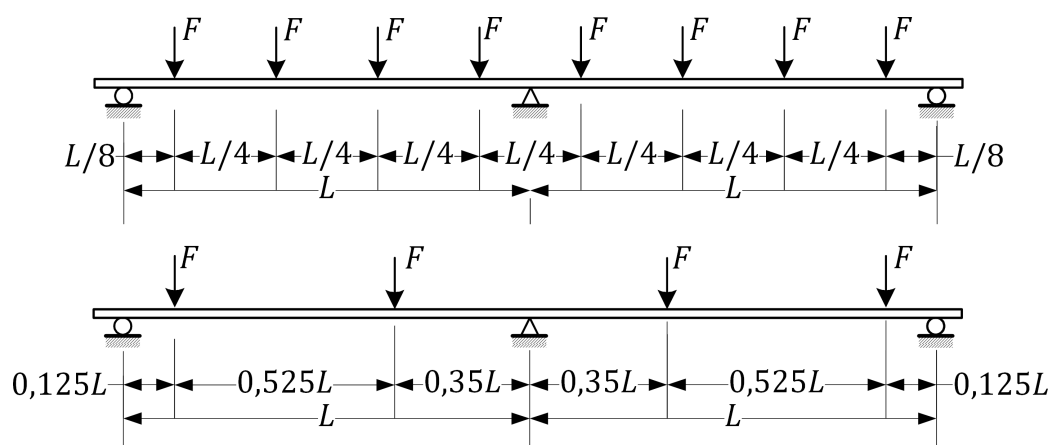
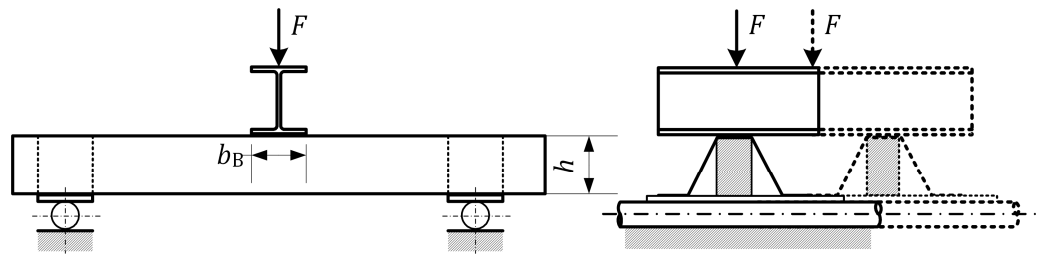
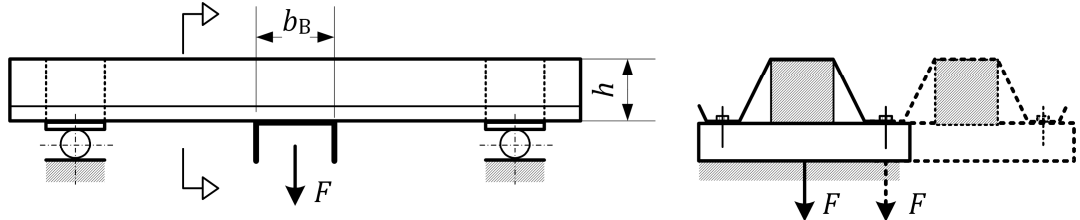


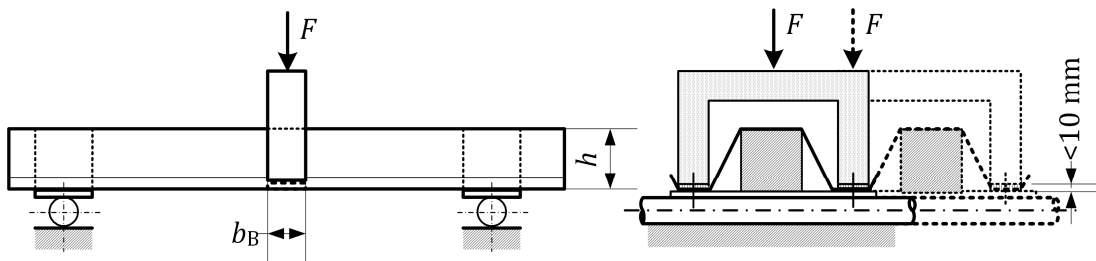
Рисунок А.4 — Приклад відповідного розташування для альтернативних лінійних навантажень



а) Внутрішні опори під дією навантаження, спрямованого донизу

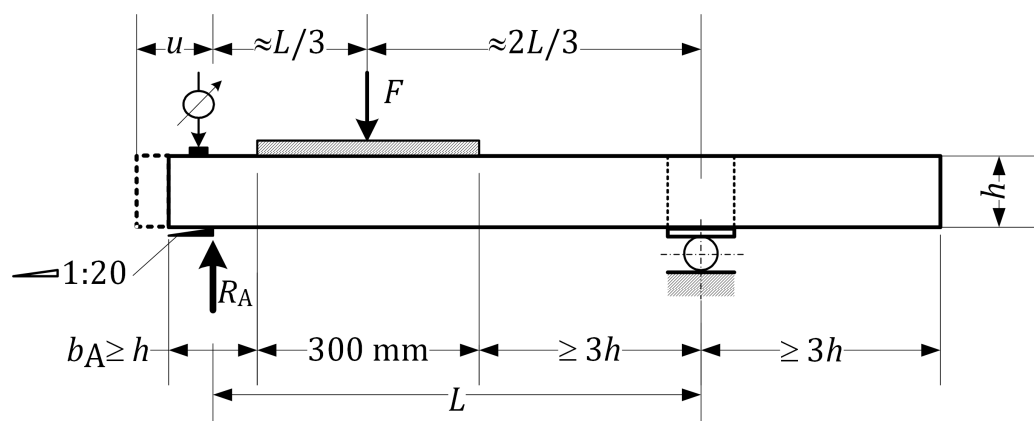


б) Внутрішня опора під дією підйомного навантаження



с) Внутрішня опора під дією навантаження, прикладеного до розтягнутої полиці

Рисунок А.5 — Випробувальна установка для випробування проміжної опори



Умовні позначки:

b_A — довжина опори

u — відстань між внутрішнім краєм опори та краєм листа

Рисунок А.6 — Випробувальна установка для випробування крайніх опор

A.3.5 Випробування проміжної опори

(1) Випробувальну установку, що показана на рисунку А.6, для випробування крайніх опор можна використовувати для визначення опору листа на крайній опорі.

(2) Окремі випробування рекомендовано проводити для визначення опору зсуву листа для різних відстаней u від точки контакту на внутрішньому кінці крайньої опори до краю листа, див. рисунок А.6.

A.4 Оцінка результатів випробування

A.4.1 Загальні положення

(1) Під час випробування вважають, що перевірений зразок втратив несну здатність, якщо прикладені навантаження досягли максимальних значень, чи якщо загальні деформації перевищують встановлені межі.

(2) Під час перевірки вузлів чи елементів, для яких заради точного оцінювання необхідна перевірка на великі деформації (наприклад для оцінювання характеристик крутного моменту патрубків), під час випробувань не рекомендовано закладати межу загальних деформацій.

(3) Рекомендовано забезпечити відповідну довірчу зону між станом пластичного руйнування та можливого крихкого руйнування. Оскільки у великомасштабних випробуваннях крихке руйнування зазвичай не проявляється, за необхідності можна проводити додаткові детальні випробування.

Примітка. Це часто буває у випадку вузлів

A.4.2 Уточнення результатів випробування

(1) Результати випробувань мають бути відповідним чином скориговані, щоб врахувати різницю між реальними властивостями випробних зразків, що виміряні під час випробування, та їх номінальними значеннями.

(2) Реальне значення 0,2% умовної границі текучості $f_{0,2,obs}$ не має відрізнятися більш ніж на $\pm 25\%$ від номінальної 0,2% умовної границі текучості $f_{0,2}$.

(3) Фактична виміряна товщина матеріалу t_{obs} не має перевищувати розрахункову товщину t , що ґрунтується на номінальній товщині матеріалу t_{nom} , більш ніж на 12 %.

(4) Поправки рекомендовано робити щодо дійсних вимірних значень товщини матеріалу t_{obs} та 0,2% умовної границі текучості $f_{0,2,obs}$ для всіх випробувань, за виключенням тих випадків, коли в розрахункових формулах використано фактично виміряне значення товщини або фактично виміряна 0,2% умовна границя текучості матеріалу, за необхідністю.

(5) Відкориговане значення $R_{adj,i}$ результатів i – го випробування рекомендовано визначати на основі фактичного виміряного результату випробування $R_{obs,i}$, за формулою (A.2):

$$R_{adj,i} = R_{obs,i} / \mu_R \quad (A.2)$$

де μ_R — коригувальний коефіцієнт опору, визначений за формулою (A.3):

$$\mu_R = \left(\frac{f_{0,2,obs}}{f_{0,2}} \right)^\alpha \left(\frac{t_{obs}}{t} \right)^\beta \quad (A.3)$$

(6) Показник степеня α , застосований у формулі (A.2), рекомендовано розраховувати наступним чином:

- якщо $f_{0,2,obs} \leq f_{0,2}$: $\alpha = 0$;
- якщо $f_{0,2,obs} > f_{0,2}$: $\alpha = 1$;
- для профільованих листів, у яких стиснуті частини мають настільки високе співвідношення b_p/t , що місцевий вигин також є показником відмови: $\alpha = 0,5$.

(7) Показник степеня β , застосований у формулі (A.2), рекомендовано обчислювати наступним чином:

— якщо $t_{\text{obs}} \leq t$: $\beta = 1$;

— якщо $t_{\text{obs}} > t$: $\beta = 1$.

А.4.3 Характеристичні значення

А.4.3.1 Загальні положення

(1) Характеристичні значення дозволено визначати статистично, за умови, що є як мінімум чотири результати випробування.

Примітка. Як правило, краще більше число випробувань, особливо якщо розкид даних відносно великий.

(2) Мінімальне характеристичне значення рекомендовано визначати з виконанням наступних положень. Якщо необхідно знати максимальне характеристичне значення або середнє характеристичне значення, його рекомендовано уточнювати з використанням правил для визначення мінімального характеристичного значення.

(3) Характеристичне значення опору R_k , визначене на основі як мінімум чотирьох випробувань, дозволено обчислювати за (А.4):

$$R_k = R_m - ks \quad (\text{А. 4})$$

де

s — стандартний відхил;

k — відповідний коефіцієнт з таблиці А.1;

R_m — середнє значення приведених результатів випробування R_{adj} .

(4) Стандартний відхил s можна визначити за формулою (А.5):

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n R_{\text{adj},i}^2 - \sum_{i=1}^n R_m^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n R_{\text{adj},i}^2 - n \cdot R_m^2}{n-1}} \quad (\text{А. 5})$$

де

$R_{\text{adj},i}$ — приведені результати випробування для i —го випробування;

n — кількість випробувань.

Таблиця А.1 — Значення коефіцієнту k

n	4	5	6	8	10	20	30	∞
k	2,63	2,33	2,18	2,00	1,92	1,76	1,73	1,64

А.4.3.2 *Характеристичні значення для сукупностей випробувань*

(1) Серію випробувань, проведenu на ряді схожих листів, з одним чи більше змінними параметрами, дозволено вважати однією сукупністю, якщо всі вони мають один тип відмови. Змінними параметрами дозволено вважати: розміри поперечного перерізу, прольоти, товщини та міцності матеріалу.

(2) Характеристичний опір елементів одного типу можна визначити на основі відповідної розрахункової формули, яка співвідносить результати випробувань з усіма відповідними параметрами. Цю розрахункову формулу дозволено або засновувати на відповідних формулах будівельної механіки, або визначати на емпіричній основі.

(3) Розрахункову формулу рекомендовано змінити, щоб максимально точно передбачити середній виміряний опір, настільки точно, наскільки це реально, скоригувавши коефіцієнти для оптимізації кореляції.

Примітка. Інформацію щодо цього процесу наведено в додатку D EN 1990:2023.

(4) Для обчислення стандартного відхилення s , кожен результат випробування рекомендовано спочатку нормалізувати, розділивши його на відповідне значення, передбачене розрахунковою формулою. Якщо розрахункова формула була змінена, як зазначено в параграфі (3), то середнє значення нормалізованих результатів випробувань дорівнюватиме одиниці. Кількість випробувань n має дорівнювати загальній кількості випробувань цієї сукупності.

(5) Для сукупності як мінімум з чотирьох випробувань, характеристичний опір R_k рекомендовано розрахувати за формулою (А.3), приймаючи R_m рівним значенню, передбаченому розрахунковою

формулою, та використовуючи значення k з таблиці А.1, прийняте у залежності від значення n , що дорівнює загальній кількості випробувань в сукупності.

А.4.4 Розрахункові значення

(1) Розрахункове значення опору R_d рекомендовано визначати з відповідного характеристичного значення R_k , визначеного шляхом випробувань, використовуючи формулу (А.6):

$$R_d = R_k / (\gamma_M \gamma_{sys}) \quad (\text{А. 6})$$

де

γ_M — частковий коефіцієнт опору;

γ_{sys} — частковий коефіцієнт, що визначає відмінності в поведінці в умовах випробувань та експлуатації.

(2) Для сукупності не менше як чотирьох випробувань, значення γ_M дозволено визначати за допомогою статистичних методів.

Примітка. Інформацію щодо цього методу наведено в додатку D EN 1990:2023.

(3) В якості альтернативи, γ_M можна прийняти рівним відповідному розрахунковому значенню γ_M обчисленому в розділі 4.

Примітка. Значення γ_M дорівнює 1,0 та значення γ_{sys} дорівнює 1,0, якщо в національному додатку не вказано інші значення

(4) Для інших типів випробувань, в яких розглядається можливість нестійкості, або види поведінки конструкцій чи конструкційних елементів, які не повністю охоплюються випробуванням, то для отримання необхідної достовірності, значення γ_{sys} має бути оцінене з урахуванням фактичних умов випробування.

А.4.5 Експлуатаційна придатність

Має бути виконано умови, наведені у розділі 9.

ДОДАТОК В

(довідковий)

ДОВГОВІЧНІСТЬ КРІПІЛЬНИХ ВИРОБІВ**В.1 Застосування цього додатка**

Цей довідковий додаток містить додаткові вказівки до наведених у розділі 6 щодо довговічності кріпильних виробів в трапецієподібних профільованих листах.

Примітка. Національний вибір щодо застосування цього довідкового додатка наведено в національному додатку. Цей додаток може бути застосовано, за умови, що національний додаток не містить інформації щодо його застосування.

В.2 Сфера та область застосування

Цей довідковий додаток застосовний до механічних вузлів у холодноформованих листах та містить інформацію про матеріал кріпильних виробів з урахуванням корозійного середовища.

В.3 Матеріал кріпильних деталей в залежності від корозійного середовища

(1) Для механічних вузлів у холодноформованих листах дозволено використовувати таблицю В.1. Враховано тільки ризик корозії. Категорії корозійної активності в навколишньому середовищі визначено відповідно до EN ISO 9223.

Таблиця В.1 — Матеріал кріпильних деталей в залежності від корозійного середовища (та матеріал листів для інформації). Враховано тільки ризик корозії. Категорії корозійної активності в навколишньому середовищі відповідно до EN ISO 9223

Категорія корозійної активності	Матеріал листів	Матеріал кріпильних деталей					
		Алюміній	Гальванізована сталь. Товщина покриття $\geq 7\mu\text{m}$	Гарячеоцинкована сталь ^b . Товщина покриття $\geq 40\mu\text{m}$	Нержавка сталь, загартована. 1.4006 d, e	Нержавка сталь, 1.4301 d 1.4436 d	Монель ^a
C1	A, B, C	X	X	X	X	X	X
	D, E, S	X	X	X	X	X	X
C2	A	X	-	X	X	X	X
	C, D, E	X	-	X	X	X	X
	S	X	-	X	X	X	X
C3	A	X	-	X	-	X	X
	C, E	X	-	X	(X) ^c	(X) ^c	-
	D	X	-	X	-	(X) ^c	X
	S	-	-	X	X	X	X
C4	A	X	-	(X) ^c	-	(X) ^c	-
	D	-	-	X	-	(X) ^c	-
	E	X	-	X	-	(X) ^c	-
	S	-	-	X	-	X	X
C5	A	X	-	-	-	(X) ^c	-
	D ^f	-	-	X	-	(X) ^c	-
	S	-	-	-	-	X	-

Умовні позначки:

A = алюміній, незалежно від обробки поверхні;

B = сталеві лист без покриття;

C = гарячеоцинковані (Z275) або алюмооцинковані (AZ150) сталеві листи;

D = гарячеоцинковані + покриття фарбою чи пластиком;

E = алюмооцинковані (AZ185) сталеві листи;

S = нержавка сталь.

Кінець таблиці В.1

X = вид матеріалу, рекомендованого з огляду на корозійну стійкість (X) = вид матеріалу, рекомендованого з огляду на корозійну стійкість лише за вказаних умов - = тип матеріалу, що не рекомендований з огляду на корозійну стійкість	
Кріпильний елемент або сталь без покриття можна використовувати для категорії корозійної активності C1.	
a	стосується лише заклепок.
b	стосується лише гвинтів і гайок.
c	ізоляційна шайба із стійкого до старіння матеріалу між листом та кріпильною деталлю
d	нержавка сталь EN 10088.
e	ризик знебарвлення
f	завжди перевіряється поставником листів

(2) Категорії корозійної активності в навколишньому середовищі згідно EN ISO 9223 наведено в таблиці В.2.

Таблиця В.2 — 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.

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.

Продовження таблиці В.2

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 протиожеледних 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 В.2

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 напрям 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.			

БІБЛІОГРАФІЯ

Посилання, наведені в рекомендаціях (тобто через пункти «рекомендовано», «має»)

Посилання на нижчеперелічені документи наведено в тексті так, що частина або весь їх вміст, являють собою настійно рекомендований вибір або напрям дій в рамках даного стандарту. Застосування альтернативних стандартів можливе / дозволене 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 485-2:2016+A1:2018, Aluminium and aluminium alloys — Sheet, strip and plate — Part 2: Mechanical properties
2. 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
3. EN 1396:2015, Aluminium and aluminium alloys — Coil coated sheet and strip for general applications — Specifications
4. EN 1995-1-1, Eurocode 5: Design of timber structures — Part 1-1: General — Common rules and rules for buildings
5. EN ISO 1479, Hexagon head tapping screws (ISO 1479)
6. EN ISO 1481, Slotted pan head tapping screws (ISO 1481)
7. EN ISO 15480, Fasteners — Hexagon washer head drilling screws with tapping screw thread (ISO 15480)
8. EN ISO 15481, Cross recessed pan head drilling screws with tapping screw thread (ISO 15481)
9. EN ISO 15973, Closed end blind rivets with break pull mandrel and protruding head — AIA/St (ISO 15973)
10. EN ISO 15974, Closed end blind rivets with break pull mandrel and countersunk head — AIA/St (ISO 15974)

11. EN ISO 15977, Open end blind rivets with break pull mandrel and protruding head — AIA/St (ISO 15977)

12. EN ISO 15978, Open end blind rivets with break pull mandrel and countersunk head — AIA/St (ISO 15978)

13. EN ISO 15981, Open end blind rivets with break pull mandrel and protruding head — AIA/AIA (ISO 15981)

14. EN ISO 15982, Open end blind rivets with break pull mandrel and countersunk head — AIA/AIA (ISO 15982)

15. ISO 7049, Cross-recessed pan head tapping screws

НАЦІОНАЛЬНЕ ПОЯСНЕННЯ

1. EN 485-2:2016+A1:2018 Алюміній та алюмінієві сплави — Листи, стрічки та плити — Частина 2: Механічні властивості

2. 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

3. EN 1396:2015 Алюміній та алюмінієві сплави — Листи та смуги з рулонним покриттям для загального застосування — Технічні характеристики

4. EN 1995-1-1, Eurocode 5: Проектування дерев'яних конструкцій — Частина 1-1: General — Загальні правила і правила для будівель

5. EN ISO 1479 Ґвинти самонарізувальні з шестигранною головкою (ISO 1479)

6. EN ISO 1481 Ґвинти самонарізувальні з циліндричною округлою головкою та прямим шліцом (ISO 1481)

7. EN ISO 15480 Кріплення. Ґвинти саморізні з шестигранною головкою та самонарізним різьбленням (ISO 15480)

8. EN ISO 15481 Ґвинти самосвердлувальні самонарізувальні з циліндричною скругленою головкою та хрестоподібним шліцом. Технічні умови (ISO 15481)

9. EN ISO 15973 Заклепки глухі з закритим торцем, витяжним відривним стрижнем і виступаючою головкою AIA/St (ISO 15973)
10. EN ISO 15974 Заклепки глухі з закритим торцем, витяжним та відривним стрижнем і потайною головкою AIA/St (ISO 15974)
11. EN ISO 15977 Заклепки глухі з відкритим торцем, витяжним відривним стрижнем і виступаючою головкою AIA/St (ISO 15977)
12. EN ISO 15978 Заклепки глухі з відкритим торцем, витяжним відривним стрижнем і потайною головкою AIA/St (ISO 15978)
13. EN ISO 15981 Заклепки глухі з відкритим торцем, витяжним відривним стрижнем і виступаючою головкою AIA/AIA (ISO 15981)
14. EN ISO 15982 Заклепки глухі з відкритим торцем, зі зміцненим сердечником і потайною головкою — AIA/AIA (ISO 15982)
15. ISO 7049 Гвинти самонарізувальні з циліндричною скругленою головкою і хрестоподібним шліцом

Посилання, що містяться як інформація (наприклад, у реченнях «може»)

16. EN 508-2, Roofing and cladding products from metal sheet — Specification for self-supporting products of steel, aluminium or stainless steel sheet — Part 2: Aluminium
17. EN 1090-1, Execution of steel structures and aluminium structures — Part 1: Requirements for conformity assessment of structural components
18. EN 1991 (all parts), Eurocode 1 — Actions on structures
19. EN 10088, Stainless steels
20. EN ISO 9223, Corrosion of metals and alloys — Corrosivity of atmospheres — Classification, determination and estimation (ISO 9223)
21. ECCS Publication No. 88 (1995): European recommendations for the application of metal sheeting acting as a diaphragm

НАЦІОНАЛЬНЕ ПОЯСНЕННЯ

16. EN 508-2, Вироби покрівельні металеві листові. Вимоги до

самонесних виробів із сталевих, алюмінієвих листів або листів із нержавкої сталі. Частина 2. Алюміній

17. EN 1090-1, Виконання сталевих і алюмінієвих конструкцій.

Частина 1. Вимоги до оцінки відповідності елементів конструкцій

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

19. EN 10088 Сталі нержавкі

20. EN ISO 9223 Корозія металів і сплавів. Корозійність атмосфер.

Класифікація, визначення та оцінювання (ISO 9223)

21. Публікації ECCS №88 (1995): Європейські рекомендації щодо використання металевих профільованих листів, які працюють як діафрагма

ДОДАТОК НА

(довідковий)

**ПЕРЕЛІК НАЦІОНАЛЬНИХ СТАНДАРТІВ УКРАЇНИ, ІДЕНТИЧНИХ
ЄВРОПЕЙСЬКИМ ТА МІЖНАРОДНИМ НОРМАТИВНИМ ДОКУМЕНТАМ,
ПОСИЛАННЯ НА ЯКІ Є В ЦЬОМУ СТАНДАРТІ**

ДСТУ EN 1990 Єврокод. Основи проєктування конструкцій;

ДСТУ EN 1999-1-1 (EN 1999-1-1:2023, IDT) Єврокод 9. Проєктування
алюмінієвих конструкцій. Частина 1-1 Загальні правила

Ключові слова: безпека, довговічність, граничні стани, матеріали, міцність, алюмінієві конструкції, холодноформовані листи, стійкість, стиск, жолоблення

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 інженер

С. С. Виноград

Провідний редактор-перекладач

В. П. Гаврилова