



НАЦІОНАЛЬНИЙ СТАНДАРТ УКРАЇНИ

ЄВРОКОД 9: ПРОЕКТУВАННЯ АЛЮМІНІЄВИХ КОНСТРУКЦІЙ

**Частина 1-3: Конструкції чутливі до витривалості
(EN 1999-1-3:2007, IDT)**

ДСТУ-Н Б EN 1999-1-3:201X

(Друга, остаточна редакція)

Видання офіційне

Київ
Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального
господарства України

201X

ПЕРЕДМОВА

1 ВНЕСЕНО: ТОВ «Український інститут сталевих конструкцій імені В.М. Шимановського»
ПЕРЕКЛАД І НАУКОВО-ТЕХНІЧНЕ РЕДАГУВАННЯ: **С. Виноград, В. Гордєєв**, д.т.н.,
А. Гром, к.т.н. (керівник розробки), **О. Кордун, Я. Левченко, Г. Ленда, Я. Лимар,**
К. Павлова, О. Шимановський, д.т.н.

2 НАДАНО ЧИННОСТІ: наказ Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України від «___» _____ 20__ № _____

3 Національний стандарт відповідає EN 1999-1-3:2007 Eurocode 9: Design of aluminium structures – Part 1-3: Structures susceptible to fatigue (Єврокод 9: Проектування алюмінієвих конструкцій. Частина 1-3: Конструкції чутливі до витривалості).
Ступінь відповідності – ідентичний (IDT)

Переклад з англійської (en)

Цей стандарт видано з дозволу CEN

4 УВЕДЕНО ВПЕРШЕ

**Право власності на цей документ належить державі.
Цей документ не може бути повністю чи частково відтворений, тиражований
і розповсюджений як офіційне видання без дозволу
Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України**

Мінрегіон України, 201X

НАЦІОНАЛЬНИЙ ВСТУП

Даний стандарт є тотожним перекладом EN 1999-1-3:2007: Design of aluminium structures – Part 1-3: Structures susceptible to fatigue (Проектування алюмінієвих конструкцій. Частина 1-3: Конструкції чутливі до витривалості).

EN 1999-1-3:2007 підготовлено Технічним комітетом CEN/TC 250, секретаріатом якого керує BSI.

До національного стандарту долучено англomовний текст.

На території України як національний стандарт діє ліва колонка тексту ДСТУ-Н Б EN 1999-1-3:201X: "Проектування алюмінієвих конструкцій. Частина 1-3: Конструкції, чутливі до втоми" ідентичний Європейському стандарту EN 1999-1-3:2007 "Design of aluminium structures – Part 1-3: Structures susceptible to fatigue " (Єврокод 9: Проектування алюмінієвих конструкцій. Частина 1-3: Конструкції, чутливі до витривалості), викладена українською мовою.

Відповідно до ДБН А.1.1-1-2009 «Система стандартизації та нормування в будівництві. Основні положення» цей стандарт відноситься до комплексу В.2.6 «Конструкції будинків і споруд».

Стандарт містить вимоги, які відповідають чинному законодавству.

Науково-технічна організація, відповідальна за цей стандарт, – ТОВ «Український інститут сталевих конструкцій ім. В.М. Шимановського».

До стандарту внесено такі редакційні зміни:

- слова «цей міжнародний стандарт» замінено на «цей стандарт»;
- структурні елементи стандарту: «Обкладинку», «Передмову», «Національний вступ», «Визначення понять» та «Бібліографічні дані» оформлено згідно з вимогами національної стандартизації України;
- з «Передмови до EN 1999-1-3» у цей «національний вступ» взяте те, що безпосередньо стосується цього стандарту.

ЗМІСТ

	С
ВСТУП	IX
Основи програми Єврокоду	1
Статус та галузь застосування Єврокодів	2
Національні стандарти, що впроваджують Єврокоди	4
Зв'язки між Єврокодами та гармонізованими технічними специфікаціями (ENs та ETAs) для виробів	5
Додаткова інформація щодо EN 1999-1-3	5
Національний додаток до EN 1999-1-3	6
1 Загальні положення	7
1.1 Галузь застосування	7
1.1.1 Галузь застосування EN 1999	7
1.1.2 Галузь застосування 1999-1-3	8
1.2 Нормативні посилання	9
1.3 Допущення	9
1.4 Різниця між принципами та правилами застосування	9
1.5 Терміни та визначення	9
1.5.1 Загальні відомості	9
1.5.2 Додаткові терміни. Які використовуються в EN 1999-1-3	10
1.6 Позначення	15
1.7 Специфікація для виконання	17
1.7.1 Специфікація для виконання	17
1.7.2 Керівництво з експлуатації	18
1.7.3 Керівництво по перевірці та технічному обслуговуванню	18
2 Основи проектування	18
2.1 Загальні положення	18
2.1.1 Основні вимоги	18
2.2 Методики розрахунку на втому	19
2.2.1 Метод проектування, що забезпечує безпечний термін служби	19
2.2.2 Метод проектування з урахуванням допустимих руйнувань	20
2.2.3 Проектування за допомогою випробувань	21
2.3 Втомне навантаження	21
2.3.1 Фактори, що спричиняють виникнення втомного навантаження	21
2.3.2 Отримання значень втомного навантаження	22
2.3.3 Еквівалентні втомні навантаження	23
2.4 Часткові коефіцієнти для втомних навантажень	24
3 Матеріали, складові частини та з'єднуючі пристрої	24
FOREWORD	IX
Background of the Eurocode programme	1
Status and field of application of eurocodes	2
National Standards implementing Eurocodes	4
Links between Eurocodes and harmonised technical specifications (ENs and ETAs) for products	5
Additional information specific for EN 1999-1-3	5
National annex for EN 1999-1-3	6
1 General	7
1.1 Scope	7
1.1.1 Scope of EN 1999	7
1.1.2 Scope of EN 1999-1-3	8
1.2 Normative references	9
1.3 Assumptions	9
1.4 Distinction between EN principles and application rules	9
1.5 Terms and definitions	9
1.5.1 General	9
1.5.2 Additional terms used in EN 1999-1-3	10
1.6 Symbols	15
1.7 Specification for execution	17
1.7.1 Execution specification	17
1.7.2 Operation manual	18
1.7.3 Inspection and maintenance manual	18
2 Basis of design	18
2.1 General	18
2.1.1 Basic requirements	18
2.2 Procedures for fatigue design	19
2.2.1 Safe life design	19
2.2.2 Damage tolerant design	20
2.2.3 Design assisted by testing	21
2.3 Fatigue loading	21
2.3.1 Sources of fatigue loading	21
2.3.2 Derivation of fatigue loading	22
2.3.3 Equivalent fatigue loading	23
2.4 Partial factors for fatigue loads	24
3 Materials, constituent products and connecting devices	24

4	Довговічність	4	Durability	25
5	Розрахунок конструкцій	5	Structural analysis	26
5.1	Загальний розрахунок	5.1	Global analysis	26
5.1.1	Загальні положення	5.1.1	General	26
5.1.2	Використання балочних елементів	5.1.2	Use of beam elements	28
5.1.3	Використання мембранних, оболонкових та твердих елементів	5.1.3	Use of membrane, shell and solid elements	29
5.2	Класифікація напружень	5.2	Types of stresses	29
5.2.1	Загальні положення	5.2.1	General	29
5.2.2	Номинальні напруження	5.2.2	Nominal stresses	30
5.2.3	Модифіковані номінальні напруження	5.2.3	Modified nominal stresses	30
5.2.4	Максимальні місцеві напруження	5.2.4	Hot spot stresses	31
5.3	Отримання значень напружень	5.3	Derivation of stresses	33
5.3.1	Отримання значень номінальних напружень	5.3.1	Derivation of nominal stresses	33
5.3.2	Отримання значень модифікованих номінальних напружень	5.3.2	Derivation of modified nominal stresses	33
5.3.3	Отримання значень максимальних локальних напружень	5.3.3	Derivation of hot spot stresses	34
5.3.4	Орієнтація напруження	5.3.4	Stress orientation	35
5.4	Діапазони напружень для окремих ділянок виникнення напружень	5.4	Stress ranges for specific initiation sites	35
5.4.1	Основний матеріал, зварні шви та механічно закріплені з'єднання	5.4.1	Parent material, welds, and mechanically fastened joints	35
5.4.2	Кутові шви та стикові шви з неповним заглибленням	5.4.2	Fillet and partial penetration butt welds	36
5.5	Адгезійні з'єднання	5.5	Adhesive bonds	37
5.6	Ливарні сплави	5.6	Castings	37
5.7	Спектри напруження	5.7	Stress spectra	37
5.8	Розрахунок діапазону еквівалентного напруження для стандартизованих моделей втомного напруження	5.8	Calculation of equivalent stress range for standardised fatigue load models	37
5.8.1	Загальні положення	5.8.1	General	37
5.8.2	Розрахункове значення діапазону напружень	5.8.2	Design value of stress range	38
6	Втомна міцність та деталізовані категорії	6	Fatigue resistance and detail categories	39
6.1	Деталізовані категорії	6.1	Detail categories	39
6.1.1	Загальні положення	6.1.1	General	39
6.1.2	Фактори, що впливають на деталізовану категорію	6.1.2	Factors affecting detail category	39
6.1.3	Конструкційні деталі	6.1.3	Constructional details	39
6.2	Характеристики втомної міцності	6.2	Fatigue strength data	40
6.2.1	Класифіковані конструкційні деталі	6.2.1	Classified constructional details	40
6.2.2	Некласифіковані деталі	6.2.2	Unclassified details	43
6.2.3	Адгезійні з'єднання	6.2.3	Adhesively bonded joints	44
6.2.4	Визначення стандартних величин максимальних локальних напружень	6.2.4	Determination of the reference hot spot strength values	44
6.3	Вплив середнього напруження	6.3	Effect of mean stress	44
6.3.1	Загальні положення	6.3.1	General	44
6.3.2	Плоский матеріал та механічно закріплені з'єднання	6.3.2	Plain material and mechanically fastened joints	44

6.3.3	Зварні з'єднання	6.3.3	Welded joints	45
6.3.4	Адгезійні з'єднання	6.3.4	Adhesive joints	45
6.3.5	Діапазон низької довговічності	6.3.5	Low endurance range	45
6.3.6	Підрахунок циклів для розрахунків коефіцієнту напруження R	6.3.6	Cycle counting for R-ratio calculations	45
6.4	Вплив умов навколишнього середовища	6.4	Effect of exposure conditions	45
6.5	Техніки підвищення втомної міцності	6.5	Improvement techniques	46
Додаток А (обов'язковий): Основи розрахунку втомної міцності		Annex A [normative]: Basis for calculation of fatigue resistance		48
A.1	Загальні положення	A.1	General	48
A.1.1	Вплив втоми на конструкцію	A.1.1	Influence of fatigue on design	48
A.1.2	Механізм відмови	A.1.2	Mechanism of failure	48
A.1.3	Потенційні місця виникнення втомних тріщин	A.1.3	Potential sites for fatigue cracking	49
A.1.4	Умови чутливості до втоми	A.1.4	Conditions for fatigue susceptibility	50
A.2	Метод проектування, що забезпечує безпечний термін служби	A.2	Safe life design	51
A.2.1	Передумови для методу проектування, що забезпечує безпечний термін служби	A.2.1	Prerequisites for safe life design	51
A.2.2	Підрахунок циклів	A.2.2	Cycle counting	53
A.2.3	Отримання значень спектру навантажень	A.2.3	Derivation of stress spectrum	53
A.3	Проектування з урахуванням допустимих руйнувань	A.3	Damage tolerant design	56
A.3.1	Передумови для проектування з урахуванням допустимих руйнувань	A.3.1	Prerequisites for damage tolerant design	56
A.3.2	Визначення стратегії перевірок для проектування з урахуванням допустимих руйнувань	A.3.2	Determination of inspection strategy for damage tolerant design	57
Додаток В (довідковий): Вказівки щодо оцінювання розростання тріщини за допомогою механіки руйнування		Annex B [informative]: Guidance on assessment of crack growth by fracture mechanics		61
B.1	Сфера застосування	B.1	Scope	61
B.2	Принципи	B.2	Principles	61
B.2.1	Розміри тріщин	B.2.1	Flaw dimensions	61
B.2.2	Співвідношення росту тріщини	B.2.2	Crack growth relationship	62
B.3	Значення розростання тріщини A та m	B.3	Crack growth data A and m	63
B.4	Геометрична функція y	B.4	Geometry function y	65
B.5	Інтеграція розростання тріщини	B.5	Integration of crack growth	66
B.6	оцінювання максимального розміру тріщини a_2	B.6	Assessment of maximum crack size a_2	66
Додаток С (довідковий): Випробування для розрахунку на втому		Annex C [informative]: Testing for fatigue design		76
C.1	Загальні положення	C.1	General	76
C.2	Отримання значень дійсних навантажень	C.2	Derivation of action loading data	77
C.2.1	Зафіксовані конструкції, що зазнають механічного впливу	C.2.1	Fixed structures subject to mechanical action	77
C.2.2	Зафіксовані конструкції, що зазнають впливу умов зовнішнього середовища	C.2.2	Fixed structures subject to actions due to exposure conditions	78

C.2.3	Рухомі конструкції	C.2.3	Moving structures	78
C.3	Отримання даних напруження	C.3	Derivation of stress data	79
C.3.1	Дані випробувань окремих елементів конструкції	C.3.1	Component test data	79
C.3.2	Дані випробувань конструкції	C.3.2	Structure test data	79
C.3.3	Перевірка історії напруження	C.3.3	Verification of stress history	80
C.4	Отримання значень довговічності	C.4	Derivation of endurance data	80
C.4.1	Випробування окремих елементів конструкції	C.4.1	Component testing	80
C.4.2	Випробування у реальних умовах	C.4.2	Full scale testing	82
C.4.3	Приймання	C.4.3	Acceptance	83
C.5	Значення розростання тріщини	C.5	Crack growth data	87
C.6	Звітування	C.6	Reporting	87
Додаток D (довідковий): Розрахунок напруження		Annex D [informative]: Stress analysis		89
D.1	Використання скінченних елементів для аналізу втоми	D.1	Use of finite elements for fatigue analysis	89
D.1.1	Типи елементів	D.1.1	Element types	89
D.1.2	Подальші вказівки щодо застосування скінченних елементів	D.1.2	Further guidance on use of finite elements	91
D.2	Коефіцієнти концентрації напруження	D.2	Stress concentration factors	91
D.3	Обмеження втоми, під дією багаторазової місцевої втрати стійкості	D.3	Limitation of fatigue induced by repeated local buckling	92
Додаток E (довідковий): Адгезійні з'єднання		Annex E [informative]: Adhesively bonded joints		94
Додаток F (довідковий): Діапазон малоциклової втоми		Annex F [informative]: Low cycle fatigue range		98
F.1	Вступ	F.1	Introduction	98
F.2	Модифікації кривих $\Delta\sigma-N$	F.2	Modification to $\Delta\sigma-N$ curves	98
F.3	Результати випробувань	F.3	Test data	99
Додаток G (Довідковий) Вплив коефіцієнту напруження R		Annex G [informative]: Influence of R-ratio		100
G.1	Збільшення втомної міцності	G.1	Enhancement of fatigue strength	100
G.2	Випадки збільшення втомної міцності	G.2	Enhancement cases	100
G.2.1	Випадок 1	G.2.1	Case 1	100
G.2.2	Випадок 2	G.2.2	Case 2	101
G.2.3	Випадок 3	G.2.3	Case 3	102
Додаток H (довідковий): Збільшення міцності зварних з'єднань		Annex H [informative]: Fatigue strength improvement of welds		103
H.1	Загальні відомості	H.1	General	103
H.2	Машинна обробка або шліфування	H.2	Machining or grinding	104
H.3	Обтісування дуговим зварюванням вольфрамовим електродом в середовищі інертного газу або плазмою	H.3	Dressing by TIG or plasma	105
H.4	Нагартовка	H.4	Peening	106
Додаток I (довідковий) Ливарні сплави		Annex I [informative]: Castings		107
I.1	Загальні відомості	I.1	General	107
I.2	Значення втомної міцності	I.2	Fatigue strength data	107
I.2.1	Гладкі ливарні сплави	I.2.1	Plain castings	107
I.2.2	Зварний матеріал	I.2.2	Welded material	107
I.2.3	Механічно з'єднані ливарні сплави	I.2.3	Mechanically joined castings	108
I.2.4	Ливарні сплави з адгезійними	I.2.4	Adhesively bonded castings	108

ДСТУ-Н Б EN 1999-1-3:201X

з`єднаннями

I.3 Вимоги до якості

**Додаток J (довідковий): Таблиці
деталізованих категорій**

J.1 Загальні відомості

**Додаток K (довідковий): Метод
стандартної деталі з максимальним
місцевим напруженням**

Бібліографія

I.3 Quality requirements

**Annex J [informative]: Detail category
tables**

J.1 General

**Annex K [informative]: Hot spot reference
detail method**

Bibliography

109

110

110

143

145

Вступ

Цей документ EN 1999-1-3:2007 підготовлений Технічним комітетом CEN/TC 250 «Будівельні Єврокоди», секретаріат якого підтримується BSI.

Цьому Європейському стандарту буде надано статус національного з публікацією ідентичного тексту або схваленням не пізніше листопада 2007 року і при скасуванні конфлікуючих національних стандартів не пізніше березня 2010 року.

Даний Європейський стандарт замінює ENV 1999-2: 1998.

У відповідності з внутрішніми постановами CEN/CENELEC національні органи зі стандартизації таких країн зобов'язані здійснити імплементацію цього Європейського стандарту: Австрія, Бельгія, Болгарія, Кіпр, Чеська Республіка, Данія, Естонія, Фінляндія, Франція, Німеччина, Греція, Угорщина, Ісландія, Ірландія, Італія, Латвія, Литва, Люксембург, Мальта, Нідерланди, Норвегія, Польща, Португалія, Румунія, Словаччина, Словенія, Іспанія, Швеція, Швейцарія і Велика Британія.

Foreword

This document (EN 1999-1-3:2007) has been prepared by Technical Committee CEN/TC 250 "Structural Eurocodes", the secretariat of which is held by BSI.

This European Standard shall be given the status of a national standard, either by publication of an identical text or by endorsement, at the latest by November 2007, and conflicting national standards shall be withdrawn at the latest by March 2010.

This European Standard supersedes ENV 1999-2: 1998.

According to the CEN/CENELEC Internal Regulations, the national standards organizations of the following countries are bound to implement this European Standard: Austria, Belgium, Bulgaria, Cyprus, Czech Republic, Denmark, Estonia, Finland, France, Germany, Greece, Hungary, Iceland, Ireland, Italy, Latvia, Lithuania, Luxemburg, Malta, Netherlands, Norway, Poland, Portugal, Romania, Slovakia, Slovenia, Spain, Sweden, Switzerland and the United Kingdom.

НАЦІОНАЛЬНИЙ СТАНДАРТ УКРАЇНИ

ЄВРОКОД 9: ПРОЕКТУВАННЯ АЛЮМІНІЄВИХ КОНСТРУКЦІЙ ЧАСТИНА 1-3: КОНСТРУКЦІЇ ЧУТЛИВІ ДО ВИТРИВАЛОСТІ

ЕВРОКОД 9: ПРОЕКТИРОВАНИЕ АЛЮМИНИЕВЫХ КОНСТРУКЦИЙ ЧАСТЬ 1-3: КОНСТРУКЦИИ ЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ К УСТАЛОСТИ

EUROCODE 9: DESIGN OF ALUMINIUM STRUCTURES PART 1-3: STRUCTURES SUSCEPTIBLE TO FATIGUE

Чинний від _____

Основи програми Єврокоду

У 1975 році Комісія Європейської Спільноти вирішила розпочати програму дій у галузі будівництва на підставі статті 95 Договору. Метою програми було усунення технічних перешкод для торгівлі та узгодження технічних умов.

У рамках цієї програми дій Комісія взяла на себе ініціативу встановити систему узгоджених технічних правил для проектування будівель і споруд, які на першій стадії мали слугувати альтернативою чинним національним правилам держав-членів, а зрештою мали замінити їх.

Упродовж п'ятнадцяти років Комісія за допомогою Робочого комітету, до складу якого входили представники держав-членів, вела розробку програми Єврокодів, яка призвела до публікації комплексу першого покоління Європейських кодів у 80-х роках.

У 1989 році Комісія та держави-члени ЄУ (Європейської Спільноти) та ЕФТА (Європейської Асоціації Вільної Торгівлі)

Background of the Eurocode programme

In 1975, the Commission of the European Community decided on an action programme in the field of construction, based on article 95 of the Treaty. The objective of the programme was the elimination of technical obstacles to trade and the harmonisation of technical specifications.

Within this action programme, the Commission took the initiative to establish a set of harmonised technical rules for the design of construction works which, in a first stage, would serve as an alternative to the national rules in force in the Member States and, ultimately, would replace them.

For fifteen years, the Commission, with the help of a Steering Committee with Representatives of Member States, conducted the development of the Eurocodes programme, which led to the first generation of European codes in the 1980s.

In 1989, the Commission and the Member States of the EU and EFTA decided, on the basis of an

на основі угоди¹ між Комісією та CEN (Європейським комітетом зі стандартизації) вирішили передати підготовку та публікацію Єврокодів CEN за допомогою серії мандатів, що в результаті надало б Єврокодам у майбутньому статусу Європейського стандарту (EN). Це пов'язує Єврокоди з положеннями Директив Ради і Рішень Комісії щодо Європейських стандартів (тобто Директиви Ради 89/106/ЄЕС щодо будівельних виробів – CPD – та Директив Ради 93/37/ЄЕС, 92/50/ЄЕС та 89/440/ЄЕС відносно суспільних робіт та послуг і еквівалентних директив EFTA, започаткованих з метою допомогти заснуванню внутрішнього ринку).

Структурна програма Єврокодів включає стандарти, які в основному складаються з декількох частин:

EN 1990 Єврокод: Основи проектування конструкцій

EN 1991 Єврокод 1: Дії на конструкції

EN 1992 Єврокод 2: Проектування бетонних конструкцій

EN 1993 Єврокод 3: Проектування сталевих конструкцій

EN 1994 Єврокод 4: Проектування сталевобетонних 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.

Стандарти Єврокодів визнають відповідальність регуляторних органів держав-членів та захищають їх право на призначення величин, які пов'язані з регулюванням питань безпеки на національному рівні там, де вони відрізняються.

Статус та галузь застосування Єврокодів

Держави-члени EU та EFTA визнають, що Єврокоди діють як еталонні документи для таких цілей:

– як засіб доведення відповідності

agreement¹ between the Commission and CEN, to transfer the preparation and the publication of the Eurocodes to the CEN through a series of Mandates, in order to provide them with a future status of European Standard (EN). This links *de facto* the Eurocodes with the provisions of all the Council's Directives and/or Commission's Decisions dealing with European standards (e.g. the Council Directive 89/106/EEC on construction products – CPD – and Council Directives 93/37/EEC, 92/50/EEC and 89/440/EEC on public works and services and equivalent EFTA Directives initiated in pursuit of setting up the internal market).

The Structural Eurocode programme comprises the following standards generally consisting of a number of Parts:

EN 1990 Eurocode 0: Basis of Structural Design

EN 1991 Eurocode 1: Actions on structures

EN 1992 Eurocode 2: Design of concrete structures

EN 1993 Eurocode 3: Design of steel structures

EN 1994 Eurocode 4: Design of composite steel and concrete structures

EN 1995 Eurocode 5: Design of timber structures

EN 1996 Eurocode 6: Design of masonry structures

EN 1997 Eurocode 7: Geotechnical design

EN 1998 Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance

EN 1999 Eurocode 9: Design of aluminium structures.

Eurocode standards recognise the responsibility of regulatory authorities in each Member State and have safeguarded their right to determine values related to regulatory safety matters at national level where these continue to vary from State to State.

Status and field of application of Eurocodes

The Member States of the EU and EFTA recognise that Eurocodes serve as reference documents for the following purposes:

– as a means to prove compliance of

будівель і споруд основним вимогам Директиви Ради 89/106/ЕЕС, зокрема основній вимозі № 1 – Механічна стійкість та стабільність – та основній вимозі № 2 – Пожежна безпека;

– як основа для укладання контрактів для будівель і споруд та пов'язаних з ними інженерних послуг;

– як основа для складання узгоджених технічних специфікацій для будівельних виробів (ENs та ETAs).

Єврокоди, оскільки вони безпосередньо відносяться до будівельних споруд, мають прямий зв'язок із тлумачними документами¹ розділу 12 CPD, незважаючи на те, що вони мають різну природу з гармонізованими стандартами на вироби². Таким чином, технічні аспекти, які впливають з Єврокодів для будівель і споруд, повинні в повній мірі бути розглянутими Технічними комітетами CEN та/чи робочими групами EOTA, які розробляють стандарти на будівельні вироби, з позицій досягнення повної сумісності технічних специфікацій з Єврокодами.

Стандарти Єврокодів регламентують загальні правила проектування для практичного використання всіх конст-

building and civil engineering works with the essential requirements of Council Directive 89/106/EEC, particularly Essential Requirement № 1 – Mechanical resistance and stability – and Essential Requirement № 2 – Safety in case of fire;

– as a basis for specifying contracts for construction works and related engineering services;

– as a framework for drawing up harmonised technical specifications for construction products (ENs and ETAs)

The Eurocodes, as far as they concern the construction works themselves, have a direct relationship with the Interpretative Documents¹ referred to in Article 12 of the CPD, although they are of a different nature from harmonised product standards². Therefore, technical aspects arising from the Eurocodes work need to be adequately considered by CEN Technical Committees and/or EOTA Working Groups working on product standards with a view to achieving a full compatibility of these technical specifications with the Eurocodes.

The Eurocode standards provide common structural design rules for everyday use for the design of whole structures and

¹ Відповідно до ст. 3.3 документа CPD основні вимоги (ER) отримують конкретну форму у тлумачних документах для створення необхідних зв'язків між основними вимогами та мандатами для гармонізованих EN та ETAG/ETA.

¹ According to Art. 3.3 of the CPD, the essential requirements (ERs) shall be given concrete form in interpretative documents for the creation of the necessary links between the essential requirements and the mandates for harmonised ENs and ETAGs/ETAs.

² Відповідно до ст. 12 CPD тлумачні документи мають:

a) надати конкретної форми основним вимогам, узгодивши термінологію і технічні засади і вказавши класи або рівні для кожної вимоги, де це необхідно;

b) вказати методи встановлення співвідношення між цими класами або рівнями вимог із технічними вимогами, наприклад, методи розрахунку і перевірки, технічні правила проектування і т. ін.;

c) слугувати рекомендацією для встановлення узгоджених стандартів і настанов для Європейського технічного ухвалення.

Єврокоди фактично відіграють подібну роль у сфері ER 1 і частині ER 2.

² According to Art. 12 of the CPD the interpretative documents shall :

a) give concrete form to the essential requirements by harmonising the terminology and the technical bases and indicating classes or levels for each requirement where necessary;

b) indicate methods of correlating these classes or levels of requirement with the technical specifications, e.g. methods of calculation and of proof, technical rules for project design, etc.;

c) serve as a reference for the establishment of harmonised standards and guidelines for European technical approvals.

The Eurocodes, de facto, play a similar role in the field of the ER 1 and a part of ER 2.

рукцій та їх компонентів як традиційного, так і інноваційного характеру. Унікальні форми конструкції або умови проектування спеціально не охоплюються, і в таких випадках проектувальнику потрібен додатковий експертний розгляд.

Національні стандарти, що впроваджують Єврокоди

Національні стандарти, що впроваджують Єврокоди, завжди включають повний текст Єврокоду (включаючи всі додатки), виданий CEN, якому можуть передувати Національний титульний лист та Національна передмова, а також можуть супроводжуватися Національним додатком.

Національний додаток може включати інформацію відносно тих параметрів, які залишилися відкритими в Єврокодах для національного вибору, відомі як національно визначені параметри для використання при проектуванні будівель та інженерних споруд, що будуть зведені у зацікавленій країні, а саме:

- значення часткових коефіцієнтів надійності та/або класифікацію випадків, для яких Єврокод регламентує використання альтернатив;
- значення, які слід використовувати там, де в Єврокодi наведено тільки позначення;
- специфічні дані країни (географічні, кліматичні тощо), наприклад, карта вітру;
- конкретні методики для тих випадків, коли Єврокод регламентує використання альтернатив.

Вони можуть також містити:

- рекомендації щодо застосування довідкових додатків;
- посилання на додаткову інформацію, яка не суперечить нормативним вимогам і допомагає при користуванні Єврокодами.

component products of both a traditional and an innovative nature. Unusual forms of construction or design conditions are not specifically covered and additional expert consideration will be required by the designer in such cases.

National Standards implementing Eurocodes

The National Standards implementing Eurocodes will comprise the full text of the Eurocode (including any annexes), as published by CEN, which may be preceded by a National title page and National foreword, and may be followed by a National Annex.

The National Annex may only contain information on those parameters which are left open in the Eurocode for national choice, known as Nationally Determined Parameters, to be used for the design of buildings and civil engineering works to be constructed in the country concerned, i.e.:

- values for partial factors and/or classes where alternatives are given in the Eurocode,
- values to be used where a symbol only is given in the Eurocode,
- country specific data (geographical, climatic, etc.), e.g. wind map,
- the procedure to be used where alternative procedures are given in the Eurocode.

It may also contain

- decisions on the use of informative annexes, and
- references to non-contradictory complementary information to assist the user to apply the Eurocode.

**Зв'язки між Єврокодами
та гармонізованими технічними
специфікаціями (ENs та ETAs) для
виробів**

Необхідна узгодженість між гармонізованими технічними специфікаціями для будівельних виробів та технічними правилами для будівель і споруд³. Крім того, у повній інформації, яка супроводжує CE маркування будівельних виробів і має відношення до Єврокодів, має бути чітко зазначено, які національно визначені параметри були взяті до уваги.

**Додаткова інформація щодо
EN 1999-1-3**

EN 1999 призначений для використання з Єврокодами EN 1990 – Основи проектування конструкцій, EN 1991 – Дії на конструкції та Єврокодами з EN 1992 по EN 1999, які мають відношення до алюмінієвих конструкцій або алюмінієвих елементів.

EN 1999-1-3 – це одна з п'яти частин EN 1999-1 – EN 1999-1-5, кожна з яких стосується різних алюмінієвих елементів, граничних станів або типів конструкцій. EN 1999-1-3 наводить принципи, вимоги та правила щодо проектування конструкцій алюмінієвих елементів та конструкцій, які зазнають впливу втоми.

Числові значення для часткових коефіцієнтів та інші параметри надійності рекомендуються як основні значення, які забезпечують прийнятний рівень надійності. Вони були обрані при допущенні відповідного рівня кваліфікації робітників та контролю якості.

**Links between Eurocodes
and harmonised technical specifications
(ENs and ETAs)
for products**

There is a need for consistency between the harmonised technical specifications for construction products and the technical rules for works³. Furthermore, all the information accompanying the CE Marking of the construction products which refer to Eurocodes shall clearly mention which Nationally Determined Parameters have been taken into account.

**Additional information specific
for EN 1999-1-3**

EN 1999 is intended to be used with Eurocodes EN 1990 – Basis of Structural Design, EN 1991 – Actions on structures and EN 1992 to EN 1999, where aluminium structures or aluminium components are referred to.

EN 1999-1-3 is one of five parts EN 1999-1-1 to EN 1999-1-5 each addressing specific aluminium components, limit states or type of structure. EN 1999-1-3 describes the principles, requirements and rules for the structural design of aluminium components and structures subjected to fatigue actions.

Numerical values for partial factors and other reliability parameters are recommended as basic values that provide an acceptable level of reliability. They have been selected assuming that an appropriate level of workmanship and quality management applies.

³ Дивись розділ 3.3 і розділ 12 з CPD, а також пункти 4.2, 4.3.1, 4.3.2 і 5.2 з ID 1. Конструкційні вироби які посилаються на Єврокоди повинні точно вказувати які Національно Визначені Параметри враховані.

³ See Art.3.3 and Art.12 of the CPD, as well as clauses 4.2, 4.3.1, 4.3.2 and 5.2 of ID 1. Construction products which refer to Eurocodes should clearly mention which Nationally Determined Parameters have been taken into account.

**Національний Додаток
до EN 1999-1-3**

Цей стандарт надає альтернативні процедури, величини і рекомендації для класів із примітками, які вказують місце, де необхідно зробити національні вибір. Таким чином, національний стандарт, який впроваджує EN 1999-1-1 повинен мати Національний додаток, який включав би усі національно визначені параметри, які використовуються при проектуванні алюмінієвих конструкцій для будівництва у відповідній країні.

Національний вибір дозволений у EN 1999-1-3 у таких підпунктах:

- 2.1 (1)
- 2.2.1 (3)
- 2.3.1 (3)
- 2.3.2 (6)
- 2.4 (1)
- 3 (1)
- 4 (2)
- 5.8.1 (1)
- 5.8.2 (1)
- 6.1.3 (1)
- 6.2.1(2)
- 6.2.1 (7)
- 6.2.1 (11)
- 6.2.4 (1)
- A.3.1 (1)
- E (5)
- E (7)
- I.2.2 (1)
- I.2.3.2 (1)
- I.2.4 (1).

**National annex
for EN 1999-1-3**

This standard gives alternative procedures, values and recommendations for classes with notes indicating where national choices may have to be made. Therefore the National Standard implementing EN 1999-1-1 should have a National Annex containing all Nationally Determined Parameters to be used for the design of aluminium structures to be constructed in the relevant country.

National choice is allowed in EN 1999-1-3 through clauses:

- 2.1 (1)
- 2.2.1 (3)
- 2.3.1 (3)
- 2.3.2 (6)
- 2.4 (1)
- 3 (1)
- 4 (2)
- 5.8.1 (1)
- 5.8.2 (1)
- 6.1.3 (1)
- 6.2.1(2)
- 6.2.1 (7)
- 6.2.1 (11)
- 6.2.4 (1)
- A.3.1 (1)
- E (5)
- E (7)
- I.2.2 (1)
- I.2.3.2 (1)
- I.2.4 (1).

1 ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

1.1 Галузь застосування

1.1.1 Галузь застосування EN 1999

(1)Р Стандарт EN 1999 регламентує питання проектування алюмінієвих конструкцій будівель та споруд цивільного призначення. Зміст даного документу відповідає принципам і вимогам безпеки та експлуатаційної надійності конструкцій, основам їх проектування та перевірки, наданим у EN 1990 – Основи проектування конструкцій.

(2) EN 1999 висуває вимоги тільки до опору, експлуатаційної придатності, довговічності та вогнестійкості алюмінієвих конструкцій. Інші вимоги, такі як тепло- або звукоізоляція, у даному стандарті не розглядаються.

(3) Стандарт EN 1999 повинен використовуватися разом з наступними документами:

- EN 1990 Основи проектування конструкцій
- EN 1991 Дії на конструкції
- Європейські стандарти будівельної продукції, які стосуються алюмінієвих конструкцій
- EN 1090-1: Виконання робіт зі сталевими та алюмінієвими конструкціями – Частина 1: Оцінка відповідності деталей конструкції⁴
- EN 1090-3: Виконання робіт зі сталевими та алюмінієвими конструкціями – Частина 3: Технічні вимоги до алюмінієвих конструкцій⁵

(4) EN 1999 поділяється на п'ять частин:

EN 1999-1-1 Проектування алюмінієвих конструкцій: Основні правила для конструкцій

⁴ Буде опубліковано

⁴ To be published

⁵ Буде опубліковано

⁵ To be published

1 GENERAL

1.1 Scope

1.1.1 Scope of EN 1999

(1)P EN 1999 applies to the design of buildings and civil engineering and structural works in aluminium. It complies with the principles and requirements for the safety and serviceability of structures, the basis of their design and verification that are given in EN 1990 – Basis of structural design.

(2) EN 1999 is only concerned with requirements for resistance, serviceability, durability and fire resistance of aluminium structures. Other requirements, e.g. concerning thermal or sound insulation, are not considered.

(3) EN 1999 is intended to be used in conjunction with:

- EN 1990 Basis of structural design
- EN 1991 Actions on structures
- European Standards for construction products relevant for aluminium structures
- EN 1090-1: Execution of steel structures and aluminium structures – Part 1: Conformity assessment of structural components⁴
- EN 1090-3: Execution of steel structures and aluminium structures – Part 3: Technical requirements for aluminium structures⁵

(4) EN 1999 is subdivided in five parts:

EN 1999-1-1 Design of Aluminium Structures: General structural rules

EN 1999-1-2 Проектування алюмінієвих конструкцій: Розрахунок конструкцій на вогнестійкість.

EN 1999-1-3: Проектування алюмінієвих конструкцій: Конструкції, чутливі до втоми

EN 1999-1-4 Проектування алюмінієвих конструкцій: Холодноформований конструкційний листовий матеріал

EN 1999-1-5 Проектування алюмінієвих конструкцій: Оболонкові конструкції

1.1.2 Галузь застосування EN 1999-1-3

(1) EN 1999-1-3 надає основні правила проектування конструкцій з алюмінієвих сплавів, приймаючи до уваги граничний стан руйнування, спричинений втомою.

(2) EN 1999-1-3 надає правила для:

– проектування з безпечним терміном служби;

– проектування з урахуванням допустимих руйнувань;

– проектування в комплексі з випробуваннями.

(3) EN 1999-1-3 призначений для застосування з EN 1090-3 «Технічні вимоги до виготовлення алюмінієвих конструкцій», який містить вимоги, необхідні для проектних допусків, яких необхідно дотримуватись в процесі виготовлення елементів та конструкцій.

(4) EN 1999-1-3 не охоплює герметичні захисні оболонки та трубопроводи.

(5) У EN 1999-1-3 розглядається наступне:

Розділ 1: Загальні положення

Розділ 2: Основи проектування

Розділ 3: Матеріали, складові частини та з'єднуючі пристрої

Розділ 4: Довговічність

Розділ 5: Розрахунок конструкцій

Розділ 6: Втомна міцність та деталізовані категорії

Додаток А: Основи розрахунку опору втомі (обов'язковий)

EN 1999-1-2 Design of Aluminium Structures: Structural fire design

EN 1999-1-3 Design of Aluminium Structures: Structures susceptible to fatigue

EN 1999-1-4 Design of Aluminium Structures: Cold-formed structural sheeting

EN 1999-1-5 Design of Aluminium Structures: Shell structures

1.1.2 Scope of EN 1999-1-3

(1) EN 1999-1-3 gives the basis for the design of aluminium alloy structures with respect to the limit state of fracture induced by fatigue

(2) EN 1999-1-3 gives rules for:

– safe life design;

– damage tolerant design;

– design assisted by testing.

(3) EN 1999-1-3 is intended to be used in conjunction with EN 1090-3 “Technical requirements for the execution of aluminium structures” which contains the requirements necessary for the design assumptions to be met during execution of components and structures.

(4) EN 1999-1-3 does not cover pressurised containment vessels or pipe-work.

(5) The following subjects are dealt with in EN 1999-1-3:

Section 1: General

Section 2: Basis of design

Section 3: Materials, constituent products and connecting devices

Section 4: Durability

Section 5: Structural analysis

Section 6: Fatigue resistance and detail categories

Annex A: Basis for calculation of fatigue resistance [normative]

Додаток В: Вказівки щодо оцінювання розростання тріщини за допомогою механіки руйнування (довідковий)

Annex B: Guidance on assessment of crack growth by fracture mechanics [informative]

Додаток С: Випробування для розрахунку на втому (довідковий)

Annex C: Testing for fatigue design [informative]

Додаток D: Розрахунок напруження (довідковий)

Annex D: Stress analysis [informative]

Додаток E: Адгезійні з'єднання (довідковий)

Annex E: Adhesively bonded joints [informative]

Додаток F: Діапазон малоциклової втоми (довідковий)

Annex F: Low cycle fatigue range [informative]

Додаток G: Вплив коефіцієнту напруження R (довідковий)

Annex G: Influence of R -ratio [informative]

Додаток H: Втомна міцність зварних з'єднань (довідковий)

Annex H: Fatigue strength improvement of welds [informative]

Додаток I: Ливарні сплави (довідковий)

Annex I: Castings [informative]

Додаток J: Таблиці деталізованих категорій (довідковий)

Annex J: Detail category tables [informative]

Додаток K: Метод стандартної деталі з місцевим напруженням (довідковий)

Annex K: Hot spot reference detail method [informative]

Бібліографія

Bibliography

1.2 Нормативні посилання

1.2 Normative references

(1) Слід використовувати нормативні посилання до EN 1999-1-1.

(1) The normative references of EN 1999-1-1 apply.

1.3 Допущення

1.3 Assumptions

(1)P Слід використовувати загальні допущення EN 1990, 1.3.

(1)P The general assumptions of EN 1990, 1.3 apply.

(2)P Слід використовувати положення EN 1999-1-1, 1.8.

(2)P The provisions of EN 1999-1-1, 1.8 apply.

(3) P Методики проектування вважаються дійсними тільки тоді, коли дотримуються вимоги виконання, наведені в EN 1090-3, або інші еквівалентні вимоги.

(3)P The design procedures are valid only when the requirements for execution in EN 1090-3 or other equivalent requirements are complied with.

1.4 Відмінність між принципами та правилами використання

1.4 Distinction between Principles and Application Rules

(1) Наведено в EN 1990, розділ 1.4.

(1) The rules in EN 1990 clause 1.4 apply.

1.5 Терміни та визначення

1.5 Terms and definitions

1.5.1 Загальні положення

1.5.1 General

(1) Правила наведені в EN 1990, розділ 1.5.

(1) The rules in EN 1990, 1.5 apply.

1.5.2 Додаткові терміни, що використовуються в EN 1999-1-3

(1) У даному Європейському Стандарті використані терміни та визначення, що наведені в EN 1990 та EN 1999-1-1. Додатково у данному стандарті використовуються наступні терміни та визначення.

1.5.2.1 втома

ослаблення частини конструкції через виникнення тріщини та розповсюдження її в результаті повторюваного перемінного напруження.

1.5.2.2 втомне навантаження

ряд типових навантажень, описаний за допомогою положень або переміщень впливів, їх варіацій, періодичності та послідовності виникнення.

1.5.2.3 процес навантаження

визначена послідовність навантаження, прикладеного до конструкції, яку, в цілях проектування, передбачається повторювати з заданою періодичністю.

1.5.2.4 номінальне напруження

напруження в основному матеріалі, який примикає до місця розташування потенціальної тріщини, що розраховується у відповідності з простою межею пружності теорії матеріалів, тобто допускаючи, що плоскі перерізи залишаються плоскими, а усі дії концентрації напружень не враховуються.

1.5.2.5 модифіковане номінальне напруження

номінальне напруження, збільшене за допомогою відповідного геометричного коефіцієнта концентрації напруження K_{gt} , з метою врахування геометричних змін поперечного перерізу, які не були враховані в класифікації конкретного конструкційного елемента.

1.5.2.6 місцеве напруження

також відоме як конструкційне напруження. Це напруження нижче границі пружності в точці, що враховує всі геометричні неоднорідності, але не

1.5.2 Additional terms used in EN 1999-1-3

(1) For the purpose of this European Standard the following terms and definitions in addition to those defined in EN 1990 and EN 1999-1-1 apply.

1.5.2.1 fatigue

weakening of a structural part, through crack initiation and propagation caused by repeated stress fluctuations.

1.5.2.2 fatigue loading

a set of typical load events described by the positions or movements of actions, their variation in intensity and their frequency and sequence of occurrence.

1.5.2.3 loading event

a defined load sequence applied to the structure, which, for design purposes, is assumed to repeat at a given frequency.

1.5.2.4 nominal stress

a stress in the parent material adjacent to a potential crack location, calculated in accordance with simple elastic strength of materials theory, i.e. assuming that plane sections remain plane and that all stress concentration effects are ignored.

1.5.2.5 modified nominal stress

a nominal stress increased by an appropriate geometrical stress concentration factor K_{gt} , to allow only for geometric changes of cross section which have not been taken into account in the classification of a particular constructional detail.

1.5.2.6 geometric stress

also known as structural stress, is the elastic stress at a point, taking into account all geometrical discontinuities, but ignoring any local singularities where the transition radius

враховує будь-які місцеві звуження, при яких радіус переходу прямує до нуля, такі як виїмки, що виникли через незначні неоднорідності, наприклад, кромки зовнішньої поверхні зварного шва, тріщини, пошкодження, схожі на тріщини, звичайні сліди механічної обробки і т.д.

1.5.2.7 коефіцієнт концентрації локального напруження

співвідношення між локальним напруженням, що оцінюється за допомогою допущення лінійної пружної поведінки матеріалу, і номінальним напруженням.

1.5.2.8 максимальне місцеве напруження

місцеве напруження, що виникає на певній ділянці в окремому геометричному типі конструкції, наприклад, на кромці зовнішньої поверхні зварного шва в кутовому з'єднанні пустотілих профілів, для якого границя втоми, виражена в одиницях діапазону максимального місцевого напруження, як правило, відома.

1.5.2.9 історія напружень

хронологічний запис, що відображає виміряні або розраховані варіації напружень у певній точці конструкції за визначений період часу.

1.5.2.10 точка зміни напруження

значення напруження в історії напружень, при якому рівень зміни напруження змінює знак.

1.5.2.11 пік напруження

точка зміни напруження, в якій рівень зміни напруження змінюється з позитивного на негативний.

1.5.2.12 точка мінімуму напруження

точка зміни напруження, в якій рівень зміни напруження змінюється з позитивного на негативний.

1.5.2.13 постійна амплітуда

термін відноситься до історії напружень, а саме до ділянок, де напруження коливається між піками та точками мінімуму напруження постійних значень.

tends to zero, such as notches due to small discontinuities, e.g. weld toes, cracks, crack like features, normal machining marks etc. It is in principle the same stress parameter as the modified nominal stress, but generally evaluated by a different method.

1.5.2.7 *geometric stress concentration factor*

the ratio between the geometric stress evaluated with the assumption of linear elastic behaviour of the material and the nominal stress.

1.5.2.8 *hot spot stress*

the geometric stress at a specified initiation site in a particular type of geometry, such as a weld toe in an angle hollow section joint, for which the fatigue strength, expressed in terms of the hot spot stress range, is usually known.

1.5.2.9 *stress history*

a continuous chronological record, either measured or calculated, of the stress variation at a particular point in a structure for a given period of time.

1.5.2.10 *stress turning point*

the value of stress in a stress history where the rate of change of stress changes sign.

1.5.2.11 *stress peak*

a turning point where the rate of change of stress changes from positive to negative.

1.5.2.12 *stress valley*

a turning point where the rate of change of stress changes from negative to positive

1.5.2.13 *constant amplitude*

relating to a stress history where the stress alternates between stress peaks and stress valleys of constant values.

1.5.2.14 *перемінна амплітуда*

термін відноситься до будь-якої історії напружень, що містить більше, ніж одне значення пікового напруження.

1.5.2.15 *цикл напруження*

частина історії напружень постійної амплітуди, в якій напруження починається та закінчується з однаковим значенням, але в процесі проходить через пік напруження та одну точку мінімуму (в будь-якій послідовності). Також цей термін означає певну частину історії напружень перемінної амплітуди, визначену за допомогою методу підрахунку циклів.

1.5.2.16 *підрахунок циклів*

процес трансформації історії напружень перемінної амплітуди у спектр циклів напружень, кожен з яких має певний діапазон напружень, наприклад, метод резервуару та метод дощового потоку.

1.5.2.17 *метод дощового потоку*

метод підрахунку циклів, що відтворює спектр діапазону напружень на основі історії напружень.

1.5.2.18 *метод резервуару*

метод підрахунку циклів, що відтворює спектр діапазону напружень на основі історії напружень.

1.5.2.19 *амплітуда напружень*

половина значення діапазону напружень

1.5.2.20 *коефіцієнт напруження*

мінімальне напруження, поділене на максимальне напруження в історії напружень постійної амплітуди або в циклі, що отриманий з історії напружень перемінної амплітуди.

1.5.2.21 *коефіцієнт інтенсивності напруження*

мінімальна інтенсивність напруження, поділена на максимальну інтенсивність напруження, що отримана з історії напружень постійної амплітуди або з циклу історії напружень перемінної амплітуди.

1.5.2.14 *variable amplitude*

relating to any stress history containing more than one value of peak or valley stress.

1.5.2.15 *stress cycle*

part of a constant amplitude stress history where the stress starts and finishes at the same value but, in doing so passes through one stress peak and one stress valley (in any sequence). Also, a specific part of a variable amplitude stress history as determined by a cycle counting method.

1.5.2.16 *cycle counting*

the process of transforming a variable amplitude stress history into a spectrum of stress cycles, each with a particular stress range, e.g. the 'Reservoir' method and the 'Rain flow' method.

1.5.2.17 *rainflow method*

particular cycle counting method of producing a stress-range spectrum from a given stress history.

1.5.2.18 *reservoir method*

particular cycle counting method of producing a stress-range spectrum from a given stress history.

1.5.2.19 *stress amplitude*

half the value of the stress range.

1.5.2.20 *stress ratio*

minimum stress divided by the maximum stress in a constant amplitude stress history or a cycle derived from a variable amplitude stress history.

1.5.2.21 *stress intensity ratio*

minimum stress intensity divided by the maximum stress intensity derived from a constant amplitude stress history or a cycle from a variable amplitude stress history.

1.5.2.22 середнє напруження

середнє значення алгебраїчної суми максимальних та мінімальних значень напруження.

1.5.2.23 діапазон напружень

алгебраїчна різниця між піком напруження та точкою мінімуму в циклі напружень.

1.5.2.24 діапазон інтенсивності напруження

алгебраїчна різниця між максимальною інтенсивністю напруження і мінімальною інтенсивністю напруження, що отримані з піку напруження та точки мінімуму в циклі напружень.

1.5.2.25 спектр діапазону напружень

гістограма частоти виникнення для всіх діапазонів напружень різних величин, що записана або розрахована для конкретного навантаження (також цей термін відомий під назвою спектр напруження).

1.5.2.26 розрахунковий спектр

загальне число всіх спектрів діапазонів напружень, що мають відношення до оцінки втоми.

1.5.2.27 деталізована категорія категорія елементів

значення надане конкретному елементу при заданому напрямі коливання напруження, для того, щоб вказати, яка крива втомної міцності підходить для оцінки втоми.

1.5.2.28 зносостійкість

термін функціонування до відмови, виражений в циклах, під впливом історії напружень постійної амплітуди.

1.5.2.29 крива втомної міцності

кількісне співвідношення діапазону напружень та зносостійкості, яке використовується для оцінки втоми категорії конструкційного елементу, що нанесене у даному стандарті на графік за допомогою логарифмічних осей.

1.5.2.30 допустима втомна міцність

діапазон напружень постійної амплітуди $\Delta\sigma_c$ для певної деталізованої категорії для

1.5.2.22 mean stress

the mean value of the algebraic sum of maximum and minimum stress values.

1.5.2.23 stress range

the algebraic difference between the stress peak and the stress valley in a stress cycle.

1.5.2.24 stress intensity range

the algebraic difference between the maximum stress intensity and the minimum stress intensity derived from the stress peak and the stress valley in a stress cycle.

1.5.2.25 stress-range spectrum

histogram of the frequency of occurrence for all stress ranges of different magnitudes recorded or calculated for a particular load event (also known as 'stress spectrum').

1.5.2.26 design spectrum

the total of all stress-range spectra relevant to the fatigue assessment

1.5.2.27 detail category

the designation given to a particular fatigue initiation site for a given direction of stress fluctuation in order to indicate which fatigue strength curve is applicable for the fatigue assessment.

1.5.2.28 endurance

the life to failure expressed in cycles, under the action of a constant amplitude stress history.

1.5.2.29 fatigue strength curve

the quantitative relationship relating stress range and endurance, used for the fatigue assessment of a category of constructional detail, plotted with logarithmic axes in this standard.

1.5.2.30 reference fatigue strength

the constant amplitude stress range $\Delta\sigma_c$ for a particular detail category for an endurance

зносостійкості $N_c = 2 \times 10^6$ циклів.

1.5.2.31 *границя втоми постійної амплітуди*

діапазон напружень, нижче значень якого усі діапазони напружень в розрахунковому спектрі не повинні враховуватися як такі, що спричиняють втомні руйнування.

1.5.2.32 *гранична межа*

межа, нижче за яку діапазони напружень розрахункового спектру можуть бути виключені з розрахунку накопичених пошкоджень.

1.5.2.33 *розрахунковий термін служби*

базовий термін часу, впродовж якого конструкція повинна безпечно функціонувати з допустимою можливістю того, що відмова конструкції в результаті виникнення втомних тріщин не відбудеться.

1.5.2.34 *безпечний термін служби*

термін часу, впродовж якого конструкція повинна безпечно функціонувати з допустимою можливістю того, що відмова конструкції в результаті виникнення втомних тріщин не відбудеться при використанні методу проектування, який забезпечує безпечний термін служби.

1.5.2.35 *стійкість до пошкоджень*

здатність конструкції витримувати втомні тріщини без виникнення відмови конструкції або експлуатаційної ненадійності.

1.5.2.36 *втомне пошкодження*

відношення кількості циклів заданого діапазону напружень, який повинен підтримуватися впродовж визначеного періоду часу функціонування, до зносостійкості конструкційного елемента під впливом такого ж діапазону напружень.

1.5.2.37 *накопичення пошкоджень Майнера*

сукупність пошкоджень впродовж усіх циклів в спектрі діапазону напружень (або розрахунковому спектрі), що базується на правилі Пальмгрена-Майнера.

$N_c = 2 \times 10^6$ cycles.

1.5.2.31 *constant amplitude fatigue limit*

the stress range below which value all stress ranges in the design spectrum should lie for fatigue damage to be ignored.

1.5.2.32 *cut-off limit*

limit below which stress ranges of the design spectrum may be omitted from the cumulative damage calculation.

1.5.2.33 *design life*

the reference period of time for which a structure is required to perform safely with an acceptable probability that structural failure by fatigue cracking will not occur.

1.5.2.34 *safe life*

the period of time for which a structure is estimated to perform safely with an acceptable probability that failure by fatigue cracking will not occur, when using the safe life design method.

1.5.2.35 *damage tolerance*

ability of the structure to accommodate fatigue cracking without structural failure or unserviceability.

1.5.2.36 *fatigue damage*

the ratio of the number of cycles of a given stress range which is required to be sustained during a specified period of service to the endurance of the constructional detail under the same stress range.

1.5.2.37 *Miner's summation*

the summation of the damage due to all cycles in a stress-range spectrum (or a design spectrum), based on the Palmgren-Miner rule

1.5.2.38 *еквівалентне втомне навантаження*

спрощене навантаження, зазвичай прикладене задану кількість разів таким чином, що воно може бути використане замість більш реалістичних навантажень при заданих умовах, щоб спричинити еквівалентну кількість втомних пошкоджень до прийнятого допустимого рівня.

1.5.2.39 *еквівалентний діапазон напружень*

діапазон напружень конструкційного елемента, що викликаний від прикладення еквівалентного втомного навантаження.

1.5.2.40 *еквівалентне навантаження постійної амплітуди*

спрощене навантаження постійної амплітуди, що викликає той самий ефект втомних пошкоджень, що і реальні навантаження перемінної амплітуди.

1.6 Позначення

A – константа в співвідношенні розростання тріщини;

a – висота кутового зварного шва;

a – довжина тріщини;

a_c – ширина тріщини на поверхні;

da/dN – рівень розростання тріщини (м/цикл);

D – величина втомного пошкодження, що вирахована за заданий період часу функціонування;

D_L – величина втомного пошкодження, що вирахована за весь період часу функціонування;

D_{lim} – встановлена границя величини втомних пошкоджень;

$f_{V,adh}$ – характеристичний опір зсуву адгезії;

K_{gt} – геометричний коефіцієнт концентрації напруження;

K – коефіцієнт інтенсивності напруження;

ΔK – діапазон інтенсивності напруження;

1.5.2.38 *equivalent fatigue loading*

a simplified loading, usually a single load applied a prescribed number of times in such a way that it may be used in place of a more realistic set of loads, within a given range of conditions, to give an equivalent amount of fatigue damage, to an acceptable level of approximation

1.5.2.39 *equivalent stress range*

the stress range at a constructional detail caused by the application of an equivalent fatigue load

1.5.2.40 *equivalent constant amplitude loading*

simplified constant amplitude loading causing the same fatigue damage effects as a series of actual variable amplitude load events

1.6 Symbols

A is the constant in the crack growth relationship;

a is the fillet weld throat;

a is the crack length;

a_c is the crack width on surface;

da/dN is the crack growth rate (m/cycle);

D is the fatigue damage value calculated for a given period of service;

D_L is the fatigue damage value calculated for the full design life;

D_{lim} is the prescribed limit of the fatigue damage value;

$f_{V,adh}$ is the characteristic shear strength of adhesive;

K_{gt} is the geometric stress concentration factor;

K is the stress intensity factor;

ΔK is the stress intensity range;

k_{adh} – коефіцієнт втомної міцності адгезійного з'єднання;

k_F – кількість стандартних відхилень вище середньої очікуваної інтенсивності навантаження ;

k_N – кількість стандартних відхилень вище середньої очікуваної кількості циклів навантаження;

L_{adh} – ефективна довжина адгезійних з'єднань внапуск;

l_d – мінімальна виявлена довжина тріщини;

l_f – критична довжина тріщини;

\log – логарифм за основою 10;

m – постійний зворотній нахил $\log \Delta\sigma - \log N$ кривої втомної міцності, або відповідний показник ступіня розростання тріщини;

m_1 – значення m для $N \leq 5 \times 10^6$ циклів;

m_2 – значення m для $5 \times 10^6 < N \leq 10^8$ циклів;

N – значення (або загальне число) циклів діапазону напружень;

N_i – зносостійкість при діапазоні напружень $\Delta\sigma_i$;

N_C – кількість циклів (2×10^6), при якій визначається стандартна втомна міцність;

N_D – кількість циклів (5×10^6) при якій визначається границя втоми постійної амплітуди;

N_L – кількість циклів (10^8) при якій визначається гранична межа;

n_i – кількість циклів діапазону напружень $\Delta\sigma_i$;

P – вірогідність;

R – коефіцієнт напруження;

t – товщина;

k_{adh} is the fatigue strength factor for adhesive joints;

k_F is number of standard deviations above mean predicted intensity of loading;

k_N is the number of standard deviations above mean predicted number of cycles of loading;

L_{adh} is the effective length of adhesively bonded lap joints;

l_d is the minimum detectable length of crack;

l_f is the fracture critical length of crack;

\log is the logarithm to base 10;

m is the inverse slope constant of $\log \Delta\sigma - \log N$ fatigue strength curve, or respectively crack growth rate exponent;

m_1 is the value of m for $N \leq 5 \times 10^6$ cycles;

m_2 is the value of m for $5 \times 5 \times 10^6 < N \leq 10^8$ cycles;

N is the number (or total number) of stress range cycles;

N_i is the endurance under stress range $\Delta\sigma_i$;

N_C is the number of cycles (2×10^6) at which the reference fatigue strength is defined;

N_D is the number of cycles (5×10^6) at which the constant amplitude fatigue limit is defined;

N_L is the number of cycles (10^8) at which the cut-off limit is defined;

n_i is the number of cycles of stress range $\Delta\sigma_i$;

P is the probability;

R is the stress ratio;

t is the thickness;

T_i – періодичність перевірок;
 T_f – час з моменту виявлення тріщини, за який тріщина досягає критичних розмірів;
 T_L – розрахунковий термін служби;
 T_S – безпечний термін служби;
 y – геометричний коефіцієнт тріщини в співвідношенні розростання тріщини;
 γ_{Ff} – частковий коефіцієнт інтенсивності втомного навантаження;
 γ_{Mf} – частковий коефіцієнт втомної міцності;
 $\Delta\sigma$ – номінальний діапазон напружень (нормальне напруження);
 $\Delta\tau$ – ефективний діапазон дотичних напружень;
 $\Delta\sigma_C$ – стандартна втомна міцність при 2×10^6 циклах (нормальне напруження);
 $\Delta\sigma_D$ – границя втоми постійної амплітуди;
 $\Delta\sigma_E$ – еквівалентний діапазон навантажень постійної амплітуди, що відноситься до N_{max} ;
 $\Delta\sigma_{E,2}$ – еквівалентний діапазон навантажень постійної амплітуди, що відноситься до 2×10^6 cycles;
 $\Delta\sigma_L$ – гранична межа;
 $\Delta\sigma_R$ – втомна міцність (нормальне напруження);
 $\sigma_{max,min}$ – максимальне та мінімальне значення коливання напруження в циклі напружень;
 σ_m – середнє напруження.

1.7 Специфікація для виконання робіт

1.7.1 Специфікація виконання робіт

(1) Специфікація виконання робіт повинна включати усі вимоги до підготовки матеріалів, монтажу, з'єднань, подальшої обробки та перевірки, для забезпечення потрібної втомної міцності.

T_i is the inspection interval;
 T_f is the time for a crack to grow from a detectable size to a fracture critical size;
 T_L is the design life;
 T_S is the safe life;
 y is the crack geometry factor in crack growth relationship;
 γ_{Ff} is the partial factor for fatigue load intensity;
 γ_{Mf} is the partial factor for fatigue strength;
 $\Delta\sigma$ is the nominal stress range (normal stress);
 $\Delta\tau$ is the effective shear stress range;
 $\Delta\sigma_C$ is the reference fatigue strength at 2×10^6 cycles (normal stress);
 $\Delta\sigma_D$ is the constant amplitude fatigue limit;
 $\Delta\sigma_E$ is the equivalent constant amplitude stress range related to N_{max} ;
 $\Delta\sigma_{E,2}$ is the equivalent constant amplitude stress range related to 2×10^6 cycles;
 $\Delta\sigma_L$ is the cut-off limit;
 $\Delta\sigma_R$ is the fatigue strength (normal stress);
 $\sigma_{max,min}$ is the maximum and minimum values of the fluctuating stresses in a stress cycle;
 σ_m is the mean stress.

1.7 Specification for execution

1.7.1 Execution specification

(1) The execution specification should include all requirements for material preparation, assembly, joining, post treatment and inspection in order that the required fatigue strengths are achieved.

1.7.2 Керівництво по експлуатації

(1) Керівництво по експлуатації повинне включати:

- детальну інформацію про втомні навантаження і розрахунковий термін служби, що прийняті в проекті;
- будь-які необхідні вимоги щодо інтенсивності контрольного навантаження та частоти повторення під час експлуатації;
- інструкції, що передбачають будь-які модифікації конструкції, наприклад, створення отворів або зварювання, без кваліфікованого розрахунку можливих наслідків для конструкції;
- інструкції щодо демонтажу та повторного монтажу частин, наприклад, затяжки кріпильної деталі.
- допустимі методи ремонту у випадку випадкового пошкодження конструкції (наприклад, вм'ятини, просочування, розриви і.т.д.).

1.7.3 Керівництво по перевірці та технічному обслуговуванню

(1) Керівництво по технічному обслуговуванню повинне включати графік будь-яких необхідних перевірок, що проводяться під час експлуатації, для частин, що найбільше зазнають втоми. Особливе значення це має при проектуванні, що передбачає стійкість конструкції до пошкоджень. У такому випадку керівництво повинне включати:

- методи перевірки;
- місця проведення перевірки;
- періодичність перевірок;
- за потреби – максимально допустимий розмір тріщини до корекції;
- детальну інформацію щодо методів ремонту або заміни частин, що зазнали втомних тріщин.

2 ОСНОВИ ПРОЕКТУВАННЯ

2.1 Загальні положення

2.1.1 Основні вимоги

(1)Р Ціль проектування конструкції з

1.7.2 Operation manual

(1) The operation manual should include:

- details of the fatigue loading and the design life assumed in the design;
- any necessary requirements to monitor loading intensity and frequency during service;
- an instruction forbidding any modification of the structure, e.g. making of holes or welding, without qualified analysis of any structural consequences;
- instructions for dismantling and reassembly of parts, e.g. tightening of fasteners;
- acceptable repair methods in the event of accidental damage in-service (e.g. dents, penetrations, tears, etc).

1.7.3 Inspection and maintenance manual

(1) The maintenance manual should include a schedule of any necessary in-service inspection of fatigue critical parts. In particular, where damage tolerant design has been used, this should include:

- the methods of inspection;
- the locations for inspection;
- the frequency of inspections;
- the maximum permissible crack size before correction is necessary;
- details of methods of repair or replacement of fatigue cracked parts.

2 BASIS OF DESIGN

2.1 General

2.1.1 Basic requirements

(1)P The aim of designing a structure against

урахуванням граничного стану втоми полягає в тому, щоб переконатися в припустимому рівні вірогідності того, що функціонування конструкції буде належним впродовж усього розрахункового терміну її служби. Наприклад, необхідна впевненість у тому, що не відбудеться руйнування конструкції через втому, а також у тому, що не виникне неочікувана необхідність в ремонті через виникнення пошкоджень, спричинених втомою, на протязі розрахункового терміну служби.

Проектування алюмінієвих конструкцій з урахуванням граничного стану втоми може базуватися на одному з наступних методів:

- a) метод проектування, що забезпечує безпечний термін служби (див. 2.2.1);
- b) проектування з урахуванням допустимих руйнувань (див. 2.2.2).

Будь-який з методів a) та b) може бути доповнений або замінений проектуванням в комплексі з випробуваннями (див. 2.2.3).

Примітка. Національний додаток може надавати правила застосування методу проектування з урахуванням допустимих руйнувань, див. Додаток А.

- (2) Правила проектування надаються в інших частинах EN 1999.

2.2 Методики розрахунку на втому

2.2.1 Метод проектування, що забезпечує безпечний термін служби

(1) Даний метод базується на розрахунку пошкоджень, які виникли впродовж розрахункового терміну служби, з використанням стандартних даних нижньої межі зносостійкості та верхньої межі втомного навантаження. Цей метод дає консервативну оцінку втомної довговічності.

(2) Метод включає прогнозування історій напружень на потенційних місцях виникнення напружень, за яким слідує підрахунок діапазонів напружень та компіляція спектрів напруження. За допомогою цієї інформації оцінка розрахункового терміну служби здійснюється за допомогою відповідного діапазону напружень втомної міцності для

the limit state of fatigue is to ensure, with an acceptable level of probability, that its performance is satisfactory during its entire design life, such that the structure shall not fail by fatigue nor shall it be likely to require undue repair of damage caused by fatigue during the design life.

The design of aluminium structures against the limit state of fatigue may be based on one of following methods:

- a) Safe life design (see 2.2.1);
- b) Damage tolerant design (see 2.2.2).

Either of methods a) and b) may be supplemented or replaced by design assisted by testing (see 2.2.3).

NOTE: The National Annex may give rules for the application of the damage tolerant design method, see Annex A.

- (2) The design rules in the other parts of EN 1999 apply.

2.2 Procedures for fatigue design

2.2.1 Safe life design

(1) This method is based on the calculation of damage during the structure's design life using standard lower bound endurance data and an upper bound estimate of the fatigue loading. The method provides a conservative estimate of fatigue life.

(2) The method involves prediction of the stress histories at potential initiation sites, followed by counting of stress ranges and compilation of stress spectra. From this information an estimate of the design life is made using the appropriate stress range endurance data for the constructional detail concerned. This method is given in A.2.

відповідного конструкційного елемента. Цей метод наведений в А.2

(3) Для методу проектування, який забезпечує безпечний термін служби, значення D_L для всіх циклів при використанні правила Майнера повинне задовольняти наступній умові:

де

$D_L = \sum n_i / N_i$ розраховується відповідно до методики, наведеної в А.2.

Примітка. Величина D_{lim} може надаватися в Національному додатку. Рекомендоване максимальна величина D_{lim} дорівнює 1,0.

2.2.2 Метод проектування з урахуванням допустимих руйнувань

(1) Даний метод базується на спостереженнях за розростанням тріщини за допомогою обов'язкової програми огляду.

Примітка. Метод можна застосовувати у тому випадку, якщо оцінка безпечного терміну служби показує, що втома має значний вплив на економічний розрахунок та якщо високий ризик виникнення втомних тріщин впродовж розрахункового терміну служби є виправданим і дозволеним принципами методу проектування, який забезпечує безпечний термін служби. Даний метод має за мету отримання такого ж рівня надійності, як при використанні методу проектування, який забезпечує безпечний термін служби.

(2) Метод передбачає визначення мінімального помітного розміру тріщини на потенційних ділянках виникнення тріщин. Розраховуються історії напружень на ділянках, після чого підраховуються діапазони інтенсивності напружень та компілюються спектри інтенсивності напружень. Ця інформація використовується з співвідношенням розростання тріщини для сплаву для визначення рівня розростання тріщини. Оцінюється час, який потрібен на розростання тріщини до максимально допустимого розміру, а також відповідно визначається режим перевірки. Метод та умови його застосування надано у А.3.

Примітка. Рекомендації щодо даних розростання

(3) For safe life design the damage D_L for all cycles using Miner's summation should fulfil the condition:

$$D_L \leq D_{lim} \quad (2.1)$$

where:

$D_L = \sum n_i / N_i$ is calculated in accordance with the procedure given in A.2.

NOTE: The value of D_{lim} may be given in the National Annex. A recommended maximum value for D_{lim} is 1,0.

2.2.2 Damage tolerant design

(1) This method is based on monitoring fatigue crack growth by means of a mandatory inspection program.

NOTE: The method may be suitable for application where a safe life assessment shows that fatigue has a significant effect on design economy and where a higher risk of fatigue cracking during the design life may be justified than is permitted using safe life design principles. The method is intended to result in the same reliability level as obtained by using the method of safe life design.

(2) The method involves the determination of the minimum detectable crack size at potential initiation sites. The stress histories at the sites, followed by counting of stress intensity ranges and compilation of stress intensity spectra are calculated. This information is used with a crack growth relationship for the alloy to calculate the crack growth rate. The time taken for the crack to grow to a maximum safe crack size is estimated and an inspection regime specified accordingly. The method and conditions for its application are given in A.3.

NOTE: Recommendations for crack growth data are

тріщини надаються у Додатку В.

2.2.3 Проектування за допомогою випробувань

(1) Даний метод повинен використовуватися у випадку, якщо необхідні дані про навантаження, чутливість, втомну міцність або розростання тріщини не доступні зі стандартів або інших джерел специфічного застосування, а також для оптимізації конструкційних деталей. Дані випробувань повинні використовуватися замість стандартних даних лише при умові, що вони отримуються і застосовуються в контрольованих умовах.

Примітка. Перевірка проекту за допомогою випробувань повинна проводитись відповідно до вказівок Додатку С.

2.3 Втомне навантаження

2.3.1 Фактори, що спричиняють виникнення втомного навантаження

(1)P Усі фактори, що спричиняють виникнення коливань напруження в конструкції, повинні бути визначені.

(2) Розглядаються наступні фактори, які спричиняють коливання напруження:

- a) тимчасові рухомі навантаження, включаючи вібрації, спричинені машинним обладнанням в постійних конструкціях;
- b) навантаження, спричинені зовнішніми умовами, такими як вітер, хвилі і.т.д.;
- c) сили прискорення в рухомих конструкціях;
- d) динамічна реакція, спричинена резонансним ефектом;

Примітка. Інформацію щодо обмеження втоми, що спричинена місцевою повторюваною втратою стійкості див. у D.3.

e) зміни температури.

(3) Величина втомного навантаження повинна прийматися відповідно до EN 1991 або відповідно до іншого Європейського стандарту, що містить вказіки на цю тему.

Примітка 1. Параметри впливу, як вказано у EN 1991, можуть виражатися будь-яким з наступних

given in Annex B.

2.2.3 Design assisted by testing

(1) This method should be used where the necessary loading data, response data, fatigue strength data or crack growth data are not available from standards or other sources for a particular application, and for optimisation of constructional details. Test data should only be used in lieu of standard data on condition that they are obtained and applied under controlled conditions.

NOTE: Verification of design by testing should be carried out in accordance with Annex C.

2.3 Fatigue loading

2.3.1 Sources of fatigue loading

(1)P All sources of fluctuating stress in the structure shall be identified.

(2) The following sources of fluctuating stresses should be considered:

- a) Superimposed moving loads, including vibrations from machinery in stationary structures;
- b) loads due to exposure conditions such as wind, waves, etc.;
- c) acceleration forces in moving structures;
- d) dynamic response due to resonant effects;

NOTE: For limitation of fatigue induced by repeated local buckling see D.3.

e) temperature changes.

(3) The fatigue load should be obtained from EN 1991 or other relevant European standard.

NOTE 1: The action parameters as given in EN 1991 are either

значень:

$Q_{\max, n_{\max}}$ стандартизований спектр, або

$Q_{E, n_{\max}}$ що відноситься до n_{\max} циклів

$Q_{E,2}$ відповідно до $n = N_C = 2 \times 10^6$ циклів.

Динамічні ефекти включені в ці параметри, якщо не вказано інше.

Примітка 2. Національний додаток може надавати правила визначення втомного навантаження для випадків, що не передбачені Європейським стандартом.

2.3.2 Отримання значень втомного навантаження

(1) Окрім стандартів втомного навантаження, повинні бути розглянуті наступні пункти.

(2) Навантаження втоми зазвичай повинні бути вказані в показниках спектру розрахункового навантаження, який визначає діапазон інтенсивності конкретного рухомого навантаження та кількість разів прикладення кожного рівню інтенсивності впродовж розрахункового терміну служби конструкції. Якщо можуть виникнути два або більше рухомих навантаження, необхідно визначити фази між ними.

(3) Реалістична оцінка втомного навантаження має вирішальне значення для розрахунку терміну служби конструкції. У випадку, коли немає паспортних даних щодо наявності рухомого навантаження, потрібно отримати дані за допомогою існуючих конструкцій, які зазнають подібних впливів.

(4) В процесі виконання записів тривалих деформацій або відхилень впродовж відповідного періоду виборки, дані щодо навантаження повинні бути виведені за допомогою подальшого аналізу реакції. Слід приділити особливу увагу для оцінки динамічного збільшення впливів, при якому частоти навантаження наближаються до нормальних частот конструкції.

Примітка. Подальші вказівки надано у Додатку С.

(5) Спектр розрахункових навантажень повинен обиратися на основі верхньої межі оцінки сумарних умов функціонування

$Q_{\max, n_{\max}}$ standardized spectrum or

$Q_{E, n_{\max}}$ related to n_{\max} or

$Q_{E,2}$ corresponding to $n = N_C = 2 \times 10^6$ cycles.

Dynamic effects are included in these parameters unless otherwise stated.

NOTE 2. The National Annex may give rules for the determination of the fatigue load for cases not covered by a European standard.

2.3.2 Derivation of fatigue loading

(1) In addition to the fatigue load standards the following clauses should be considered:

(2) Load for fatigue should normally be described in terms of a design load spectrum, which defines a range of intensities of a specific live load event and the number of times that each intensity level is applied during the structure's design life. If two or more independent live load events are likely to occur then it will be necessary to specify the phasing between them.

(3) Realistic assessment of the fatigue load is crucial to the calculation of the life of the structure. Where no published data for live load exist, resort should be made to obtaining data from existing structures subjected to similar effects.

(4) By recording continuous strain or deflection measurements over a suitable sampling period, load data should be inferred by subsequent analysis of the response. Particular care should be taken to assess dynamic magnification effects where load frequencies are close to one of the natural frequencies of the structure.

NOTE: Further guidance is given in Annex C.

(5) The design load spectrum should be selected on the basis that it is an upper bound estimate of the accumulated service conditions

впродовж усього терміну служби конструкції. Необхідно приймати до уваги усі можливі впливи робочих та зовнішніх умов, виходячи з можливого використання конструкції впродовж даного періоду.

(6) Межа достовірності, яка використовується для спектру інтенсивності навантаження, повинна бути основана на середній вірогідній величині плюс k_F стандартних відхилень. Межа достовірності, яка використовується для кількості циклів в спектрі розрахункового навантаження, повинна бути основана на середній вірогідній величині плюс k_N стандартних відхилень.

Примітка. Величини k_F та k_N можуть бути визначені в Національному додатку. Рекомендуються числові значення $k_F = 2$, та $k_N = 2$. Див. також Примітку 2 у підрозділі 2.4 (1).

2.3.3 Еквівалентні втомні навантаження

(1) Спрощене еквівалентне втомне навантаження може бути використано, якщо задовольняються наступні умови:

a) конструкція знаходиться в межах основних конструкційних форм та розмірів, для яких існує визначене еквівалентне втомне навантаження;

b) реальне втомне навантаження з ідентичною інтенсивністю та частотою прикладається аналогічним способом, що прийнятий для отримання значень еквівалентного втомного навантаження;

c) величини m_1 , m_2 , N_D та N_L , див. рис. 6.1, що прийняті для отримання значень еквівалентного втомного навантаження, дорівнюють відповідним величинам оцінюваної конструкційної деталі.

Примітка. Деякі еквівалентні втомні навантаження можуть бути визначені при допущенні простого тривалого нахилу, при якому $m_2 = m_1$ та $\Delta\sigma = 0$. При прикладенні навантажень з численними циклами низької амплітуди результатом може бути дуже консервативна оцінка терміну служби.

d) Динамічна реакція конструкції буде досить низькою, якщо резонансні ефекти, що будуть спричинені різницею маси, жорсткості та коефіцієнтом затухання, не

over the full design life of the structure. Account should be taken of all likely operational and exposure condition effects arising from the foreseeable usage of the structure during that period.

(6) The confidence limit to be used for the intensity of the design load spectrum should be based on the mean predicted value plus k_F standard deviations. The confidence limit to be used for the number of cycles in the design load spectrum should be based on the mean predicted value plus k_N standard deviations.

NOTE: Values of k_F and k_N may be defined in the National Annex. The numerical values $k_F = 2$, and $k_N = 2$ are recommended. See also NOTE 2 under 2.4 (1).

2.3.3 Equivalent fatigue loading

(1) A simplified equivalent fatigue load may be used if the following conditions are satisfied:

a) The structure falls within the range of basic structural forms and size for which the equivalent fatigue load was originally derived;

b) the real fatigue load is of similar intensity and frequency and is applied in a similar way to that assumed in the derivation of the equivalent fatigue load;

c) the values of m_1 , m_2 , N_D and N_L , see Figure 6.1, assumed in the derivation of equivalent fatigue load are the same as those appropriate to the constructional detail being assessed.

NOTE: Some equivalent fatigue loads may have been derived assuming a simple continuous slope where $m_2 = m_1$ and $\Delta\sigma = 0$. For many applications involving numerous low amplitude cycles this will result in a very conservative estimate of life.

d) The dynamic response of the structure is sufficiently low that the resonant effects, which will be affected by differences in mass, stiffness and damping coefficient, will have

матимуть великого впливу на накопичення Майнера.

(2) У випадку, якщо еквівалентне втомне навантаження визначене спеціально для використання в будівництві сплавів алюмінію, усі вказівки, описані вище у (1), повинні прийматися до уваги.

2.4 Часткові коефіцієнти для втомних навантажень

(1) Якщо втомні навантаження F_{Ek} були отримані у відповідності з вимогами 2.3.1 (2) та 2.3.2, то до навантаження повинен бути застосований частковий коефіцієнт, щоб отримати розрахункове навантаження F_{Ed} .

де

γ_{Ff} – частковий коефіцієнт втомних навантажень.

Примітка 1. Часткові коефіцієнти можуть бути визначені в Національному додатку. Рекомендується значення $\gamma_r = 1,0$

Примітка 2. Якщо втомні навантаження базуються на інших межах достовірності, які не вказані у 2.3.2(5), то рекомендовані значення для часткових коефіцієнтів приймаються по таблиці 2.1. Альтернативні значення можуть бути надані в Національному додатку.

Таблиця 2.1 – Рекомендовані часткові коефіцієнти γ_{Ff} для інтенсивності та кількості циклів в спектрі втомного навантаження

Table 2.1 – Recommended partial factors γ_{Ff} for intensity and number of cycles in the fatigue load spectrum

	γ_{Ff}	
	$k_N = 0$	$k_N = 2$
0	1,5	1,4
1	1,3	1,2
2	1,1	1,0

3 МАТЕРІАЛИ, СКЛАДОВІ ЧАСТИНИ ТА З'ЄДНУЮЧІ ПРИБОРИ

(1) Правила проектування, зазначені у EN 1999-1-3, відносяться до складових частин компонентів та конструкцій, що

little effect on the overall Miner summation.

(2) In the event that an equivalent fatigue load is derived specifically for an aluminium alloy structural application, all the matters addressed in (1) above should be taken into account.

2.4 Partial factors for fatigue loads

(1) Where the fatigue loads F_{Ek} have been derived in accordance with the requirements of 2.3.1 (2) and 2.3.2 a partial factor should be applied to the loads to obtain the design load F_{Ed} .

where:

γ_{Ff} is the partial factor for fatigue loads.

NOTE 1: The partial factors may be defined in the National Annex. A value of $\gamma_r = 1,0$ is recommended.

NOTE 2: Where fatigue loads have been based on other confidence limits than those in 2.3.2(5), recommended values for partial factors on loads are given in Table 2.1. Alternative values may be specified in the National Annex.

3 MATERIALS, CONSTITUENT PRODUCTS AND CONNECTING DEVICES

(1) The design rules of EN 1999-1-3 apply to constituent products in components and structures as listed in 1999-1-1:05-2005 with

перелічені у 1999-1-1:05-2005, окрім сплавів з низькою міцністю EN AW-3005, EN AW-3103, EN AW-5005, EN AW-8011A з будь-якими ступіннями твердості, та EN AW-6060 із показником ступенем твердості T5.

Примітка 1. Не існує надійної інформації щодо характеристик втомної міцності вищезгаданих ступеней твердості та сплавів з низькою міцністю. Національний додаток може надавати інформацію щодо характеристик втомної міцності таких сплавів та ступінів твердості відповідно. Випробування для отримання даних повинні проводитися у відповідності з вимогами Додатку С.

Примітка 2. Інформацію щодо ливарних сплавів див. у Додатку І.

(2) EN 1999-1-3 поширюється на компоненти з відкритими та пустотілими профілями, включаючи елементи, що розроблені з поєднання даних продуктів.

(3) EN 1999-1-3 поширюється на компоненти та конструкції з наступними з'єднуючими пристроями:

- Дугове зварювання (дугове зварювання металевим електродом в інертному газі та дугове зварювання вольфрамовим електродом в інертному газі);
- сталеві болти, що перераховані у EN 1999-1-1, таблиця 3.4.

Примітка. Інформацію щодо адгезійного з'єднання див. у Додатку Е.

(4) Інформація щодо розрахунку на втому та оцінки сталевих болтів на розтяг та зсув знаходиться у EN 1993-1-9, табл. 8.1.

4 ДОВГОВІЧНІСТЬ

(1) Дані щодо втоми, надані у EN 1999-1-3, можуть застосовуватися при нормальних атмосферних умовах до температури 100 °C. У випадку зі сплавом EN AW-5083 при температурі більше, ніж 65°C інформація щодо втомної міцності, наведена у EN 1999-1-3, не може бути використана, якщо не забезпечене покриття для ефективного захисту від корозії.

(2) Дані щодо втомної міцності не можуть бути застосовані під впливом умов агресивного навколишнього середовища. Вказівки щодо матеріалів та умов

the exception of the low strength alloys EN AW-3005, EN AW-3103, EN AW-5005, EN AW-8011A in all tempers, and EN AW-6060 in temper T5.

NOTE 1: For the above mentioned low strength alloys and tempers no reliable fatigue data exist. The National Annex may give fatigue data for such alloys and tempers, respectively. Tests to obtain the data should be carried out in accordance with Annex C.

NOTE 2: For castings see Annex I.

(2) EN 1999-1-3 covers components with open and hollow sections, including members built up from combinations of these products.

(3) EN 1999-1-3 covers components and structures with the following connecting devices:

- Arc welding (metal inert gas and tungsten inert gas);
- steel bolts listed in EN 1999-1-1, Table 3.4.

NOTE: For adhesive bonding see Annex E.

(4) For the fatigue design and verification of steel bolts in tension and shear see EN 1993-1-9, Table 8.1.

4 DURABILITY

(1) Fatigue strength data given in EN 1999-1-3 are applicable under normal atmospheric conditions up to temperatures of 100 °C. However in the case of alloy EN AW-5083, at temperatures of more than 65°C fatigue strength data in EN 1999-1-3 do not apply unless an efficient corrosion preventing coating is provided.

(2) Fatigue strength data may not be applicable under all conditions of aggressive exposure. Guidance on materials and exposure conditions is given in 6.2 and 6.4.

навколишнього середовища надані у 6.2 та 6.4.

Примітка. Національний додаток може надавати подальші дані щодо терміну експлуатації, основані на місцевих умовах навколишнього середовища.

(3) Для адгезійно зв'язаних з'єднань мають розглядатися особливі умови та впливи навколишнього середовища.

Примітка. Див. Додаток Е.

5 РОЗРАХУНОК КОНСТРУКЦІЙ

5.1 Загальний розрахунок

5.1.1 Загальні положення

(1) Повинний бути обраний такий метод розрахунку, що забезпечує точне передбачення реакції пружного напруження конструкції на визначену дію втоми. При цьому максимальні та мінімальні піки напруження, визначені в історії напружень, повинні бути настільки незначними, щоб ними можна було знехтувати, див. рис. 5.1,

Примітка. Відповідно до EN 1990-1-1, пружна модель для статичної перевірки (для границі міцності або експлуатаційної надійності) не обов'язково має бути достатньою для оцінки втоми.

NOTE: The National Annex may give further information on durability, based on local exposure conditions.

(3) For adhesively bonded joints special environmental conditions and effects may have to be considered.

NOTE: See Annex E.

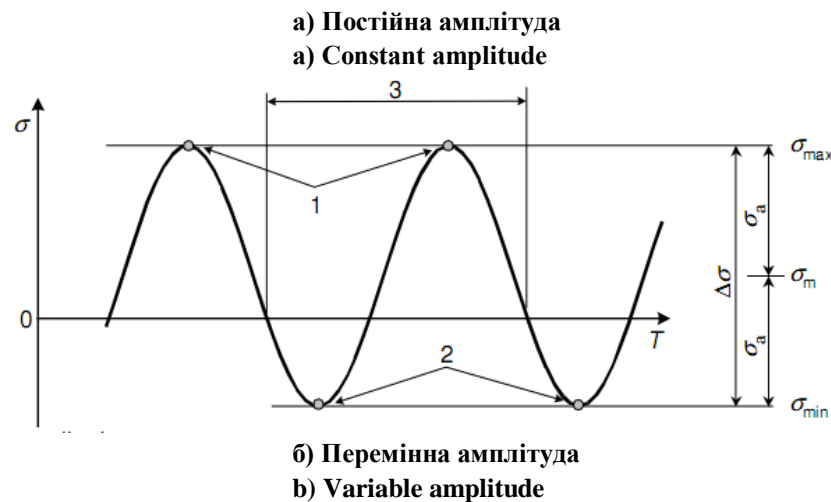
5 STRUCTURAL ANALYSIS

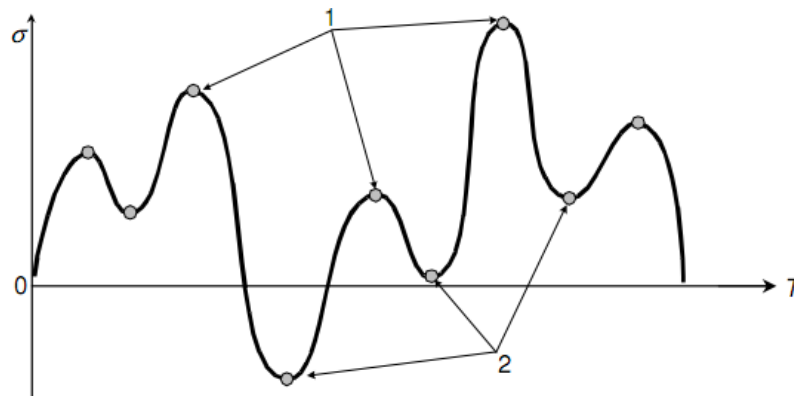
5.1 Global analysis

5.1.1 General

(1) The method of analysis should be selected so as to provide an accurate prediction of the elastic stress response of the structure to the specified fatigue action, so that the maximum and minimum stress peaks in the stress history are determined, see Figure 5.1. are sufficiently small they may be neglected.

NOTE: An elastic model used for static assessment (for the ultimate or serviceability limit state) in accordance with EN 1990-1-1 may not necessarily be adequate for fatigue assessment.





1 – пік напруження; 2 – точка мінімуму; 3 – цикл напруження; o – точка зміни напруження
 σ_{\max} – максимальне напруження; σ_{\min} – мінімальне напруження; σ_m – середнє напруження; $\Delta\sigma$ – діапазон напруження; σ_a – амплітуда напруження

1 – stress peak; 2 – stress valley; 3 – stress cycle; o – stress turning point
 σ_{\max} – maximum stress; σ_{\min} – minimum stress; σ_m – mean stress; $\Delta\sigma$ – stress range; σ_a – stress amplitude

Рисунок 5.1 – Термінологія, що стосується історії напружень та циклів

Figure 5.1 – Terminology relating to stress histories and cycles

(2) Динамічні впливи повинні бути включені в розрахунок історії напружень, окрім випадків, коли було прикладене еквівалентне навантаження, яке спричиняє такі самі впливи.

(3) Якщо пружна реакція залежить від ступеня загасання, це повинно визначатися випробуваннями.

Примітка. Див. Додаток С.

(4) Не дозволяється допущення перерозподілу сил між елементами в статично невизначених конструкціях.

(5) Вплив жорсткості будь-яких інших матеріалів, які постійно закріплені до алюмінієвої конструкції, повинні бути прийняті до уваги в процесі розрахунку у пружній стадії.

(6) Моделі для загального розрахунку статично невизначених конструкцій та гратчастих рам з жорсткими або напівжорсткими з'єднаннями (наприклад, моделі кінцевих елементів) повинні бути засновані на пружних властивостях матеріалу, окрім випадків, коли дані щодо деформацій були отримані з конструкцій прототипів або точно виміряних фізичних моделей.

Примітка. Термін «кінцевий елемент» використаний для позначення аналітичних методів, в яких конструкційні елементи та з'єднання представлені стержнем, балкою, мембранною оболонкою, твердим

(2) Dynamic effects should be included in the calculation of the stress history, except where an equivalent action is being applied which already allows for such effects.

(3) Where the elastic response is affected by the degree of damping this should be determined by test.

NOTE: See Annex C.

(4) No plastic redistribution of forces between members should be assumed in statically indeterminate structures.

(5) The stiffening effect of any other materials which are permanently fixed to the aluminium structure should be taken into account in the elastic analysis.

(6) Models for global analysis of statically indeterminate structures and latticed frames with rigid or semi rigid joints (e.g. finite element models) should be based on elastic material behaviour, except where strain data have been obtained from prototype structures or accurately scaled physical models.

NOTE: The term finite element is used to express analytical techniques where structural members and joints are represented by arrangements of bar, beam, membrane shell, solid or other element forms. The

тілом або іншою формою елементів. Ціллю розрахунку є визначення стану напруження, при якому забезпечується сумісність переміщень та статичної (або динамічної) рівноваги

5.1.2 Використання балочних елементів

(1) Балочні елементи повинні бути придатними для загального розрахунку балки, рамних або гратчастих конструкцій з урахуванням обмежень (2)-(7), приведених нижче.

(2) Балочні елементи не повинні використовуватися для аналізу втоми підкріплених пластин конструкцій плоских та оболонкових елементів, або для ливарних або кованих елементів, якщо вони не простої призматичної форми.

(3) Осьові, згинальні, зсувні та крутильні жорсткісні властивості перерізу балочних елементів повинні бути розраховані у відповідності з лінійною теорією пружності, при допущенні, що плоскі перерізи залишаються плоскими. В будь-якому випадку, викривлення поперечного перерізу, спричинене крутінням, повинне прийматися до уваги.

(4) Якщо балочні елементи використовуються в конструкціях з елементами відкритого перерізу, або зі схильними до викривлення елементами з пустотілих профілів, які зазнають впливу крутіння, елементи повинні мати як мінімум 7 ступінів свободи, включаючи викривлення. В якості альтернативи для моделювання поперечного перерізу потрібно використовувати оболонкові елементи.

(5) В властивостях перерізу балочних елементів, що прилягають до точок перетину елементів, потрібно врахувати підвищення жорсткості, внаслідок розміру ділянки з'єднання та наявності додаткових компонентів (наприклад, фасонок, стикових накладок і т.д.).

(6) Жорсткісні характеристики балочних елементів, що використані для моделювання зони з'єднання на кутових перетинах між відкритими або пустотілими елементами, де їх поперечні перерізи не повністю проходять крізь з'єднання (наприклад, непосилені трубчаті вузли), або якщо конструкційна деталь є напівжорсткою (наприклад, пластина

purpose of the analysis is to find the state of stress where displacement compatibility and static (or dynamic) equilibrium are maintained.

5.1.2 Use of beam elements

(1) Beam elements should be applicable to the global analysis of beam, framed or latticed structures subject to the limitations in (2) to (7) below.

(2) Beam elements should not be used for the fatigue analysis of stiffened plate structures of flat or shell type members or for cast or forged members unless of simple prismatic form.

(3) The axial, bending, shear and torsional section stiffness properties of the beam elements should be calculated in accordance with linear elastic theory assuming plane sections remain plane. However warping of the cross-section due to torsion should be considered.

(4) Where beam elements are used in structures with open section members or hollow section members prone to warping, which are subjected to torsional forces, the elements should have a minimum of 7 degrees of freedom including warping. Alternatively, shell elements should be used to model the cross-section.

(5) The section properties for the beam elements adjacent to member intersections should take into account the increased stiffness due to the size of the joint region and the presence of additional components (e.g. gussets, splice plates, etc.).

(6) The stiffness properties of beam elements used to model joint regions at angled intersections between open or hollow members where their cross-sections are not carried fully through the joint (e.g. unstiffened tubular nodes), or where the constructional detail is semi-rigid (e.g. bolted end plate or angle cleat connections), should be assessed

з болтовим кінцевим з'єднанням або з'єднання підпорки з кутиків), повинні оцінюватися за допомогою оболонкових елементів або приєднання елементів за допомогою пружин. Пружини повинні мати ефективну жорсткість для кожного ступеня свободи, їх жорсткість повинна визначатися за допомогою випробувань або моделей оболонкових елементів з'єднання.

(7) Якщо балочні елементи використовуються для моделювання конструкції з ексцентриситетами між осями елементів на з'єднаннях або якщо навантаження та обмеження прикладаються до елементів не на їх осях, то на даних позиціях слід використовувати елементи з жорстким з'єднанням, щоб підтримувати необхідну статичну рівновагу. За потреби необхідно використовувати пружини, як вказується у (6).

5.1.3 Використання мембранних, оболонкових та твердотілих елементів

(1) Мембранні елементи повинні застосовуватися лише до тих частин конструкції, в яких можна нехтувати згинальним напруженням.

(2) Оболонкові елементи повинні застосовуватися до всіх типів конструкцій, окрім тих, де використовуються литі, ковани або машинні елементи складної форми, що включають тривимірні ділянки напружень. У такому випадку слід використовувати тверді елементи.

(3) Якщо мембранні або оболонкові елементи використовуються в рамках загального розрахунку для того, щоб приймати в розрахунок загальну концентрацію напружень, подібно до того, що вказано у 5.2.2, розмір ячейки сітки повинен бути достатньо малий в тій частині елемента, де можливе виникнення пошкоджень, щоб повністю оцінити вплив.

Примітка. Див. Додаток D.

5.2 Класифікація напружень

5.2.1 Загальні положення

(1) Можуть використовуватися три різних типи напружень:

a) Номінальне напруження, див. 5.2.2.

either using shell elements or by connecting the elements via springs. The springs should possess sufficient stiffness for each degree of freedom and their stiffness should be determined either by tests or by shell element models of the joint.

(7) Where beam elements are used to model a structure with eccentricities between member axes at joints or where actions and restraints are applied to members other than at their axes, rigid link elements should be used at these positions to maintain the correct static equilibrium. Similar springs as in (6) should be used if necessary.

5.1.3 Use of membrane, shell and solid elements

(1) Membrane elements should only be applicable to those parts of a structure where out-of-plane bending stresses are known to be negligible.

(2) Shell elements should be applicable to all structural types except where cast, forged or machined members of complex shape involving 3-dimensional stress fields are used, in which case solid elements should be used.

(3) Where membrane or shell elements are used within the global analysis to take account of gross stress concentrating effects such as those listed in 5.2.2, the mesh size should be small enough in the part of the member containing the initiation site to assess the effect fully.

NOTE: See Annex D.

5.2 Types of stresses

5.2.1 General

(1) Three different types of stresses may be used, namely:

a) Nominal stresses, see 5.2.2. For derivation

Отримання значень номінального напруження див. у 5.3.1;

b) модифіковане номінальне напруження, див. 5.2.3. Отримання значень модифікованого номінального напруження див. у 5.3.2;

c) максимальні місцеві напруження, див. 5.2.4 та 5.3.3.

5.2.2 Номінальні напруження

(1) Номінальні напруження (див. рис. 5.2) повинні використовуватися для оцінки ділянок виникнення пошкоджень в простих елементах та з'єднаннях, якщо дотримуються наступні умови:

a) конструкційні деталі, з'єднані з ділянками виникнення пошкоджень, представлені деталізованими категоріями, або

b) деталізовані категорії були встановлені випробуваннями, в яких результати виражені в показниках номінального напруження.

Примітка. Випробування повинні проводитися відповідно до вказівок Додатку С.

c) поблизу ділянок виникнення пошкоджень немає загальних геометричних впливів, таких, як вказані у 5.2.3.

5.2.3 Модифіковані номінальні напруження

(1) Модифіковані номінальні напруження повинні використовуватися в місцях наявності номінальних напружень, де ділянки виникнення пошкоджень знаходяться поблизу одного або більше наступних геометричних впливів концентрації напруження, при умові, що враховуються пункти 5.2.1(a) та (b):

a) загальні зміни форми поперечного перерізу, наприклад, прорізи або вхідні кути;

b) загальні зміни жорсткості навколо поперечного перерізу елемента в нежорстких кутових з'єднаннях між відкритими перерізами або пустотілими профілями;

c) зміни напрямку або вирівнювання, що перевищують значення, вказані в таблицях деталізованих категорій;

d) запізнений зсув на широкій плиті;

of nominal stress see 5.3.1;

b) modified nominal stresses, see 5.2.3. For derivation of modified nominal stresses see 5.3.2;

c) hot spot stresses, see 5.2.4 and 5.3.3.

5.2.2 Nominal stresses

(1) Nominal stresses, see Figure 5.2 should be used directly for the assessment of initiation sites in simple members and joints where the following conditions apply:

a) the constructional details associated with the initiation site are represented by detail categories, or

b) the detail category has been established by tests where the results have been expressed in terms of the nominal stresses;

NOTE: Tests should be in accordance with Annex C.

c) gross geometrical effects such as those listed in 5.2.3 are not present in the vicinity of the initiation site.

5.2.3 Modified nominal stresses

(1) Modified nominal stresses should be used in place of nominal stresses where the initiation site is in the vicinity of one or more of the following gross geometrical stress concentrating effects (see Figure 5.2) provided that conditions 5.2.1(a) and (b) still apply:

a) Gross changes in cross section shape, e.g. at cut-outs or re-entrant corners;

b) gross changes in stiffness around the member cross-section at unstiffened angled junctions between open or hollow sections;

c) changes in direction or alignment beyond those permitted in detail category tables;

d) shear lag in wide plate;

Примітка. Див. EN 1999-1-1, К.1.

- e) деформація пустотілих елементів;
- f) вплив нелінійного поперечного згину в гнучких плоских плитах, наприклад, в перерізах класу 4, в яких статичне навантаження наближене до пружного критичного навантаження, наприклад, у ділянках розтягу в стінках.

Примітка. Див. Додаток D.

(2) Вищевказані геометричні впливи концентрації напружень повинні прийматися в розрахунок за допомогою коефіцієнту K_{gt} , див. рисунок 5.2, що визначається як теоретична концентрація напруження, що вирахована для лінійного пружного матеріалу, без урахування усіх впливів (локальних або геометричних), які вже включені в криву втоми $\Delta\sigma - N$ класифікованої конструкційної деталі, що розглядається як стандартна.

5.2.4 Максимальні місцеві напруження

(1) Максимальні місцеві напруження повинні використовуватися лише при дотриманні наступних умов:

- a) ділянка, де виникає напруження – це кромка зовнішньої поверхні зварного шва в з'єднанні з складними геометричними характеристиками, де номінальне напруження чітко не визначено.

Примітка. Через значний вплив зони, що зазнає високої температури, на міцність зварюваних алюмінієвих компонентів, досвід експлуатації сталених конструкційних деталей не підходить для алюмінія.

- b) деталізована категорія для максимального місцевого напруження визначена за допомогою випробувань, а результати виражені в показниках максимальних місцевих напружень для відповідного режиму функціонування;
- c) згинальні напруження оболонки виникають у рухомих з'єднаннях і враховуються відповідно до 5.1.2 (6);

Примітка. Див. Додатки C, D та K.

- d) дані щодо отримання значень максимальних місцевих напружень знаходяться у 5.3.3 та 6.2.4.

NOTE: See EN 1999-1-1, K.1.

- e) distortion of hollow members;
- f) non-linear out-of-plane bending effects in slender flat plates, e.g. class 4 sections, where the static stress is close to the elastic critical stress, e.g. tension-field in webs.

NOTE: See Annex D.

(2) The above geometrical stress concentrating effects should be taken into account through the factor K_{gt} , see Figure 5.2, defined as the theoretical stress concentration evaluated for linear elastic material omitting all the influences (local or geometric) already included in the $\Delta\sigma - N$ fatigue strength curve of the classified constructional detail considered as a reference.

5.2.4 Hot spot stresses

(1) Hot spot stresses may be used only where the following conditions apply:

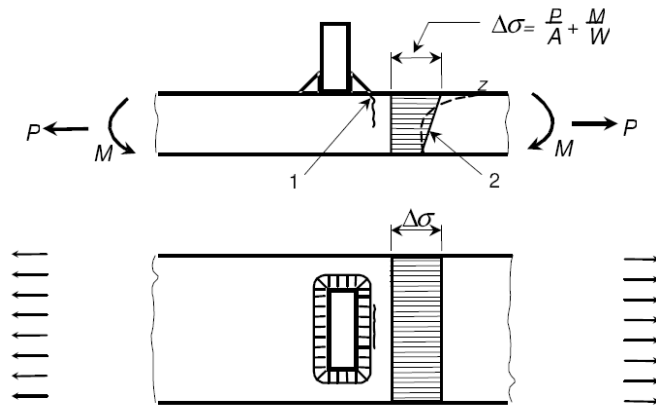
- a) The initiation site is a weld toe in a joint with complex geometry where the nominal stresses are not clearly defined;

NOTE: Due to the large influence of the heat affected zone in the strength of welded aluminium components, the experience from structural steel details is not generally applicable for aluminium.

- b) a hot spot detail category has been established by tests and the results have been expressed in terms of the hot spot stress, for the appropriate action mode;
- c) shell bending stresses are generated in flexible joints and taken into account according to 5.1.2 (6);

NOTE: See Annexes C, D and K.

- d) for derivation of hot spot stresses see 5.3.3 and 6.2.4.

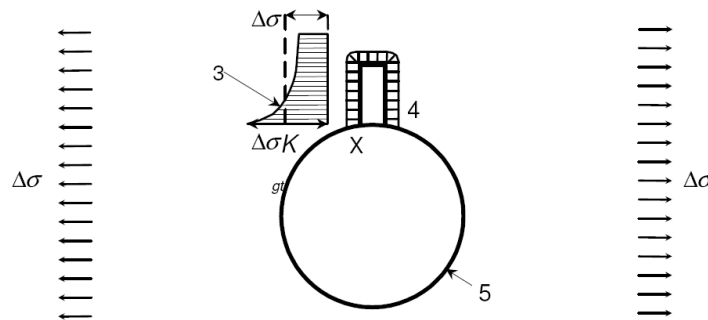


а) Місцева концентрація напружень у кромці зовнішньої поверхні зварного шва;

1–зона виникнення тріщини; 2 – лінійний розподіл навантаження, коефіцієнт напруження для кромки зовнішньої поверхні зварного шва на z не розрахований

a) Local stress concentration at weld toe;

1– crack initiation site; 2 – linear stress distribution, weld toe stress factor at z not calculated

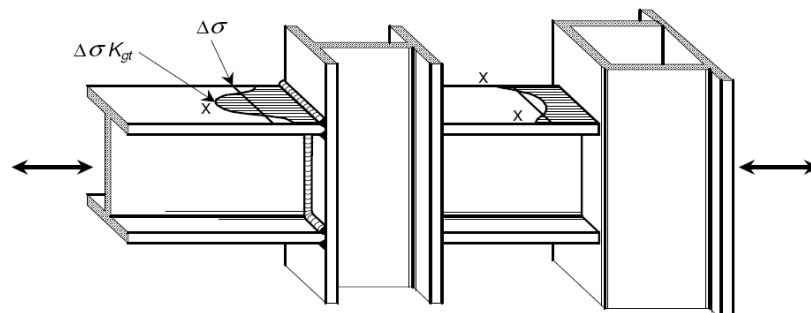


б) Загальна концентрація напруження на великому отворі

$\Delta\sigma$ = діапазон номінальних напружень; $\Delta\sigma K_{gt}$ = діапазон модифікованих номінальних напружень на ділянці виникнення X, що спричинені великим отвором.; 3 –нелінійне напруження; 4 – зварний шов; 5 – великий отвір

b) Gross stress concentration at large opening

$\Delta\sigma$ = nominal stress range; $\Delta\sigma K_{gt}$ = modified nominal stress range at initiation site X due to the opening; 3 – non-linear stress distribution; 4 – weld; 5 – large opening



с) Місце жорсткого з'єднання ;

$\Delta\sigma$ = діапазон номінальних напружень ; $\Delta\sigma K_{gt}$ = діапазон модифікованих номінальних напружень на ділянці виникнення X, що спричинені геометричним впливом концентрації навантажень

c) Hard point in connection;

$\Delta\sigma$ = nominal stress range; $\Delta\sigma K_{gt}$ = modified nominal stress range at initiation site X due to the geometrical stress concentration effects

Рисунок 5.2 – Приклади номінальних та модифікованих номінальних напружень.

Figure 5.2 – Examples of nominal and modified nominal stresses.**5.3 Отримання значень напружень****5.3.1 Отримання значень номінальних напружень***5.3.1.1 Конструкційні моделі, в яких використовуються балочні елементи*

(1) Осьові та дотичні напруження в місці виникнення повинні розраховуватися з осьових, згинальних, зсувних та крутильних впливів за допомогою лінійних пружних властивостей перерізу.

(2) Площі поперечних перерізів та показники перерізів повинні враховувати будь-які спеціальні вимоги конструкційної деталі.

5.3.1.2 Конструкційні моделі, в яких використовуються мембранні, оболонкові або твердотілі елементи

(1) Якщо розподіл осьового напруження є лінійним уздовж перерізу елемента по обом осям, то напруження на ділянці виникнення можуть використовуватися безпосередньо.

(2) Якщо розподіл осьового напруження є нелінійним уздовж перерізу елемента по обом осям, то напруження уздовж перерізу повинні бути об'єднані, щоб отримати осьові зусилля та згинальні моменти.

Примітка. Вищевказані значення повинні використовуватися у поєднанні з відповідною зоною поперечного перерізу та показниками перерізів, щоб отримати номінальні напруження.

5.3.2 Отримання значень модифікованих номінальних напружень*5.3.2.1 Конструкційні моделі, в яких використовуються балочні елементи*

(1) Номінальне напруження повинне бути помножено на відповідні коефіцієнти концентрації пружного напруження K_{gt} відповідно до розташування ділянки виникнення і типу поля напруження.

(2) K_{gt} повинен враховувати усі геометричні неоднорідності, окрім тих, які включені в деталізовану категорію.

5.3 Derivation of stresses**5.3.1 Derivation of nominal stresses***5.3.1.1 Structural models using beam elements*

(1) The axial and shear stresses at the initiation site should be calculated from the axial, bending, shear and torsional action effects at the section concerned using linear elastic section properties.

(2) The cross-sectional areas and section moduli should take account of any specific requirements of a constructional detail.

5.3.1.2 Structural models using membrane, shell or solid elements

(1) Where the axial stress distribution is linear across the member section about both axes, the stresses at the initiation point may be used directly.

(2) Where the axial distribution is non-linear across the member section about either axis, the stresses across the section should be integrated to obtain the axial force and bending moments.

NOTE: The latter should be used in conjunction with the appropriate cross-sectional area and section moduli to obtain the nominal stresses.

5.3.2 Derivation of modified nominal stresses*5.3.2.1 Structural models using beam element*

(1) The nominal stresses should be multiplied by the appropriate elastic stress concentration factors K_{gt} according to the location of the initiation site and the type of stress field.

(2) K_{gt} should take into account all geometrical discontinuities except for those already incorporated within the detail category.

(3) K_{gt} повинен визначатися відповідно до одного з наступних підходів:

a) Стандартні вирішення для коефіцієнтів концентрації напруження;

Примітка. Див. D.2.

b) розподіл на підконструкції оточуючої геометрії використовуючи оболонкові елементи з врахуванням (2), та прикладаючи номінальні напруження до границь;

c) вимірювання пружних деформацій фізичної моделі, що включає загальні геометричні неоднорідності, але не включає характеристики, які вже внесені в деталізовану категорію (див. (2)).

5.3.2.2 Конструкційні моделі, в яких використовуються мембранні, оболонкові або твердотілі елементи

(1) Якщо модифіковане номінальне напруження повинне бути визначене за допомогою загального розрахунку на ділянці виникнення, воно має обиратися на наступній основі:

a) локальні концентрації напружень, такі як напруження конструкційної деталі або зварного профілю, які вже включені в деталізовану категорію, не повинні враховуватися;

b) ячейка в ділянці виникнення пошкодження повинна бути достатньо невелика для того, щоб попередити виникнення загального поля напруження в зоні навколо ділянки, не включаючи впливи (a).

Примітка. Див. D.1.

5.3.3 Отримання значень максимальних місцевих напружень

(1) Максимальне місцеве напруження – це головне напруження переважно поперек лінії кромки зварного шва і повинно враховуватись за допомогою чисельних або експериментальних методів, окрім випадку, коли наявні стандартні вирішення.

Примітка. Див. D.1

(2) Для простих випадків, як на рисунку 5.2 (c), максимальне місцеве

(3) K_{gt} should be determined by one of the following approaches:

a) Standard solutions for stress concentration factors;

NOTE: See D.2

b) substructuring of the surrounding geometry using shell elements taking into account (2), and applying the nominal stresses to the boundaries;

c) measurement of elastic strains on a physical model which incorporates the gross geometrical discontinuities, but excludes those features already incorporated within the detail category (see (2)).

5.3.2.2 Structural models using membrane, shell or solid elements

(1) Where the modified nominal stress is to be obtained from the global analysis in the region of the initiation site it should be selected on the following basis:

a) Local stress concentrations such as the classified constructional detail and the weld profile already included in the detail category should be omitted;

b) the mesh in the region of the initiation site should be fine enough to predict the general stress field around the site accurately but without incorporating the effects in (a).

NOTE: See D.1.

5.3.3 Derivation of hot spot stresses

(1) The hot spot stress is the principal stress predominantly transverse to the weld toe line and should be evaluated in general by numerical or experimental methods, except where standard solutions are available.

NOTE: See D.1.

(2) For simple cases, as the one shown in Figure 5.2 (c), the hot spot stress may be

напруження може бути прийнято як модифіковане номінальне напруження та підраховано у відповідності з 5.2.3.

(3) Для конструкційних конфігурацій, до яких неможливо застосувати стандартні коефіцієнти концентрації напруження, і які з цієї причини вимагають спеціального розрахунку, втомне напруження на кромці зварного шва не повинне враховувати вплив концентрації напруження, тому що класифікована конструкційна деталь розглядається як стандартна, тобто з геометричними властивостями кромки зварного шва.

5.3.4 Орієнтація напруження

(1) Діапазон головного напруження – це найбільша алгебраїчна різниця між головними напруженнями, що діють в головній площині з різницею не більше, ніж 45° .

(2) Щоб оцінити, в якому положенні (перпендикулярному чи паралельному) знаходиться конструкційна деталь по відношенню до осі зварного шва, необхідно враховувати, що якщо головне розтягуюче напруження знаходиться під кутом менше, ніж 45° по відношенню до осі зварного шва, то приймається допущення, що положення деталі паралельне.

5.4 Діапазони напружень для окремих ділянок виникнення напружень

5.4.1 Основний матеріал, зварні шви та механічно закріплені з'єднання

(1) Тріщини, що з'являються на кромці зварного шва, верхній частині зварного шва, отворах кріпильних деталей, поверхні, що стирається і т.д. та розповсюджуються по основному матеріалу або металу зварювання, повинні оцінюватися за допомогою використання діапазону основних напружень в елементі в цій точці (див. рис. 5.3).

(2) Вплив місцевої концентрації напружень зварного профілю, болта та отворів заклепки враховується в даних міцності $\Delta\sigma - N$ для відповідної категорії конструкційної деталі.

taken as the modified nominal stress and calculated according to 5.2.3.

(3) In general, for structural configurations for which standard stress concentration factors are not applicable and which therefore require special analysis, the fatigue stress at the weld toe should omit the stress concentration effects due to the classified constructional detail considered as a reference, i.e. the weld toe geometry.

5.3.4 Stress orientation

(1) The principal stress range is the greatest algebraic difference between the principal stresses acting in principal planes no more than 45° apart.

(2) For the purposes of assessing whether a constructional detail is normal or parallel to the axis of a weld if the direction of the principal tensile stress is less than 45° to the weld axis it should be assumed to be parallel to it.

5.4 Stress ranges for specific initiation sites

5.4.1 Parent material, welds and mechanically fastened joints

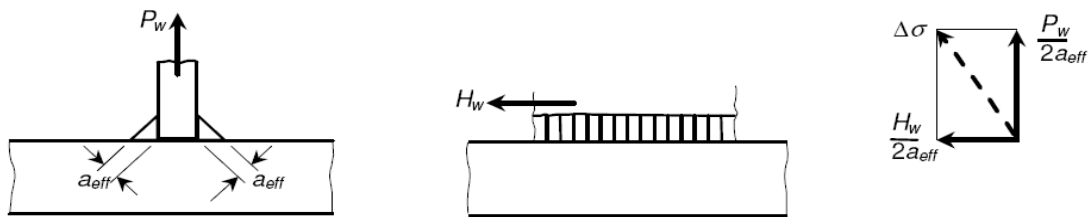
(1) Cracks initiating from weld toes, weld caps, fastener holes, fraying surfaces, etc. and propagating through parent material or weld metal should be assessed using the nominal principal stress range in the member at that point (see Figure 5.3).

(2) The local stress concentration effects of weld profile, bolt and rivet holes are taken into account in the $\Delta\sigma - N$ strength data for the appropriate constructional detail category.

5.4.2 Кутові шви та стикові шви з неповним проваром

(1) Тріщини, що з'являються на корені зварного шва і розповсюджуються по товщині зварного шва, повинні оцінюватися за допомогою суми векторів D_s напружень в металі зварювання, що базується на ефективній товщині шва, див. рисунок 5.3.

Примітка. Нормальне значення величини міцності можна отримувати так, як показано в конструкційній деталі 9.2, таблиця J.9.



P_w та H_w – сили на одиничну довжину

P_w and H_w are forces per unit length

Рисунок 5.3 – Напруження в товщині зварного шва
Figure 5.3 – Stresses in weld throats.

(2) В з'єднаннях внапуск в одній площині напруження на одиничну довжину може бути розраховано на основі середньої площі для осьових сил та пружного полярного показника зварної групи для моментів в площині (див. рисунок 5.4).

Примітка. Нормальне значення величини міцності можна отримувати так, як показано в конструкційній деталі 9.2, таблиця J.9.

5.4.2 Fillet and partial penetration butt welds

(1) Cracks initiating from weld roots and propagating through the weld throat should be assessed using the vector sum D_s of the stresses in the weld metal based on the effective throat thickness, see Figure 5.3.

NOTE: The reference strength value may be taken as in constructional detail 9.2, Table J.9.

(2) In lapped joints in one plane the stress per unit length of weld may be calculated on the basis of the average area for axial forces and an elastic polar modulus of the weld group for in-plane moments (see Figure 5.4).

NOTE: The reference strength value may be taken as in constructional detail 9.2, Table J.9.

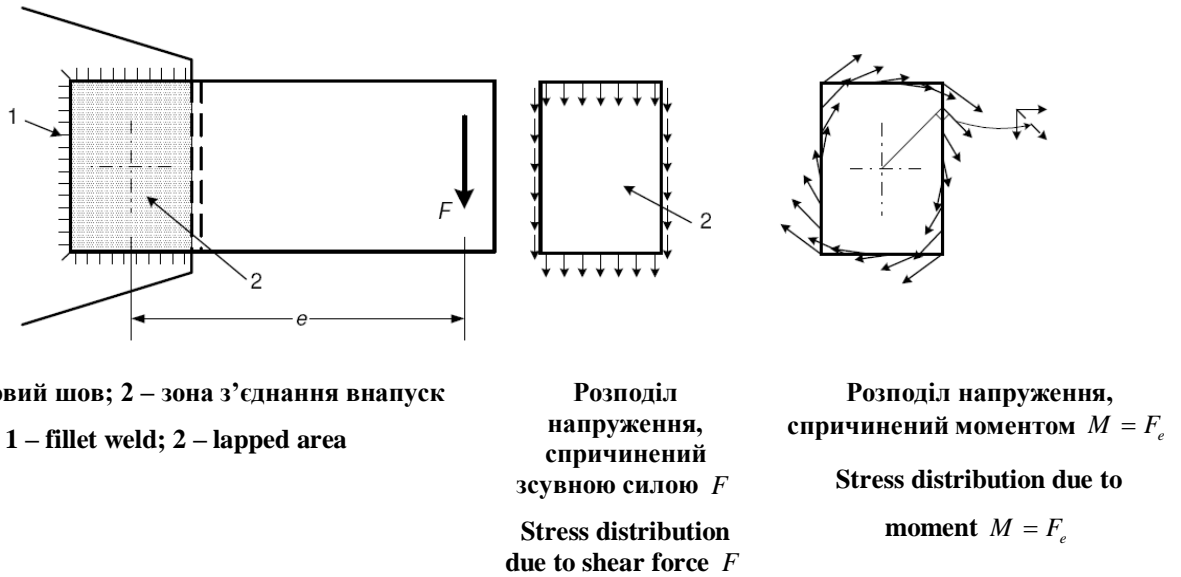


Рисунок 5.4 – Напруження у з'єднаннях внапуск
Figure 5.4 – Stresses in lapped joints.

5.5 Адгезійні з'єднання

(1) Оцінка втоми повинна включати поверхню руйнування у площині з'єднання.

Примітка. Див. Додаток Е.

5.6 Ливарні сплави

(1) Потрібно використовувати основні місцеві напруження. Може виникнути потреба у остаточному розрахунку напруження або вимірюванні деформацій у випадку складної форми, якщо немає стандартних рішень.

5.7 Спектри напруження

(1) Методи для підрахунку циклів діапазонів напруження з метою отримання спектрів напруження надані у Додатку А.

5.8 Розрахунок еквівалентного напруження для стандартизованих моделей втомного напруження

5.8.1 Загальні положення

(1) Як зазначено у EN 1991, оцінка втоми для стандартизованих втомних навантажень повинне виконуватися за допомогою одного з наступних підходів:

5.5 Adhesive bonds

(1) Fatigue assessment should include failure surface through the bond plane.

NOTE: See Annex E.

5.6 Castings

(1) The principal geometric stress should be used. Finite stress analysis or strain gauging in the case of complex shapes may be required, if standard solutions are not available.

5.7 Stress spectra

(1) The methods for cycle counting of stress ranges for the purpose of deriving stress spectra are given in Annex A.

5.8 Calculation of equivalent stress range for standardised fatigue load models

5.8.1 General

(1) The fatigue assessment for standardized fatigue loads as specified in EN 1991 should be carried out according to one of the following approaches:

- a) номінальний діапазон напруження для конструкційних деталей, який вказаний в деталізованій категорії;
- b) діапазони модифікованого номінального напруження, де виникають раптові зміни перерізу, що знаходиться недалеко від ділянки виникнення напруження, та які не включені в дані про конструкційну деталь;
- c) діапазони місцевих напружень, при яких виникають значні перепади напруження неподалік від кромки зварного шва.

Примітка. У Національному додатку може надаватися інформація щодо використання діапазонів номінальних напружень або діапазонів модифікованих номінальних напружень

(2) Розрахункове значення діапазону напружень, яке використовується для оцінки втоми, повинно бути з діапазонів напружень $\gamma_{Ff} \Delta \sigma_{E,2}$ відповідно до $N_C = 2 \times 10^6$ циклів.

5.8.2 Розрахункове значення діапазону напружень

(1) Розрахункове значення діапазонів номінальних напружень $\gamma_{Ff} \Delta \sigma_{E,2}$ повинне визначатися наступним чином:

для номінального напруження:

$$\gamma_{Ff} \Delta \sigma_{E,2} = \lambda_1 \times \lambda_2 \times \dots \lambda_i \times \dots \lambda_n \times \Delta \sigma_{E,2} (\gamma_{Ff} Q_k) \quad (5.1)$$

для модифікованого номінального напруження:

$$\gamma_{Ff} \Delta \sigma_{E,2}^* = K_{gt} \gamma_{Ff} \Delta \sigma_{E,2} \quad (5.2)$$

де: $\Delta \sigma_{E,2} (\gamma_{Ff} Q_k)$ – коефіцієнт напруження, який залежить від втомних навантажень, що визначені у EN 1991;

λ_i – коефіцієнти еквівалентності пошкодження, що залежать від спектрів, як вказано у відповідній частині EN 1991;

K_{gt} – коефіцієнт концентрації напруження, призначений для врахування місцевого зростання напруження, пов'язаного з геометричними характеристиками деталі, не включеного у стандартну криву $\Delta \sigma_C - N$, див. також 5.3.2.1.

- a) Nominal stress ranges for constructional details shown in the detail category information;
- b) modified nominal stress ranges where abrupt changes of section occur close to the initiation site which are not included in the constructional detail information;
- c) geometric stress ranges where high stress gradients occur close to a weld toe.

NOTE: The National Annex may give information on the use of the nominal stress ranges or modified nominal stress ranges.

(2) The design value of stress range to be used for the fatigue assessment should be the stress ranges $\gamma_{Ff} \Delta \sigma_{E,2}$ corresponding to $N_C = 2 \times 10^6$ cycles.

5.8.2 Design value of stress range

(1) The design value of nominal stress ranges $\gamma_{Ff} \Delta \sigma_{E,2}$ should be determined as follows:

for nominal stress

$$\gamma_{Ff} \Delta \sigma_{E,2} = \lambda_1 \times \lambda_2 \times \dots \lambda_i \times \dots \lambda_n \times \Delta \sigma_{E,2} (\gamma_{Ff} Q_k) \quad (5.1)$$

for modified nominal stress

$$\gamma_{Ff} \Delta \sigma_{E,2}^* = K_{gt} \gamma_{Ff} \Delta \sigma_{E,2} \quad (5.2)$$

where: $\Delta \sigma_{E,2} (\gamma_{Ff} Q_k)$ – is the stress range caused by the fatigue loads specified in EN 1991;

λ_i – are the damage equivalent factors depending on the spectra as specified in the relevant part of EN 1991;

K_{gt} – is the stress concentration factor to take account of the local stress magnification in relation to detail geometry not included in the reference $\Delta \sigma_C - N$ curve, see also 5.3.2.1.

Примітка. Якщо немає доступних даних щодо λ_i , то інформація щодо розрахункових значень діапазону напруження може надаватися у Національному додатку.

NOTE: Where no appropriate λ_i data is available, information for the design value of stress range may be given in the National Annex.

6 ВТОМНА МІЦНІСТЬ ТА ДЕТАЛІЗОВАНІ КАТЕГОРІЇ

6 FATIGUE RESISTANCE AND DETAIL CATEGORIES

6.1 Деталізовані категорії

6.1 Detail categories

6.1.1 Загальні положення

6.1.1 General

(1) Перевірка адекватності опору втомі ґрунтується на значеннях опору з ряду стандартизованих деталізованих категорій. Деталізована категорія може включати одну або більше часто використовуваних та класифікованих конструкційних деталей. Деталізовані категорії повинні визначатися за їх стандартною втомною міцністю та відповідним значенням для зворотнього нахилу основної частини лінеаризованого відношення $\Delta\sigma_c - N$, а також повинні відповідати положенням 6.2.

(1) The verification of adequate fatigue resistance is based on the resistance values of a number of standardised detail categories. A detail category may comprise one or more frequently used and classified constructional details. The detail categories should be defined by their reference fatigue strength and the corresponding value for the inverse slope of the main part of the linearised $\Delta\sigma_c - N$ relationship, and should comply with the provisions in 6.2.

6.1.2 Фактори, що впливають на деталізовану категорію

6.1.2 Factors affecting detail category

(1) Втомна міцність конструкційної деталі повинна враховувати наступні фактори:

(1) The fatigue strength of a constructional detail should take into account the following factors:

- a) напрямок перемінного напруження відносно конструкційної деталі;
- b) розташування ділянки виникнення тріщини в конструкційній деталі;
- c) геометричне розположення та відносна пропорцію конструкційної деталі.

- a) The direction of the fluctuating stress relative to the constructional detail;
- b) the location of the initiating crack in the constructional detail;
- c) the geometrical arrangement and relative proportion of the constructional detail.

(2) Втомна міцність залежить від наступних факторів:

(2) The fatigue strength depends on the following:

- a) форма виробу;
- b) матеріал (окрім випадків застосування зварювання);
- c) метод виконання;
- d) рівень якості (у випадках застосування зварювання та лиття);
- e) тип з'єднання.

- a) The product form;
- b) the material (unless welded);
- c) the method of execution;
- d) the quality level (in the case of welds and castings);
- e) the type of connection.

6.1.3 Конструкційні деталі

6.1.3 Constructional details

(1) Конструкційні деталі розподіляються на наступні три основні

(1) Constructional details may be divided into the following three main groups:

групи:

- a) плоскі елементи, зварювані елементи та болтові з'єднання;
- b) адгезійні з'єднання;
- c) литі елементи.

Примітка 1. Перелік деталізованих категорій та конструкційних деталей з співвідношенням $\Delta\sigma_c - N$ для втомної міцності елементів групи a), чутливих до температури навколишнього середовища і не потребуючих захисту поверхні (див. таблицю 6.2), надається у Додатку J. Національний додаток може визначати інші деталізовані категорії та конструкційні деталі, а також критерії щільності для таких елементів, враховуючи положення 6.1.2 та 6.3. Рекомендуються категорії, надані в рекомендованому Додатку J.

Примітка 2. Національний додаток може містити дані щодо конструкційних деталей, які не вказані у Додатку J.

Примітка 3. Вказівки щодо литих елементів містяться у Додатку I.

Примітка 4. Вказівки щодо адгезійних з'єднань див. у Додатку E.

6.2 Характеристики втомної міцності

6.2.1 Класифіковані конструкційні деталі

(1) Узагальнена форма співвідношення $\Delta\sigma_c - N$ показана на рис. 6.1, де воно нанесене на логарифмічний графік. Крива втомної міцності показана середньою лінією мінус 2 стандартне відхилення з експериментальних даних.

(2) Розрахункове співвідношення втоми для зносостійкості в діапазоні між 10^5 до 5×10^6 визначається за формулою:

$$N_i = 2 \times 10^6 \left(\frac{\Delta\sigma_c}{\Delta\sigma_i} \frac{1}{\gamma_{Ff} \gamma_{Mf}} \right)^{m^1} \quad (6.1)$$

де: N_i – передбачена кількість циклів діапазону напружень $\Delta\sigma_i$ до руйнування;

$\Delta\sigma_c$ – стандартна величина втомної міцності при 2×10^6 циклах в залежності від деталізованої категорії, для якої стандартизовані величини надані в таблиці 6.1;

- a) Plain members, welded members and bolted joints;
- b) adhesively bonded joints;
- c) castings.

NOTE 1: One set of detail categories and constructional details with $\Delta\sigma_c - N$ relationships for fatigue resistance of group a) members subject to ambient temperatures and which do not require surface protection (see Table 6.2) are given in Annex J. The National Annex may specify another set of detail categories and constructional details together with a set of consistence criteria for such members, taking the provisions in 6.1.2 and 6.3 into account. The set of categories given in Annex J is recommended.

NOTE 2: The National Annex may specify constructional details which are not covered by Annex J.

NOTE 3: For guidance on castings, see Annex I.

NOTE 4: For guidance on adhesively bonded joints, see Annex E.

6.2 Fatigue strength data

6.2.1 Classified constructional details

(1) The generalised form of the $\Delta\sigma_c - N$ relationship is shown in Figure 6.1, plotted on logarithmic scales. The fatigue strength curve is represented by the mean line minus 2 standard deviation from the experimental data.

(2) The fatigue design relationship for endurance in the range between 10^5 to 5×10^6 cycles is defined by the equation:

where: N_i – is the predicted number of cycles to failure of a stress range $\Delta\sigma_i$;

$\Delta\sigma_c$ – is the reference value of fatigue strength at 2×10^6 cycles, depending on the detail category, where standardized values are given in Table 6.1;

$\Delta\sigma_i$ – is the stress range for the principal

$\Delta\sigma_i$ – діапазон напружень для головних напружень конструкційної деталі, постійний для всіх циклів;

m_1 – зворотній нахил кривої $\Delta\sigma - N$ в залежності від деталізованої категорії;

γ_{Ff} – частковий коефіцієнт, допускаючий неточності в спектрі навантажень та розрахунку реакції;

γ_{Mf} – частковий коефіцієнт для неточностей в матеріалі та виконанні;

stresses at the constructional detail and is constant for all cycles;

m_1 – is the inverse slope of the $\Delta\sigma - N$ curve, depending on the detail category;

γ_{Ff} – is the partial factor allowing for uncertainties in the loading spectrum and analysis of response;

γ_{Mf} – is the partial factor for uncertainties in materials and execution.

Примітка 1. Значення γ_{Ff} див. у 2.4.

Примітка 2. Значення часткового коефіцієнта γ_{Ff} для певної конструкційної деталі може бути визначене в Національному додатку. Для безпечного функціонування та для стійкості до пошкоджень рекомендується коефіцієнт 1,0.

Примітка 3. Значення часткового коефіцієнта γ_{Mf} для адгезійних з'єднань див. у Додатку Е.

NOTE 1: For values of γ_{Ff} , see 2.4.

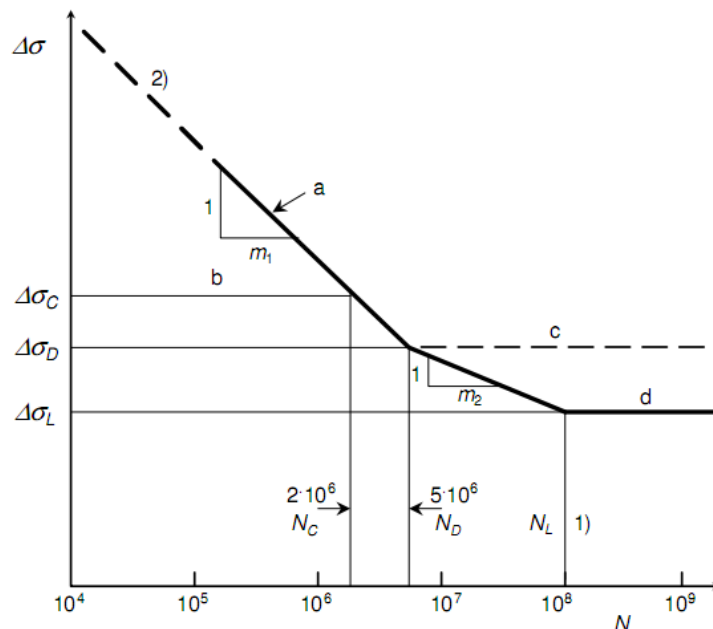
NOTE 2: The value of the partial factor γ_{Ff} for a specific constructional detail type may be defined in the National Annex. The value of 1,0 is recommended for safe life design as well as for damage tolerant design.

NOTE 3: For the value of the partial factor γ_{Mf} for adhesively bonded joints see Annex E.

Таблиця 6.1– Стандартизовані значення $\Delta\sigma_C$ (Н/мм²)

Table 6.1 – Standardized $\Delta\sigma_C$ values (N/mm²)

140, 125, 112, 100, 90, 80, 71, 63, 56, 50, 45, 40, 36, 32, 28, 25, 23, 20, 18, 16, 14, 122



a – крива втомної міцності; **b** – стандартна втомна міцність;
c – границя втоми постійної амплітуди; **d** – гранична межа
a – fatigue strength curve; **b** – reference fatigue strength;
c – constant amplitude fatigue limit ; **d** – cut-off limit

Рисунок 6.1 – Крива втомної міцності $\log \Delta\sigma - \log N$.

Figure 6.1 – Fatigue strength curve $\log \Delta\sigma - \log N$.

(3) N_L при впливі певних умов навколишнього середовища див. у 6.4.

(3) For N_L under certain exposure conditions, see 6.4.

(4)) Розрахункове співвідношення втоми для зносостійкості в діапазоні між 5×10^6 та 10^8 циклів визначається за формулою:

(4) The fatigue design relationship for endurance in the range between 5×10^6 to 10^8 cycles is defined by the equation:

$$N_i = 5 \times 10^6 \left(\frac{\Delta\sigma_c}{\Delta\sigma_i} \frac{1}{\gamma_{Ff} \gamma_{Mf}} \right)^{m_2} \left(\frac{2}{5} \right)^{\frac{m_2}{m_1}} \quad (6.2)$$

(5) Границя втоми постійної амплітуди $\Delta\sigma_D$ визначається при 5×10^6 циклах (для простого матеріалу – при 2×10^6 циклах), і нижче цієї границі цикли напружень постійної амплітуди не вважаються руйнівними. Однак, навіть якщо випадкові цикли будуть вище цього рівня, то вони викличуть таке розповсюдження тріщини, що змусить низькі цикли амплітуди ставати руйнівними. Через це зворотній логарифмічний нахил основної кривої $\Delta\sigma - N$ між 5×10^6 та 10^8 циклами повинен бути змінений до m_2 при впливі умов загального спектру, коли $m_2 = m_1 + 2$.

(5) The constant amplitude fatigue limit, $\Delta\sigma_D$, is defined at 5×10^6 cycles (for plain material assumed at 2×10^6 cycles), below which constant amplitude stress cycles are assumed to be non-damaging. However, even if occasional cycles occur above this level, they will cause propagation which, as the crack extends, will cause lower amplitude cycles to become damaging. For this reason the inverse logarithmic slope of the basic $\Delta\sigma - N$ curves between 5×10^6 and 10^8 cycles should be changed to m_2 for general spectrum action conditions, where $m_2 = m_1 + 2$.

Примітка. Використання постійного значення зворотнього нахилу $m_2 = m_1 + 2$ може бути консервативним для деяких спектрів.

NOTE: The use of the inverse slope constant $m_2 = m_1 + 2$ may be conservative for some spectra.

(6) Будь-які цикли напружень нижче граничної межі $\Delta\sigma_L$ при допущенні 10^8 циклів повинні вважатися неруйнівними.

(6) Any stress cycles below the cut-off limit $\Delta\sigma_L$, assumed at 10^8 cycles, should be assumed to be non-damaging.

(7) Для діапазонів напружень, прикладених менше, ніж 10^5 разів, величина опору, відповідно до рисунку 6.1, може бути консервативна, що є непотрібним для певних конструкційних деталей.

(7) For stress ranges applied less than 10^5 times the resistance values according to Figure 6.1 may be unnecessary conservative for certain constructional details.

Примітка. Додаток F надає вказівки щодо розрахунку на втому для зносостійкості в діапазоні до 10^5 циклів. Національний додаток може надавати додаткові положення.

NOTE: Annex F gives guidance for the fatigue design for endurance in the range below 10^5 cycles. The National Annex may give additional provisions.

(8) В діапазоні між 10^3 та 10^5 циклами повинна проводитися перевірка, щоб визначити чи не спричиняє розрахунковий діапазон напружень максимального розтягуючого напруження, яке перевищує інші розрахункові граничні значення опору для конструкційних деталей, див.

(8) In the range between 10^3 and 10^5 a check should be made that the design stress range does not result in a maximum tensile stress that exceeds other ultimate limit state design resistance values for the constructional detail, see EN 1999-1-1.

EN 1999-1-1.

(9) Для того, щоб визначити кінцевий діапазон деталізованих категорій та дозволити підвищення або пониження деталізованої категорії за допомогою постійного геометричного інтервалу, в таблиці 6.1 надається стандартний діапазон значень $\Delta\sigma_c$. Підвищення (або пониження) одної деталізованої категорії означає вибір наступного більшого (або меншого) значення $\Delta\sigma_c$, при якому значення m_1 та m_2 не змінюються. Це не стосується адгезійних з'єднань.

(10) Деталізовані категорії застосовуються для усіх значень середнього напруження, якщо не вказано інше.

Примітка. Вказівки щодо підвищених значень втомної міцності для значень міцності на стиск або низький рівня міцності розтягу див. у Додатку G.

(11) Для плоских елементів, що зазнають згинальних напружень, при яких $\Delta\sigma_1$ та $\Delta\sigma_2$ (див. Рисунок 6.2) мають протилежні знаки, відповідне значення втомного напруження для деталей певних типів може бути збільшене на одну або дві деталізовані категорії у відповідності до таблиці 6.1 для $t \leq 15$ мм.

Примітка. Національний додаток може надавати тип деталі та діапазон товщини, для якого дозволене підвищення, а також число категорій. Рекомендується, щоб кількість категорій, на яку збільшується значення, не перевищувала 2.

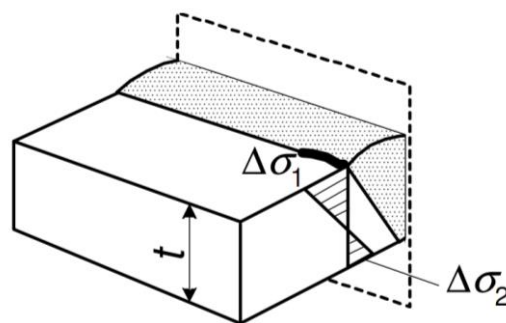


Рисунок 6.2 – Плоский елемент, що зазнає згинального напруження
Figure 6.2 – Flat member under bending stresses.

6.2.2 Некласифіковані деталі

(1) Деталі, які повністю не відносяться до заданої деталізованої категорії, повинні

(9) For the purpose of defining a finite range of detail categories and to enable a detail category to be increased or decreased by a constant geometric interval, a standard range of $\Delta\sigma_c$ values is given in Table 6.1. An increase (or decrease) of 1 detail category means selecting the next larger (or smaller) $\Delta\sigma_c$ value whilst leaving m_1 and m_2 unchanged. This does not apply to adhesively bonded joints.

(10) The detail categories apply to all values of mean stress, unless otherwise stated.

NOTE: For guidance on enhanced fatigue strength values for compressive or low tensile strength values see Annex G.

(11) For flat members under bending stresses where $\Delta\sigma_1$ and $\Delta\sigma_2$ (see Figure 6.2) are of opposite sign the respective fatigue stress value for certain detail types may be increased by one or two detail categories according to Table 6.1 for $t \leq 15$ mm.

NOTE: The National Annex may give the detail type and the thickness range for which an increase may be permitted, as well as the number of categories. It is recommended that the increase in number of categories should not exceed 2.

6.2.2 Unclassified details

(1) Details not fully covered by a given detail category should be assessed by

оцінюватися за допомогою паспортних даних, якщо вони доступні. Також можуть бути проведені приймально-сдавальні випробування на втому.

Примітка. Випробування на втому повинні проводитися у відповідності з Додатком С.

6.2.3 Адгезійні з'єднання

(1) Втомна міцність адгезійних з'єднань повинна базуватися на результатах випробувань конкретного застосування, враховуючи відповідні впливи зовнішнього середовища.

Примітка. Дані щодо розрахунку адгезійних з'єднань див. у Додатку Е.

6.2.4 Визначення стандартних величин максимальних місцевих напружень

(1) Підраховані максимальні місцеві напруження залежать від застосованого способу вирахування максимальних місцевих напружень, а розрахункові значення стандартного максимального місцевого напруження повинні бути співвіднесені з використаною методикою проектування.

NOTE: Додаток К містить метод стандартної деталі з максимальним місцевим напруженням. Даний Додаток може використовуватися у поєднанні з Додатком J для визначення стандартних величин максимального місцевого напруження.

6.3 Вплив середнього напруження

6.3.1 Загальні положення

(1) Інформація щодо втомної міцності, надана в таблицях деталізованих категорій, відноситься до умов значного розтягуючого середнього напруження. Якщо середнє напруження є стискаючим, або якщо значення розтягу низьке, циклічна довговічність за певних умов може бути збільшена.

Примітка. Подальші вказівки містяться у Додатку G.

6.3.2 Плоский матеріал та механічно закріплені з'єднання

(1) Враховуючи, що вплив залишкового напруження при розтягу та неузгоджені напруження діють разом із прикладеними напруженнями, може використовуватися

reference to published data where available. Alternatively fatigue acceptance tests may be carried out.

NOTE: Fatigue tests should be carried out in accordance with Annex C

6.2.3 Adhesively bonded joints

(1) Fatigue strengths of adhesively bonded joints should be based on test data specific to the application, taking the relevant exposure conditions into account.

NOTE: For design of adhesively bonded joints see Annex E.

6.2.4 Determination of the reference hot spot strength values

(1) The calculated hot spot stresses are dependent on the hot spot design method applied, and the design values for the reference hot spot strength should be correlated to the design procedure used.

NOTE: Annex K contains a hot spot reference detail method. This Annex may be used in combination with Annex J to determine the reference hot spot strength values.

6.3 Effect of mean stress

6.3.1 General

(1) The fatigue strength data given in detail category tables refer to high tensile mean stress conditions. Where the mean stress is compressive or of low tensile value the fatigue life may be enhanced under certain conditions.

NOTE: See Annex G for further guidance.

6.3.2 Plain material and mechanically fastened joints

(1) Provided that the effects of tensile residual and lack of fit stresses are added to the applied stresses, a fatigue enhancement factor may be applied.

коефіцієнт збільшення втоми.

Примітка. Див. Додаток G.

6.3.3 Зварні з'єднання

6.3.3.1 Загальний метод

(1) Допуски на середнє напруження не дозволяється використовувати в зварних з'єднаннях, окрім наступних випадків:

a) Якщо випробування були проведені і показали дійсний стан напруження (включаючи залишкові та неузгоджені напруження) в типі з'єднання та послідовне збільшення втомної міцності зі зменшенням середнього напруження;

b) коли повинні використовуватися методики підвищення втомної міцності, які призводять до виникнення залишкових стискаючих напружень, і якщо прикладене напруження не має такого значення, щоб стискаюче залишкове напруження зменшувалось через пластичні деформації в процесі функціонування.

Примітка. Див. Додаток G.

6.3.4 Адгезійні з'єднання

(1) Не дозволяються допуски на вплив середнього напруження без перевірки за допомогою випробувань.

6.3.5 Діапазон низької зносостійкості

(1) По відношенню до певних конструкційних деталей можуть використовуватися підвищені втомні міцності для негативних коефіцієнтів напруження R для $N < 10^5$ циклів.

Примітка. Див. Додаток G.

6.3.6 Підрахунок циклів для розрахунків коефіцієнту напруження R

(1) Метод отримання максимального та мінімального середнього напруження для індивідуальних циклів в спектрі з використанням методу резервуару повинен відповідати положенням Додатку A, рис. A.2.

6.4 Вплив умов навколишнього середовища

(1) Для деяких комбінацій сплавів та

NOTE: See Annex G.

6.3.3 Welded joints

6.3.3.1 General method

(1) No allowance should be made for mean stress in welded joints except in the following circumstances:

a) Where tests have been conducted which represent the true final state of stress (including residual and lack of fit stresses) in the type of joint and demonstrate a consistent increase in fatigue strength with decreasing mean stress;

b) where improvement techniques are to be used which have been proven to result in residual compressive stresses and where the applied stress is not of such a magnitude that the compressive residual stresses will be reduced by yielding in service.

NOTE: See Annex G.

6.3.4 Adhesive joints

(1) No allowance should be made for effect of mean stress without justification by tests.

6.3.5 Low endurance range

(1) For certain constructional details higher fatigue strengths may be used for negative R ratios for $N < 10^5$ cycles.

NOTE: See Annex G.

6.3.6 Cycle counting for R -ratio calculations

(1) The method of obtaining the maximum, minimum and mean stress for individual cycles in a spectrum using the reservoir counting method should be as stated in Annex A, Figure A.2.

6.4 Effect of exposure conditions

(1) For certain combinations of alloy and

умов навколишнього середовища номер деталізованої категорії, присвоєний конструкційній деталі, повинен бути змінений на нижчий. Дані щодо втомної міцності, надані в цьому Європейському стандарті, не повинні застосовуватися у випадках, коли температура навколишнього середовища перевищує 65°C або 30°C для морського середовища), окрім випадків, коли наявний ефективний захист від корозії.

Примітка. Таблиця 6.2 надає для деталізованих категорій, вказаних у Додатку G, номери деталізованих категорій, до яких вони повинні бути зменшені відповідно до умов зовнішнього середовища та сплаву.

exposure conditions, the detail category number given for a constructional detail should be downgraded. The fatigue strength data given in this European Standard should not apply in case of ambient temperature of more than 65°C or more than 30°C in marine environment, unless an efficient corrosion prevention is provided.

NOTE: Table 6.2 gives for the detail categories given in Annex G the number of detail categories, by which they should be reduced according to exposure conditions and alloy.

Таблиця 6.2 – Номери деталізованих категорій, до яких $\Delta\sigma_c$ повинні бути зменшені відповідно до умов зовнішнього середовища та сплаву.

Table 6.2 – Number of detail categories by which $\Delta\sigma_c$ should be reduced according to exposure conditions and alloy

Матеріал Material			Умови зовнішнього середовища Exposure conditions							
Серія сплаву Alloy Series ¹⁾	Основний склад Basic Composition	Рівні захисту (див. 1999-1-1) Protection ratings (see EN 1999-1-1)	Сільські умови Rural	Міські індустріальні умови Industrial Urban		Морське середовище Marine			Умови занурення Immersed	
				Помірні Moderate	Жорсткі Severe	Не індустріальні умови Non-Industrial	Помірні Moderate	Жорсткі Severe ²⁾	Прісна вода Fresh water	Морська вода Sea Water ²⁾
3xxx	AlMn	A	0	0	(P) ¹⁾	0	0	0	0	0
5xxx	AlMg	A	0	0	(P) ¹⁾	0	0	0	0	0
5xxx	AlMgMn	A	0	0	(P) ¹⁾	0	0	0	0	1
6xxx	AlMgSi	B	0	0	(P) ¹⁾	0	0	1	0	2
7xxx	AlZnMg	C	0	0	(P) ¹⁾	0	0	2	1	3

¹⁾ (P) дуже залежить від умов навколишнього середовища. Можлива необхідність постійної підтримки певного рівня захисту для запобігання ризику місцевих зовнішніх впливів, які можуть призвести до виникнення руйнівних тріщин.
²⁾ Значення N_D повинне бути збільшене з 5×10^6 до 10^7 циклів.

Примітка. Зниження не потрібне для деталізованих категорій $< 25 \text{ N/mm}^2$

¹⁾ (P) very dependent on exposure conditions. Regularly maintained protection may be required to avoid risk of local exposures which may be particularly detrimental to crack initiation.
²⁾ The value of N_D should be increased from 5×10^6 to 10^7 cycles.

NOTE: Downgrading is not needed for detail categories $< 25 \text{ N/mm}^2$.

6.5 Техніки підвищення втомної міцності

(1) Можуть використовуватися методи підвищення втомної міцності для певних

6.5 Improvement techniques

(1) Methods for improving the fatigue strength of certain welded constructional

зварних конструкційних деталей.

Примітка. Методи підвищення втомної міцності, як правило, дорогі в застосуванні та мають складності в контролі якості. Їх небажано використовувати для загального проектування, окрім випадків, коли втома є критичною для всієї конструкції. У таких випадках необхідні консультації спеціалістів. Дані методи частіше використовуються для подолання існуючих проектних недоліків. Див. додаток Н.

details may be used.

NOTE: Improvement techniques are generally expensive to apply and present quality control difficulties. They should not be relied upon for general design purposes, unless fatigue is particularly critical to the overall economy of the structure, in which case specialist advice should be sought. They are more commonly used to overcome existing design deficiencies. See Annex H.

**ДОДАТОК А
(ОБОВ'ЯЗКОВИЙ):**

**ОСНОВИ РОЗРАХУНКУ ВТОМНОЇ
МІЦНОСТІ**

A.1 Загальні положення

A.1.1 Вплив втоми на проектування

(1) Р Конструкції, що піддаються часто перемінним експлуатаційним навантаженням, можуть бути чутливими до втоми, яка може викликати руйнування, і повинні перевірятися за граничними станами.

(2) Рівень відповідності критеріям граничного стану за несучою здатністю або граничного стану за експлуатаційною придатністю, що вказаний у EN 1999-1-1, не повинен використовуватися як критерій ризику руйнування через втоми (див. A.1.3).

(3) Межа, до якої втома може впливати на конструкцію, повинна бути визначена на початковій стадії проектування. Для отримання достатньої точності у прогнозуванні безпеки проти втомного руйнування необхідно:

a) точно визначити повну послідовність експлуатаційних навантажень впродовж терміну служби;

b) ефективно і точно оцінити пружну реакцію конструкції під очікуваними впливами;

(c) розраховуючи конструкційну деталь, ретельно передбачити методи виготовлення та рівень контролю якості. Дані характеристики можуть мати вирішальне значення для втомної міцності, і їх необхідно контролювати з більшою точністю, ніж для конструкцій, розрахованих на інші граничні значення. Інформація щодо вимог до виконання міститься у EN 1090-3.

A.1.2 Механізм руйнування

(1) Слід припустити, що втомне руйнування зазвичай виникає у точці високого напруження (через раптову зміну геометричних характеристик, залишкове

**ANNEX A
[NORMATIVE]:**

**BASIS FOR CALCULATION OF
FATIGUE RESISTANCE**

A.1 General

A.1.1 Influence of fatigue on design

(1) P Structures subjected to frequently fluctuating service loads may be susceptible to failure by fatigue and shall be checked for that limit state.

(2) The degree of compliance with the ultimate or serviceability limit state criteria given in EN 1999-1-1 should not be used as a measure of the risk of fatigue failure (see A.1.3).

(3) The extent to which fatigue is likely to govern the design should be established at the conceptual stage of design. To obtain sufficient accuracy in prediction of the safety against fatigue failure it is necessary to:

a) make an accurate prediction of the complete service load sequence throughout the design life;

b) assess the elastic response of the structure under the predicted loads sufficiently accurately;

(c) perform constructional detail design, prescribe methods of manufacturing and degree of quality control appropriately. These issues can have a major influence on fatigue strength, and may need to be controlled more precisely than for structures designed for other limit states. For information on requirements to execution, see EN 1090-3.

A.1.2 Mechanism of failure

(1) It should be assumed that fatigue failure usually initiates at a highly stressed point (due to abrupt geometry change, tensile residual stress or sharp crack-like

розтягуюче напруження або загострені тріщини, схожі на розриви). Втомні тріщини розповсюджуються з певним шагом під впливом зміни циклічного напруження. Вони, як правило, не змінюються під впливом постійного навантаження. Руйнування виникає, якщо поперечний переріз, що залишається, не зможе витримати прикладене пікове навантаження.

(2) Слід припустити, що втомні тріщини розповсюджуються приблизно під прямим кутом до напрямку максимального діапазону головних напружень. Рівень розповсюдження збільшується в геометричній прогресії. Через це розростання тріщини на ранніх стадіях часто незначне, і втомні тріщини часто неможливо помітити впродовж більшої частини часу їх існування. Це може спричинити проблеми у виявленні їх в процесі експлуатації.

A.1.3 Потенційні місця виникнення втомних тріщин

(1) Розглядаються наступні ділянки можливого виникнення втомних тріщин, що відповідають певним конструкційним деталям:

- a) кромки та корені швів при зварці оплавленням;
- b) кути, що підлягають машинній обробці;
- c) перфораційні або висвердлені отвори;
- d) обрізні та випилені кромки;
- e) поверхні під високим контактним тиском (корозійне стирання);
- f) корені кріпильної різьби;

(2) Втомні тріщини також можуть з'являтися через невизначені причини, які виникають під час роботи. При необхідності слід розглядати наступне:

- a) неоднорідності матеріалу або дефекти зварювання;
- b) виїмки або подряпини, спричинені механічним пошкодженням;

discontinuities). Fatigue cracks will extend incrementally under the load of cyclic stress change. They normally remain stable under constant load. Failure occurs if the remaining cross section is insufficient to carry the peak applied load.

(2) It should be assumed that fatigue cracks propagate approximately at right angles to the direction of maximum principal stress range. The rate of propagation increases exponentially. For this reason crack growth is often slow in the early stages, and fatigue cracks tend to be inconspicuous for the major part of their life. This may give rise to problems of detection in service.

A.1.3 Potential sites for fatigue cracking

(1) The following initiation sites for fatigue cracks associated with specified constructional details should be considered:

- a) Toes and roots of fusion welds;
- b) machined corners;
- c) punched or drilled holes;
- d) sheared or sawn edges;
- e) surfaces under high contact pressure (fretting);
- f) roots of fastener threads.

(2) Fatigue cracks may also be initiated at unspecified features, which may occur in practice. The following should be considered where relevant:

- a) Material discontinuities or weld flaws;
- b) Notches or scoring from mechanical damage;

с) корозійні язви.

A.1.4 Умови чутливості до втоми

(1) При оцінці ймовірності чутливості до втоми необхідно враховувати наступне:

а) значне співвідношення динамічного і статичного навантажень. Рухомі або підйомні конструкції, такі як наземний або водний транспорт, крани і.т.д, більше піддаються втомним навантаженням, ніж закріплені конструкції, якщо тільки останні не зазнають в основному рухомих навантажень, наприклад, мости;

б) часте прикладання навантаження. Це призводить до великої кількості циклів на протязі терміну служби. Тонкі конструкції або елементи з низькими природними частотами особливо схильні до резонансу і, таким чином, до збільшення динамічного напруження навіть при низьких статичних розрахункових напруженнях. Конструкції, що в основному зазнають рухомих навантажень, таких як вітрове навантаження, а також конструкції, що підтримують машинне обладнання, слід уважно перевірити на резонансний ефект.

с) використання зварювання. Деякі зварні деталі, що часто використовуються, мають низьку втомну міцність. Це стосується не тільки з'єднань між елементами, а також будь-яких елементів, прикріплених до навантаженого елемента, незалежно від того, чи вважається сумарне з'єднання як «конструкційне».

д) складність з'єднувальної деталі. Складні з'єднання часто спричиняють високі концентрації напруження через місцеві зміни жорсткості шляху завантаження. Хоча це часто не завдає значного впливу на граничну статичну міцність з'єднання, але може значно впливати на втомну міцність. Якщо втома домінуюча, то необхідно обирати таку форму поперечного перерізу для елемента, щоб забезпечити рівномірність та простоту конструкції з'єднання. Необхідний розрахунок напружень та адекватні стандарти для виробництва й перевірки

с) Corrosion pits.

A.1.4 Conditions for fatigue susceptibility

(1) In assessing the likelihood of susceptibility to fatigue, the following should be taken into account:

a) High ratio of dynamic to static loading: Moving or lifting structures, such as land or sea transport vehicles, cranes, etc. are more likely to be prone to fatigue problems than fixed structures, unless the latter are predominantly carrying moving loads, as in the case of bridges;

b) frequent applications of load: This results in a high number of cycles in the design life. Slender structures or members with low natural frequencies are particularly prone to resonance and hence magnification of dynamic stress, even when the static design stresses are low. Structures subjected predominantly to fluid load, such as wind, and structures supporting machinery should be carefully checked for resonant effects;

c) use of welding: Some commonly used welded details have low fatigue strength. This applies not only to joints between members, but also to any attachment to a loaded member, whether or not the resulting connection is considered to be 'structural';

d) complexity of joint detail: Complex joints frequently result in high stress concentrations due to local variations in stiffness of the load path. Whilst these may often have little effect on the ultimate static capacity of the joint they can have a severe effect on fatigue resistance. If fatigue is dominant the member cross-sectional shape should be selected to ensure smoothness and simplicity of joint design, so that stresses can be calculated and adequate standards of fabrication and inspection can be assured;

напружень.

е) при певних температурних або хімічних впливах зовнішнього середовища втомна міцність може зменшуватися, якщо поверхня металу незахищена.

A.2 Метод проектування, що забезпечує безпечний термін служби

A.2.1 Передумови для методу проектування, що забезпечує безпечний термін служби

(1) Передбачена картина експлуатації конструкції повинна бути прийнята у показниках послідовності навантажень та частоти. В якості альтернативи, реакція напруження на всіх потенційних місцях виникнення напружень повинна бути прийнята в показниках в історії напружень.

(2) Характеристики втомної міцності на всіх ділянках можливого виникнення напруження повинні бути прийняті в показниках кривої втомної міцності.

(3) Усі потенційні ділянки виникнення напруження, на яких відзначається високий рівень напружень та значні концентрації напружень, повинні бути перевірені.

(4) Стандарти якості, що використовуються у виробництві компонентів, що включають потенційні ділянки виникнення напруження, повинні бути сумісні з конструкційними деталями, що використовуються.

(5) Основна методика описана нижче (див. рисунок А.1):

a) Потрібно оцінити верхню межу частоти експлуатаційного навантаження для розрахункового терміну служби конструкції (див. 2.3);

b) Потрібно оцінити результуючу історію напруження на потенційних ділянках виникнення напруження, що перевіряються (див. А.2.3 «Отримання значень спектрів напруження»).

c) там, де використовується нормальне напруження, необхідно модифікувати історію напружень в будь-якому місці концентрації місцевого напруження, яке не включено в деталізовану категорію, за

е) under certain thermal and chemical exposure conditions the fatigue strength may be reduced if the surface of the metal is unprotected.

A.2 Safe life design

A.2.1 Prerequisites for safe life design

(1) The predicted service history of the structure should be available in terms of a loading sequence and frequency. Alternatively the stress response at all potential initiation sites should be available in terms of stress histories.

(2) The fatigue strength characteristics at all potential initiation sites should be available in terms of fatigue strength curves.

(3) All potential fatigue crack initiation sites which have high stress fluctuations and/or severe stress concentrations should be checked.

(4) The quality standards used in the manufacture of the components containing potential initiation sites should be consistent with the constructional detail being used.

(5) The basic procedure is as follows (see Figure A.1):

a) Obtain an upper bound estimate of the service load sequence for the structure's design life (see 2.3);

b) estimate the resulting stress history at the potential initiation site being checked (see A.2.3 Derivation of stress spectra);

c) where nominal stresses are being used, modify the stress history in any region of geometrical stress concentration which is not already included in the detail category, by applying an appropriate stress concentration

допомогою використання відповідного коефіцієнту концентрації напруження (див. 5.3.2 «Отримання значень модифікованих номінальних напружень»).

d) необхідно зменшити історію напружень до еквівалентної кількості циклів (n_i) різних діапазонів напружень $\Delta\sigma_i$, використовуючи метод підрахунку циклів (див. А.2.3 «Отримання значень спектрів напруження»).

e) розподілити цикли у порядку зменшення діапазону $\Delta\sigma_i$, щоб сформувати спектр діапазону напружень, в якому $i = 1, 2, 3$ і так далі для першого, другого третього інтервалу у спектрі (див. А.2.3 «Отримання значень спектрів напруження»).

f) класифікувати конструкційну деталь відповідно до заданого ряду деталізованих категорій. Для відповідної деталізованої категорії та відповідного співвідношення $\Delta\sigma - N$ необхідно визначити допустиму зносостійкість (N_i) для розрахункового діапазону напружень ($\Delta\sigma_i$).

g) необхідно розрахувати загальне пошкодження D_L для усіх циклів, користуючись правилом накопичення Майнера, де:

$$D_L = \sum \frac{n_i}{N_i} \quad (\text{A.1})$$

h) розрахувати безпечний термін служби T_s , де:

$$T_s = \frac{T_L}{D_L} \quad (\text{A.2})$$

де термін експлуатації T_L має такі ж одиниці вимірювання, як T_s ;

i) необхідно вжити наступних заходів, якщо T_s менше, ніж T_L :

- ще раз розрахувати конструкцію або елемент, щоб знизити рівні напруження;
- замінити конструкційну деталь на іншу, яка має вищу категорію;
- якщо можливо, використовувати метод

factor (see 5.3.2 Derivation of modified nominal stresses);

d) reduce the stress history to an equivalent number of cycles (n_i) of different stress ranges $\Delta\sigma_i$ using a cycle counting technique (see A.2.3 Derivation of stress spectra);

e) rank the cycles in descending order of range $\Delta\sigma_i$ to form a stress-range spectrum, where $i = 1, 2, 3$ etc. for the first, second, third band in the spectrum (see A.2.3 Derivation of stress spectra);

f) categorise the constructional detail in accordance with the given set of detail categories. For the appropriate detail category and the respective $\Delta\sigma - N$ relationship determine for the design stress range ($\Delta\sigma_i$), permissible endurance (N_i);

g) calculate the total damage D_L for all cycles using Miner's summation where

h) calculate the safe life T_s , where

where the design life of T_L has the same units as T_s ;

i) take one or more of the following actions if T_s is less than T_L :

- Redesign the structure or member to reduce the stress levels;
- change the constructional detail to one with a higher category;
- use a damage tolerant design approach,

проектування з урахуванням допустимих руйнувань (див. А.3).

A.2.2 Підрахунок циклів

(1) Підрахунок циклів – це процедура перетворення складної історії напружень у зручний спектр циклів у показниках діапазону напружень $\Delta\sigma$, кількості циклів n та, при необхідності, коефіцієнту напружень R .

(2) Для коротких історій напружень, де прості впливи повторюються певну кількість разів, рекомендується резервуарний метод підрахунку. Його просто візуалізувати та використовувати (див. рисунок А.2). Там, де необхідно використовувати довгі історії напружень, наприклад, отримані з вимірювань деформацій в існуючих конструкціях (див. Додаток С), рекомендується метод дощового потоку. Обидва методи підходять для комп'ютерного розрахунку.

A.2.3 Отримання значень спектру навантажень

(1) В результаті складання у порядку спадання списку циклів діапазону напружень $\Delta\sigma$ отримується спектр напружень. Для легкості підрахунків при необхідності можна спростити складний спектр до меншої кількості інтервалів. Консервативний метод використовується, щоб скомпонувати інтервали в більші групи, які містять таку ж загальну кількість циклів, але чий діапазон напружень рівний найбільшому інтервалу в групі. З більшою точністю середньозважене значення усіх інтервалів може бути вираховане за допомогою m , де m – зворотній нахил кривої $\Delta\sigma - N$, який скоріш за все використовується (див. рисунок А.3). Використання арифметичного середнього значення завжди неконсервативне.

where appropriate (see A.3).

A.2.2 Cycle counting

(1) Cycle counting is a procedure for breaking down a complex stress history into a convenient spectrum of cycles in terms of stress range $\Delta\sigma$, number of cycles n and, if necessary, R ratio.

(2) For short stress histories where simple action events are repeated a number of times, the Reservoir method is recommended. It is easy to visualise and simple to use (see Figure A.2). Where long stress histories have to be used, such as those obtained from measured strains in actual structures (see Annex C) the Rain-Flow method is recommended. Both methods are suitable for computer analysis.

A.2.3 Derivation of stress spectrum

(1) The listing of cycles in descending order of stress range $\Delta\sigma$ results in a stress spectrum. For ease of calculation it may be required to simplify a complex spectrum into fewer bands. A conservative method is to group bands together into larger groups containing the same total number of cycles, but whose stress range is equal to that of the highest band in the group. More accurately, the weighted average of all the bands in one group can be calculated using the power m , where m is the inverse slope of the $\Delta\sigma - N$ curve most likely to be used (see Figure A.3). The use of an arithmetic mean value will always be not conservative.

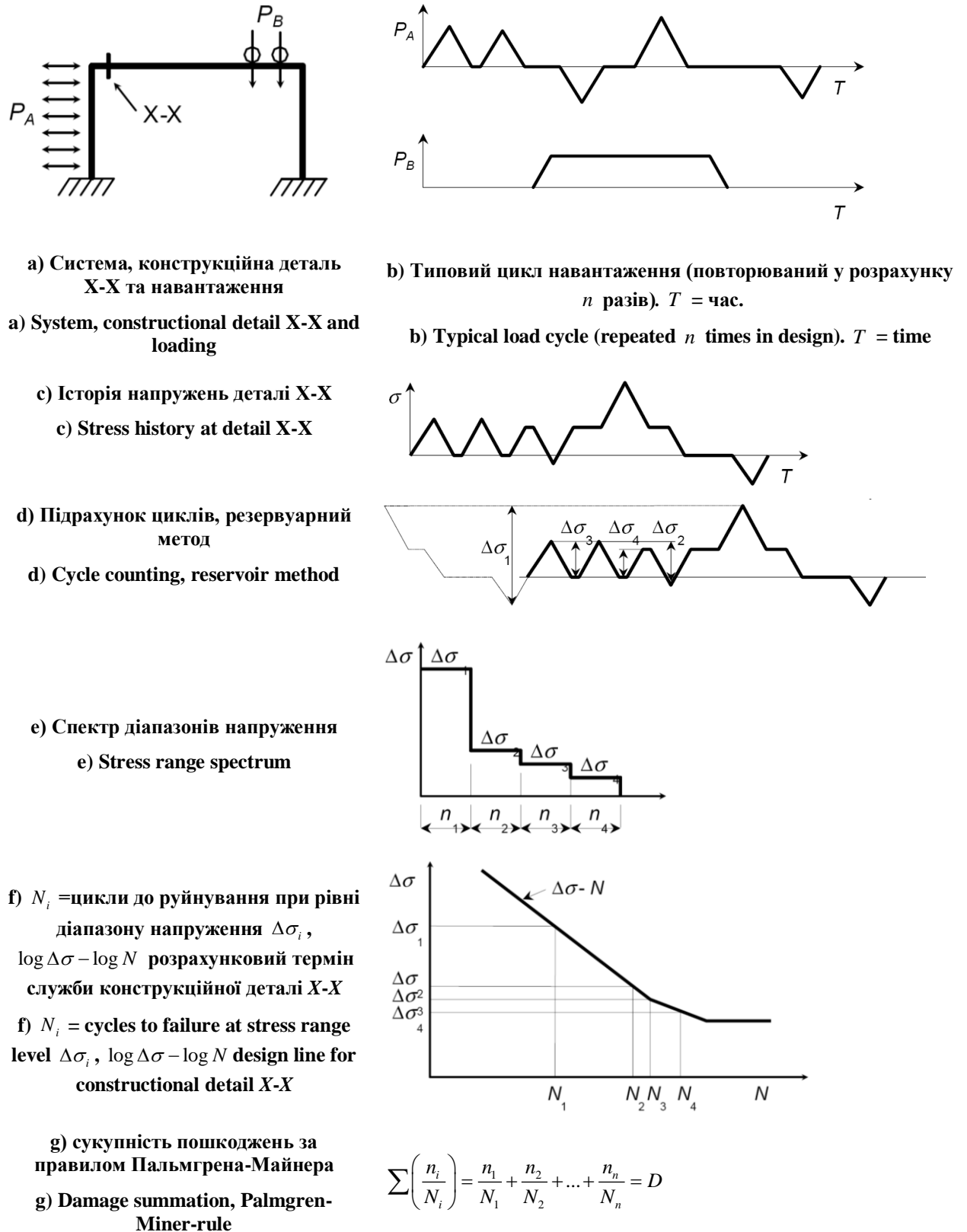
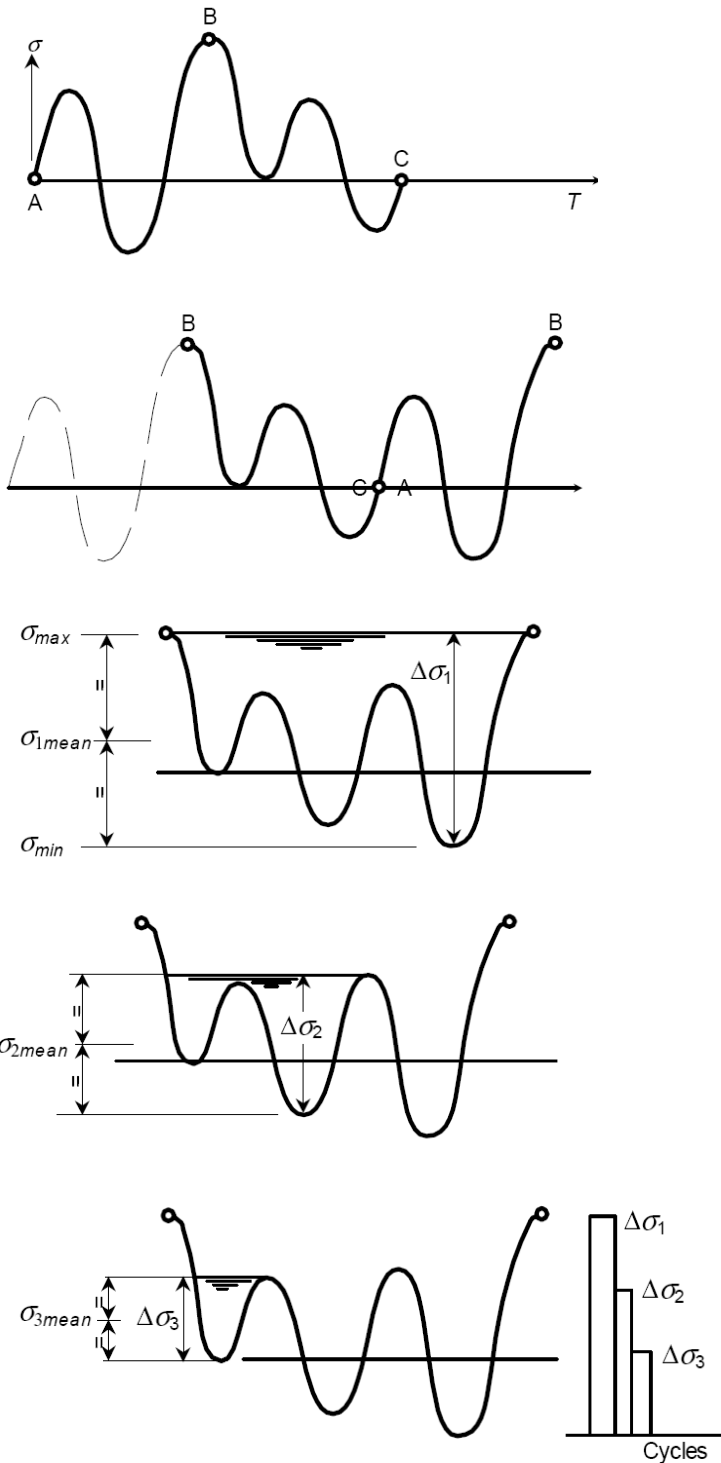


Рисунок А.1 – Методика оцінки втоми
Figure A.1 – Fatigue assessment procedure



Крок 1: Визначити історію напружень для процесу навантаження. Визначити пік B

Step 1. Determine stress history for loading event. Identify peak B

Крок 2: Зсунути історію навантажень зліва направо від піку B

Step 2. Move stress history on left of peak B to right

Крок 3: Наповнити «резервуар» «водою». Найбільша глибина – це головний цикл.

Step 3. Fill "reservoir" with "water". Greatest depth is major cycle

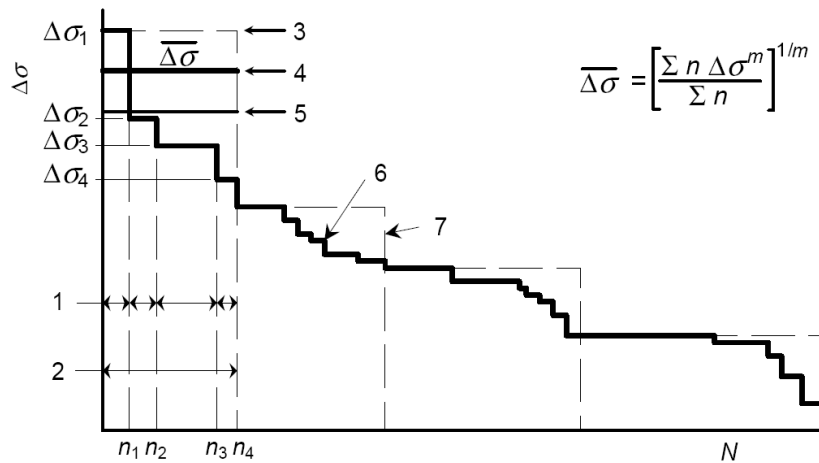
Крок 4: Відвести воду з найбільшої глибини. Визначити нову максимальну глибину. Це буде другий найбільший цикл.

Step 4. Drain at greatest depth. Find new maximum depth. This is second largest cycle

Крок 5: Повторювати, поки «вода» не зникне. Сума усіх циклів – це спектр напружень для історії, наведеної вище

Step 5 Onwards. Repeat until all "water" drained. Sum of all cycles is stress spectrum for above history

Рисунок A.2 – Резервуарний метод підрахунку циклів
Figure A.2 – Reservoir cycle counting method



1 – дійсні інтервали; 2 – спрощені інтервали; $\Delta\sigma$ - діапазон напружень; N – кумулятивна частота (при будь-якій кількості циклів); 3 – пік (консервативний); 4 – середньозважене значення (найбільш точне); 5 – середнє арифметичне (неконсервативне); 6 – зафіксований спектр; 7 – спрощений спектр для розрахунку.

1 – original bands; 2 – simplified band; $\Delta\sigma$ stress range; N cumulative frequency (any cycle number); 3 – peak (conservative); 4 – weighted mean (most accurate); 5 – arithmetic mean (unconservative) 6 – recorded spectrum; 7 – simplified spectrum for design

Рисунок А.3 – Спрощений розрахунковий спектр діапазону
Figure A.3 – Simplified stress range spectrum

А.3 Проектування з урахуванням допустимих руйнувань

А.3.1 Передумови для проектування з урахуванням допустимих руйнувань

(1) Проектування з урахуванням допустимих руйнувань повинне використовуватися лише тоді, коли чітко визначена область застосування.

Примітка. У Національному додатку можуть бути надані області застосування проектування з урахуванням допустимих руйнувань. Рекомендуються умови, вказані у а) - d).

а) Ділянки виникнення тріщин повинні знаходитися близько до поверхні, щоб легко було проводити їх обслуговування. Виключення можливе лише у випадках, коли забезпечені безпечні альтернативні шляхи завантаження, а конструкційні деталі спроектовані таким чином, що розростання тріщини можливо зупинити до того, як тріщина досягне першого шляху завантаження.

б) Методика, вказана у А.2.2, повинна застосовуватися для визначення періодичності технічних перевірок та максимально допустимого розміру тріщини до того, як виникне необхідність у корекції.

с) Повинні бути доступні практичні методи перевірок, за допомогою яких можливе виявлення тріщин та вимірювання їх розміру до того, як вони

А.3 Damage tolerant design

А.3.1 Prerequisites for damage tolerant design

(1) Damage tolerant design should only be used where clear conditions for the application are defined.

NOTE: The National Annex may give conditions for the use of damage tolerant design. The conditions given in a) to d) are recommended.

a) The fatigue crack initiation sites should be on or close to a surface which should be readily accessible in service. The only exception should be where safe alternative load paths are provided and constructional details are designed to ensure that the cracks will be arrested without propagation beyond the first load path.

b) The procedure in A.2.2 should be applied to determine the inspection frequency and maximum permissible crack size before correction becomes necessary.

c) Practical inspection methods should be available which should be capable of detecting the cracks and measuring their extent well before they

досягнуть критичного розміру.

d) Вказівки щодо технічного обслуговування повинні містити інформацію, вказану у 1.7.3, для кожного розташування тріщини.

A.3.2 Визначення стратегії перевірок для проектування з урахуванням допустимих руйнувань

(1) На будь-якій ділянці потенційного виникнення тріщини, де термін безпечної експлуатації T_s менший, ніж розрахунковий термін експлуатації T_L , повинен бути розрахований інтервал перевірки T_i .

(2) У вказівках щодо технічного обслуговування повинно бути визначено, що перша перевірка кожної ділянки потенційного виникнення тріщини повинна проводитися до закінчення терміну безпечної експлуатації.

(3) У вказівках щодо технічного обслуговування повинно бути визначено, що послідовні перевірки повинні проводитися регулярно з визначеним інтервалом T_i , при умові, що:

$$T_i \leq 0,5T_f \quad (\text{A.3})$$

де T_f розрахунковий час, за який тріщина, що виникла на ділянці, що оцінюється, розростається з помітної довжини l_d до критичної довжини l_f (див. рис. A.4).

Примітка. Допустима мінімальна довжина тріщини поверхні повинна враховувати доступність, розташування, можливий стан поверхні та метод перевірки. Значення l_d повинне бути не менше, ніж рекомендоване значення в таблиці A.1, окрім випадків, коли проводяться спеціальні випробування, щоб довести, що менші довжини можуть бути визначені з вірогідністю не менше 90%.

(4) Якщо будь-яка інша постійна конструкційна або неконструкційна деталь не дозволяє повний доступ до тріщини, прихована довжина тріщини повинна додаватися до відповідного значення в таблиці A.1, щоб отримати значення l_d для розрахунку.

(5) Якщо використовується значна о

have reached their fracture critical size.

d) The maintenance manual should specify the information listed in 1.7.3 for each crack location.

A.3.2 Determination of inspection strategy for damage tolerant design

(1) At each potential initiation site where the safe life T_s is less than the design life T_L , the inspection interval T_i should be calculated.

(2) The maintenance manual should specify that the first inspection of each potential initiation site should take place before the safe life has elapsed.

(3) The maintenance manual should specify that subsequent inspections should take place at regular intervals T_i where

Where T_f is the calculated time for a crack, having initiated at the site being assessed, to grow from a detectable surface length l_d to a fracture critical length l_f (see Figure A.4).

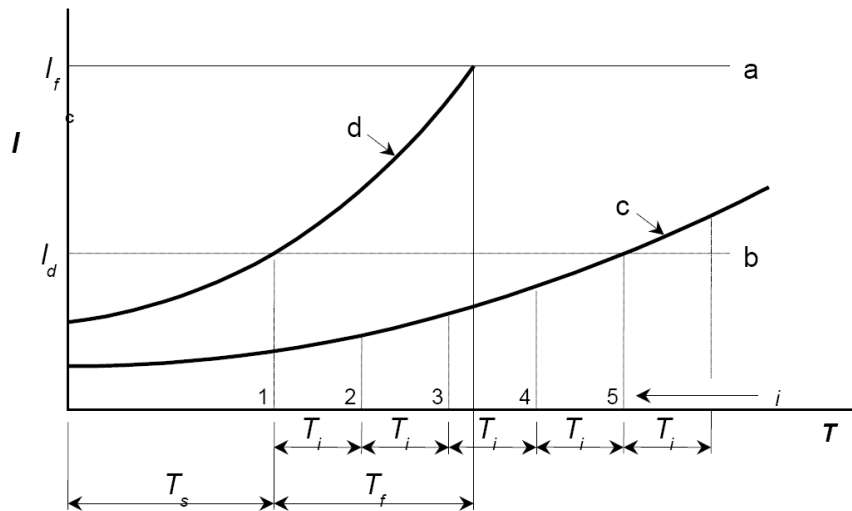
NOTE: The assumed minimum exposed length of surface crack should take into consideration the accessibility, location, likely surface condition and method of inspection. Unless specific testing is undertaken to demonstrate that shorter lengths can be detected with a probability exceeding 90%, the assumed value of l_d should not be less than the recommended value in Table A.1 where the full crack length is accessible for inspection.

(4) Where any other permanent structural or non-structural part prevents full access to the crack, the obscured length of crack should be added to the appropriate value in Table A.1 to derive the value of l_d for calculation purposes.

(5) Where heavy constructional thickness

конструкційна товщина, і якщо ділянка виникнення тріщини знаходиться на недоступній поверхні (наприклад, на корені одностороннього зварного шва в трубчастому елементі), може бути доцільно планувати стратегію перевірок, основу на ультразвуковому випробуванні, для виявлення і вимірювання тріщин до того, як вони досягнуть доступної поверхні. Така стратегія не повинна прийматися без попередніх випробувань та оцінки.

is used and where the initiation site is on an inaccessible surface, (e.g. the root of a single sided butt weld in a tubular member), it may be appropriate to plan an inspection strategy based on the use of ultrasonic testing to detect and measure cracks before they reach the accessible surface. Such a strategy should not be undertaken without prior testing and evaluation.



a – критична довжина тріщини; **b** – допустима мінімальна помітна довжина; **c** – крива дійсного розростання; **d** – крива допустимого найшвидшого розростання, верхню межу див. у Додатку В; **i** – номер перевірки; T_i – інтервал перевірки; T_s – інтервал часу до того, як тріщина стає помітною; T_f час, за який тріщина, розростається з помітної довжини до критичної довжини

a – fracture critical length; **b** – assumed minimum detectable length; **c** – actual growth curve; **d** – assumed fastest growth curve, see Annex B for upper boundary; **i** – inspection interval; T_s – time interval to detectable crack length; T_f – time interval for crack growth from detectable crack length to critical crack length

Рисунок А.4 – Стратегія перевірки для проектування з урахуванням допустимих руйнувань

Figure A.4 – Inspection strategy for damage tolerant design

Таблиця А.1 – Рекомендовані безпечні значення для помітних тріщин поверхні l_d в мм

Table A.1 – Recommended safe values of detectable surface crack length l_d in mm

Метод перевірки Method of Inspection	Розташування тріщини Crack location		
	Рівна плоска поверхня Plain smooth surface	Шорстка поверхня, верхня частина зварного шва Rough surface, Weld cap	Гострий кут, кромка зварного шва Sharp corner, Weld toe
Візуальний, за допомогою збільшуючого пристрою Visual, with magnifying aid	20	30	50

Випробування за допомогою проникаючих рідин Liquid penetrant testing	5	10	15
<p>Примітка. Вказані вище значення використовуються при допущенні близького контакту, достатнього освітлення та зняття захисного покриття.</p> <p>NOTE: The above values assume close access, good lighting and removal of surface coatings.</p>			

(6) Значення l_f повинне бути таким, щоб робочий переріз, враховуючи можливу форму профілю тріщини через товщину, міг витримати максимальні статичні розтягуючі зусилля під навантаженням, помноженим на коефіцієнт, розрахованим згідно EN 1999-1-1, без нестабільного розповсюдження тріщини.

(7) T_f повинен оцінюватися за допомогою розрахунку та/або випробування, допускаючи навантаження, помножене на коефіцієнт (див.2.4), наступним чином:

a) Метод розрахунку повинен базуватися на принципах механіки руйнувань (див. Додаток В). Слід використовувати співвідношення верхньої границі розростання тріщини, що визначається як середнє плюс два стандартних відхилення. Як альтернатива, певні дані щодо розростання тріщини можуть бути отримані зі стандартних тестових зразків при використанні такого ж матеріалу, як у шляху розростання тріщини. У такому випадку рівень розростання тріщини повинен бути помножений на коефіцієнт відповідно до випробувального коефіцієнту втомки F (див. таблицю С.1);

b) якщо розростання тріщини виникає через випробування окремих елементів конструкції або самої конструкції, під час якого симулюються відповідні матеріали, геометричні характеристики та метод виробництва, то відповідна модель прикладеного зусилля повинна бути застосована до випробуваних зразків (див. Додаток С).

c) задокументований рівень розростання тріщини між довжинами тріщини l_d та l_f повинен бути

(6) The value of l_f should be such that the net section, taking into account the likely shape of the crack profile through the thickness, should be able to sustain the maximum static tensile forces under the factored load, calculated in accordance with EN 1999-1-1, without unstable crack propagation.

(7) T_f should be estimated by means of calculation and/or by test, assuming factored load (see 2.4), as follows:

a) The calculation method should be based on fracture mechanics principles (see Annex B). An upper bound, defined as mean plus two standard deviations, crack growth relationship should be used. Alternatively specific crack growth data may be obtained from standard test specimens using the same material as in the crack propagation path. In which case the crack growth rate should be factored in accordance with the fatigue test factor F (see Table C.1);

b) where crack growth is obtained from structural or component tests simulating the correct materials, geometry and method of manufacture the relevant applied force pattern should be applied to the test specimen (see Annex C);

c) the crack growth rates recorded between the crack lengths l_d and l_f should be factored by the fatigue test factor F (see

помножений на випробувальний коефіцієнт втомної F (див. таблицю С.1).

(8) Вказівки щодо технічного обслуговування повинні визначати такі заходи, щонеобхідні для виявлення втомної тріщини під час регулярної технічної перевірки:

а) якщо виміряна довжина тріщини менша, ніж l_d , то не потрібно вживати ніяких заходів щодо усунення несправностей.

б) якщо виміряна довжина тріщини дорівнює або перевищує l_d , елемент необхідно оцінити на придатність до цільового використання, визначивши, впродовж якого часу конструкція здатна безпечно функціонувати без корекції або заміни. У випадку продовження функціонування необхідно розглянути можливість збільшення періодичності перевірок на місці.

с) якщо виміряна довжина тріщини перевищує l_f , конструкція повинна бути негайно виведена з експлуатації

Table C.1).

(8) The maintenance manual should specify the actions to be taken in the event of discovery of a fatigue crack during a regular maintenance inspection, as follows:

a) If the measured crack length is less than l_d no remedial action need be taken;

b) if the measured crack length is equal to or exceeds l_d the component should be assessed on a fitness for-purpose basis with a view to determining how long the structure may safely be allowed to operate without rectification or replacement. In the event of continuation of operation consideration should be given to increasing the frequency of inspection at the location in question;

c) if the measured crack length exceeds l_f the structure should be immediately taken out of service.

ДОДАТОК В (ДОВІДКОВИЙ)

ВКАЗІВКИ ЩОДО ОЦІНКИ РОЗРОСТАННЯ ТРІЩИНИ ЗА ДОПОМОГОЮ МЕХАНІКИ РУЙНУВАННЯ

В.1 Сфера застосування

(1) Метою цього додатку є надання інформації щодо застосування механіки руйнувань для оцінки розростання втомних тріщин з плоских гострих неоднорідностей. Головним чином це стосується оцінки наступного:

- вже відомі дефекти (включаючи втомні тріщини, виявлені під час експлуатації);
- допустимі дефекти (включаючи розгляд початкового з'єднання або меж виявлення дефектів за допомогою неруйнівних випробувань);
- стійкість до дефектів (включаючи оцінку придатності до цільового використання дефектів, спеціально створених для певних вимог функціонування).

(2) Метод охоплює нормальне розростання втомних тріщин у напрямку головного розтягуючого напруження (Метод 1).

В.2 Принципи

В.2.1 Розміри тріщин

(1) Допускається, що розповсюдження втоми починається з вже існуючого плоского дефекту з гострою тріщиною, яка зазвичай розростається у напрямку діапазону головного розтягуючого напруження $\Delta\sigma$ в даній точці.

(2) Розміри вже існуючих дефектів показані на рисунку В.1. Показані дефекти розподіляються на ті, що створюють розлом поверхні, і на ті, що повністю знаходяться всередині матеріалу.

ANNEX B [INFORMATIVE]

GUIDANCE ON ASSESSMENT OF CRACK GROWTH BY FRACTURE MECHANICS

B.1 Scope

(1) The objective of this annex is to provide information on the use of fracture mechanics for assessing the growth of fatigue cracks from sharp planar discontinuities. Main uses are in the assessment of:

- known flaws (including fatigue cracks found in service);
- assumed flaws (including consideration of the original joint or NDT detection limits);
- tolerance to flaws (including fitness for purpose assessment of fabrication flaws for particular service requirements).

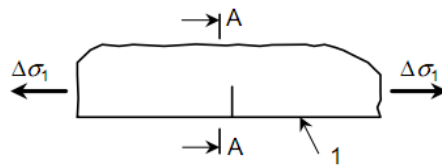
(2) The method covers fatigue crack growth normal to the direction of principal tensile stress (Mode 1).

B.2 Principles

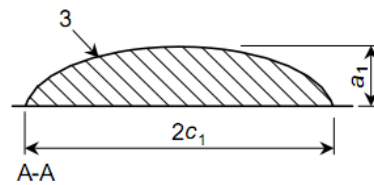
B.2.1 Flaw dimensions

(1) Fatigue propagation is assumed to start from a pre-existing planar flaw with a sharp crack front orientated normal to the direction of principle tensile stress range $\Delta\sigma$ at that point.

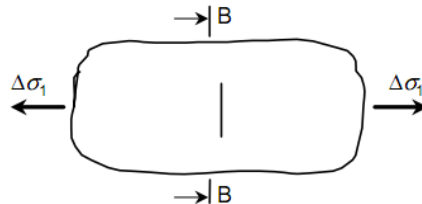
(2) The dimensions of the pre-existing flaws are shown in Figure B.1 depending on whether they are surface breaking or fully embedded within the material.



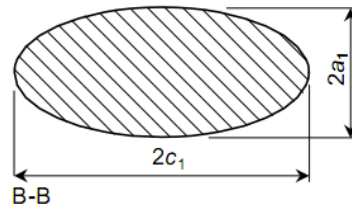
а) дефект, що створює розлом поверхні
1 – вільна поверхня; 2 – дефект



а) Surface braking flaw
1 – free surface; 2 – flaw



б) дефект, що знаходиться всередині матеріалу



б) Embedded flaw

Рисунок В.1 – Існуючий до виникнення тріщини плоский дефект
Figure В.1 – Pre-existing planar flaw

В.2.2 Співвідношення росту тріщини

(1) Під впливом діапазону циклічних напружень $\Delta\sigma$ фронт тріщини переміщується вглиб матеріалу відповідно до закону розповсюдження тріщини. В напрямку 'a' рівень розповсюдження визначається за формулою:

$$\frac{da}{dN} = A(\Delta a^{0.5} \cdot y)^m \quad (\text{B.1})$$

Де:

a – матеріальна константа рівня розростання втомної тріщини (РРВТ);
 m – показник ступеня розростання тріщини
 y – геометричний коефіцієнт тріщини, який залежить від форми тріщини, орієнтації та розмірів границі поверхні.

Примітка. Одиниці для коефіцієнтів інтенсивності напруження ΔK – $\text{Нмм}^{-2} \text{ м}^{0.5}$ [$\text{МПа м}^{0.5}$], а для рівня розростання тріщини da/dN – [м/цикл].

(2) Це можна записати за допомогою формули:

$$\frac{da}{dN} = A\Delta K^m \quad (\text{B.2})$$

де

ΔK – діапазон інтенсивності

В.2.2 Crack growth relationship

(1) Under the action of cyclic stress range $\Delta\sigma$ the crack front will move into the material according to the crack propagation law. In the direction of 'a' the rate of propagation is given by:

where:

a is the fatigue crack growth rate (FCGR) material constant;
 m is the crack growth rate exponent;
 y is the crack geometry factor depending on the crack shape, orientation and surface boundary dimensions.

NOTE: The units for stress intensity factors ΔK are $\text{Nmm}^{-2} \text{ м}^{0.5}$ [$\text{MPa м}^{0.5}$] and for crack growth rate da/dN is [m/cycle]. Data given in B.3 are only valid for these units.

(2) This can be rewritten in the form

where

ΔK is the stress intensity range and equals

напруження, що дорівнює $\Delta\sigma a^{0.5}$ у.

(3) Після прикладення N циклів діапазону напружень $\Delta\sigma$ тріщина зростає з розміру a^1 до розміру a^2 у відповідності з наступним інтегруванням:

$$N = \int_{a_1}^{a_2} \frac{da}{A\Delta K^m} \quad (B.3)$$

(4) У загальному випадку A , ΔK та m залежать від a .

В.3 Значення розростання тріщини A та m

(1) A and m отримуються з вимірювань розростання тріщини на стандартних зразках з надрізом, орієнтованих у напрямку LT , TL або ST (наприклад, як на рисунку В.2), з використанням стандартизованих методик випробувань. Розрахунок зразка повинен бути таким, щоб було доступне правильне визначення коефіцієнту інтенсивності напруження (K) (наприклад, співвідношення між прикладеним навантаженням та розміром тріщини ' a ').

Примітка. Подальша інформація щодо стандартизованих методик випробувань міститься у бібліографії, В.1.

$\Delta\sigma a^{0.5}$ у.

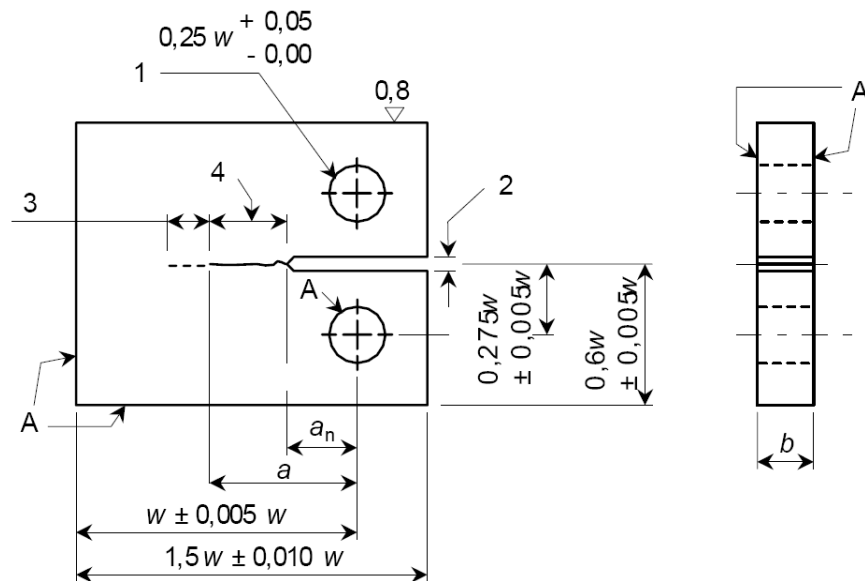
(3) After the application of N cycles of stress range $\Delta\sigma$ the crack will grow from dimension a^1 to dimension a^2 according to the following integration:

(4) For the general case A , ΔK and m are dependent on a .

В.3 Crack growth data A and m

(1) A and m are obtained from crack growth measurements on standard notched specimens orientated in the LT , TL or ST direction (e.g. see Figure B.2) using standardised test methods. The specimen design should be one for which an accurate stress intensity factor (K) solution (i.e. the relationship between applied action and crack size ' a ') is available.

NOTE: For further information on standardised test methods see Bibliography B.1.



1 – діаметр отвору; 2 – зміщення отвору;
3 – збільшення; 4 – початкова втомна тріщина
Рекомендована товщина $w/20 \leq b \leq w/4$

1 – hole diameter; 2 – mouth opening displacement;
3 – increment; 4 – fatigue pre-crack
Recommended thickness $w/20 \leq b \leq w/4$

Рисунок В.2 – Типовий зразок розростання тріщини (приклад з посил. В.3)
Figure B.2 – Typical crack growth specimen (example from ref. B.3)

(2) Випробування проводяться під впливом контрольованого комп'ютером циклічного навантаження на зразку при постійному співвідношенні інтенсивності прикладеного напруження K_{\min} / K_{\max} , як для постійної умови випробування R , так і для для постійної умови випробування K_{\max} , при точному вимірюванні розростання тріщини по надрізу.

Примітка. Подальша інформація щодо стандартизованих методик випробувань міститься у бібліографії, В.2.

(3) Якщо дискретні значення довжини тріщини a отримані, то для розташування даних використовується плавна крива, при застосуванні методу, що визначений в стандарті випробування. Рівень розростання тріщини da/dN при заданій довжині тріщини вираховується як градієнт кривої при певному значенні.

(4) Відповідне значення діапазону коефіцієнту інтенсивності напруження ΔK отримується з допомогою відповідного рішення K для випробуваного зразку в поєднанні з дією діапазону прикладеного навантаження. Результати співвідношення da/dN та ΔK нанесені на графік за допомогою логарифмічної шкали.

(5) Для загального використання криві розростання можуть застосовуватися для різних значень R . Рисунок В.3 демонструє типовий приклад da/dN по відношенню до кривих ΔK для деформованого сплаву алюмінію EN AW-6005A T6. На рисунку В.3(a) умовою випробування було постійне співвідношення інтенсивності напруження K_{\min} / K_{\max} , а на рисунку В.3(b) результати випробування при постійному значенні $K_{\max} = 10 \text{ Нмм}^{-2} \text{ м}^{0,5}$ поєднується з консервативними гілками кривої з рисунку В.3(a). Ця комбінація результатів постійного значення R та постійного значення K є консервативним інженерним наближенням і може використовуватися для передбачення втомної міцності у випадку значних залишкових розтягуючих напружень або недостатніх вимірів втомної тріщини. Значення m та A для рис. В.3 надані у таблицях В.1(a) та (b).

(2) The tests are carried out under computer controlled cyclic action of the specimen at constant applied stress intensity ratio $R = K_{\min} / K_{\max}$, for either constant R or constant K_{\max} testing conditions and accurate measurement of the growth of the crack from the notch.

NOTE: For further information on testing conditions see Bibliography B.2.

(3) If discrete values of crack length a are obtained, a smooth curve is fitted to the data using the method specified in the test standard. The crack growth rate, da/dN , at a given crack length is then calculated as the gradient of the curve at that a value.

(4) The corresponding value of the stress intensity factor range, ΔK , is obtained using the appropriate K solution for the test specimen, in conjunction with the applied action range. The results da/dN versus ΔK are plotted using logarithmic scales.

(5) For general use, crack growth curves may be required for different R values. Figure B.3 shows a typical set of da/dN versus ΔK curves for the aluminium extrusion alloy EN AW-6005A T6. In Figure B.3(a) the testing condition was constant ratio of stress intensity K_{\min} / K_{\max} , and in Figure B.3(b) the result of a test at constant $K_{\max} = 10 \text{ Нмм}^{-2} \text{ м}^{0,5}$ is combined with the conservative branches of the curves from Figure B.3(a). This combination of the results of the constant R and constant K data is a conservative engineering approximation and can be used for the fatigue life prediction in case of high residual tensile stresses or short fatigue crack evaluations. The values of m and A for Figure B.3 are given in Tables B.1(a) and (b).

(6) На рисунку В.4(a) нанесене на графік постійне значення R-PPVT кованих алюмінієвих сплавів $R = 0,1$, а на рисунку В.4(b) вказані відповідні дані для постійного значення $R = 0,8$. На рисунку В.5 показані постійні R-PPVT криві трьох сплавів кокільного лиття при $R = 0,1$ та $R = 0,8$. На рисунку В.6 показані комбіновані дані постійних значень R та K_{\max} для випробувань кованих алюмінієвих сплавів $R = 0,1$ та $R = 0,8$. Значення m та A верхньої границі PPVT покриття, показані на малюнках В.4 - В.6, також надані у таблицях В.2 - В.4 відповідно.

Примітка. Подальша інформація щодо співвідношення da/dN та ΔK надана у Бібліографії, В.3 та В.4

(7) Зовнішній вплив корозії може впливати на A та m . Результати випробувань, отримані при умовах вологості навколишнього середовища, здатні охоплювати більшість нормальних атмосферних умов.

В.4 Геометрична функція y

(1) Геометрична функція y залежить від геометрії тріщини (форми та розміру), розмірів границь поверхні оточуючого матеріалу і моделі напруження в зоні шляху тріщини.

(2) Дана інформація може бути отримана з розрахунку кінцевих елементів конструкційної деталі з використанням елементу, що містить вершину тріщини. Інтенсивність напруження для різних довжин тріщини визначається за допомогою інтегралу J . Альтернативним шляхом вона може бути визначена через переміщення, поле напруження навколо краю тріщини або загальну енергію пружної деформації.

(3) Розповсюджені рішення для загально використовуваних геометричних характеристик (гладкий матеріал та зварні шви) – це альтернативне джерело значень y . Стандартні дані часто надаються в показниках y , де $y = y\pi^{-0,5}$. Типовий приклад тріщини на гладкій плиті, що призводить до розлому поверхні, надається на рисунку В.7(a). Якщо тріщина

(6) In Figure B.4(a) the constant R-FCGR of wrought aluminium alloys of $R = 0,1$ are plotted and in Figure B.4(b) the corresponding data for constant $R = 0,8$ are added. Figure B.5 shows the set of constant R-FCGR curves of three gravity die cast alloys at $R = 0,1$ and $R = 0,8$. Figure B.6 represents the combined data of constant R and constant K_{\max} - tests of wrought aluminium alloys for $R = 0,1$ and $R = 0,8$. The values of m and A of the upper bound FCGR envelopes shown in Figs. B.4 to B.6 are given in Tables B.2 to B.4 respectively.

NOTE: For further da/dN versus ΔK data see Bibliography B.3 and B.4.

(7) Corrosive exposure conditions can effect A and m . Test data obtained under conditions of ambient humidity will be adequate to cover most normal atmospheric conditions.

В.4 Geometry function y

(1) The geometry function y is dependent on the crack geometry (shape and size), the boundary dimensions of the surface of the surrounding material and the stress pattern in the region of the crack path.

(2) This information can be obtained from finite element analyses of the constructional detail using crack tip elements. The stress intensity for different crack lengths is calculated using the J integral procedure. Alternatively it can be calculated from the displacement or stress field around the crack tip, or the total elastic deformation energy.

(3) Published solutions for commonly used geometries (plain material and welded joints) are an alternative source of y values. Standard data are often given in terms of y where $y = y\pi^{-0,5}$. A typical example for a surface breaking crack in a plain plate is shown in Figure B.7(a). If the crack is located at a weld toe on the plate surface then a further

знаходиться на кромці шва на поверхні плити, то подальша корекція впливу концентрації місцевого напруження може виконуватися за допомогою коефіцієнту збільшення M_K (див. рисунок В.7(b)).

Примітка. Подальша інформація щодо розповсюджених рішень знаходиться у Бібліографії, В.1 та В.5.

(4) Результат Y для гладкої плити та M_K для кромки зварного шва надає варіації у в процесі розростання тріщини углиб товщини матеріалу (див. рисунок В.7.(c)).

В.5 Інтеграція розростання тріщини

(1) Для загального випадку історії напружень змінної амплітуди повинен визначатися спектр напруження (див. 2.2.1). На практиці повний спектр повинен прикладатися як мінімум в 10-ти однакових послідовностях з однаковими діапазонами напружень та коефіцієнтами напруження R , але при одній десятій кількості циклів. Блок з найбільшим діапазоном напружень повинен прикладатися першим в кожній послідовності (див. рисунок А.3). Розростання тріщини, що збільшується, вираховується за допомогою полігону розростання тріщини для відповідного коефіцієнту напруження R для кожного блоку циклів напружень постійної амплітуди.

(2) Якщо невідомий дійсний шлях залишкового напруження, то поблизу зварних швів необхідно використовувати високий коефіцієнт напруження R ($R = 0,8$) або криву постійного розростання тріщини K_{max} .

(3) Довжина тріщини ' a ' інтегрується на цю основу до досягнення максимального розміру тріщини a_2 та підрахування числових значень.

В.6 Оцінка максимального розміру тріщини a_2

(1) Ця величина зазвичай визначається на основі пластичного розриву робочого перерізу під максимальним прикладеним розтягуючим навантаженням з відповідним

adjustment for the local stress concentration effect can be made using the magnification factor M_K (see Figure B.7(b)).

NOTE: For further information on published solutions see Bibliography B.1 and B.5.

(4) The product of Y for the plain plate and M_K for the weld toe gives the variation of y as the crack grows through the thickness of the material (see Figure B.7.(c)).

В.5 Integration of crack growth

(1) For the general case of a variable amplitude stress history, a stress spectrum has to be derived (see 2.2.1). In practice the complete spectrum should be applied in at least 10 identical sequences with the same stress ranges and R ratios, but with one tenth of the number of cycles. The block with the greatest stress range should be applied first in each sequence (see Figure A.3). The incremental crack growth is calculated using the crack growth polygon for the appropriate R -ratio, for each block of constant amplitude stress cycles.

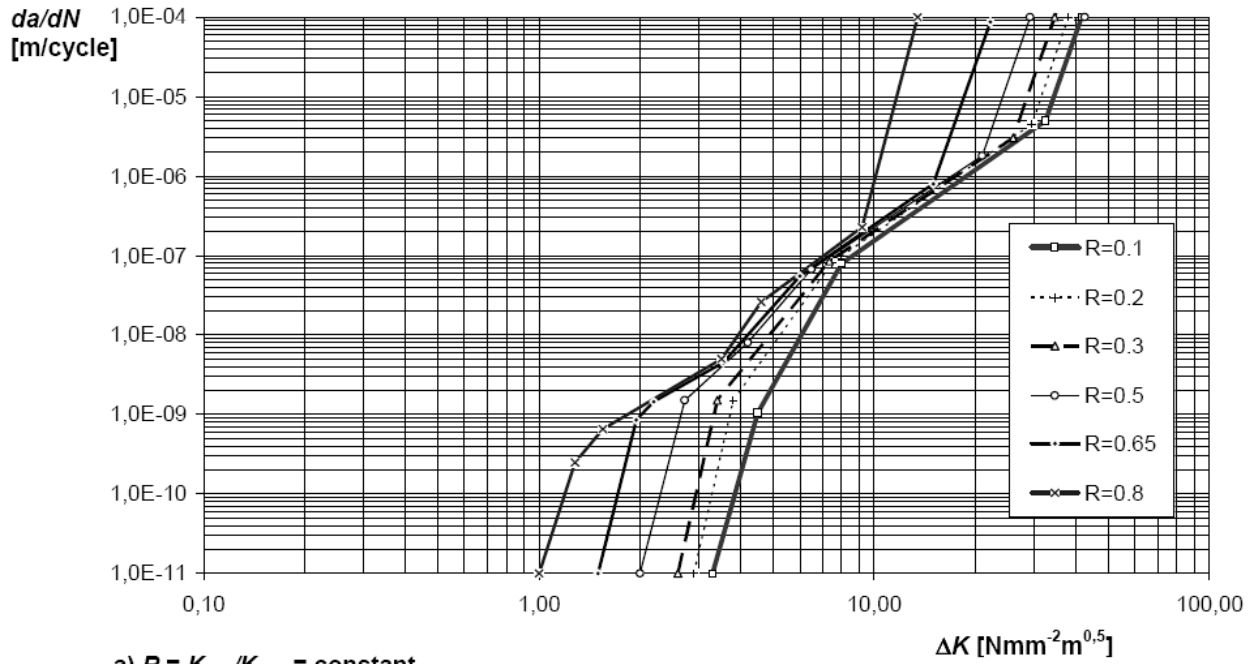
(2) In the region of welds, unless the residual stress pattern is actually known, either a high R -ratio ($R = 0,8$) or a K_{max} constant crack growth curve should be used.

(3) The crack length ' a ' is integrated on this basis until the maximum required crack size a_2 is reached and the numbers calculated.

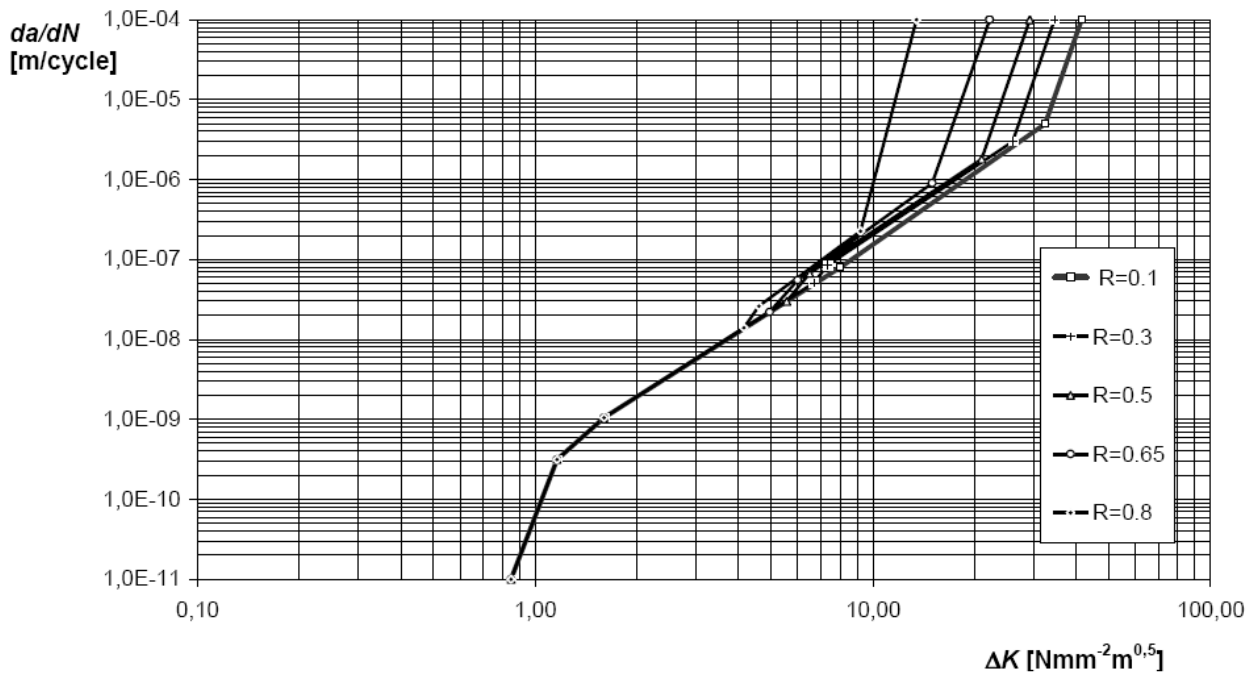
В.6 Assessment of maximum crack size a_2

(1) This will usually be determined on the basis of net section ductile tearing under the maximum applied tensile action with the appropriate partial factor, see EN 1999-1-1.

частковим коефіцієнтом, див. EN 1999-1-1.



a) $R = K_{min}/K_{max} = \text{constant}$



b) $K_{max} = 10 Nmm^{-2}m^{0,5}$

Рисунок В.3 – Типове розростання втомної тріщини алюмінієвого сплаву EN AW-6005A T6 LT

Figure В.3 – Typical fatigue crack growth curves for aluminium alloy EN AW-6005A T6 LT

Таблиця В.1(а) – Значення рівня розростання втовної тріщини для EN AW-6005A T6 LT, $R = K_{\min} / K_{\max} = \text{constant}$

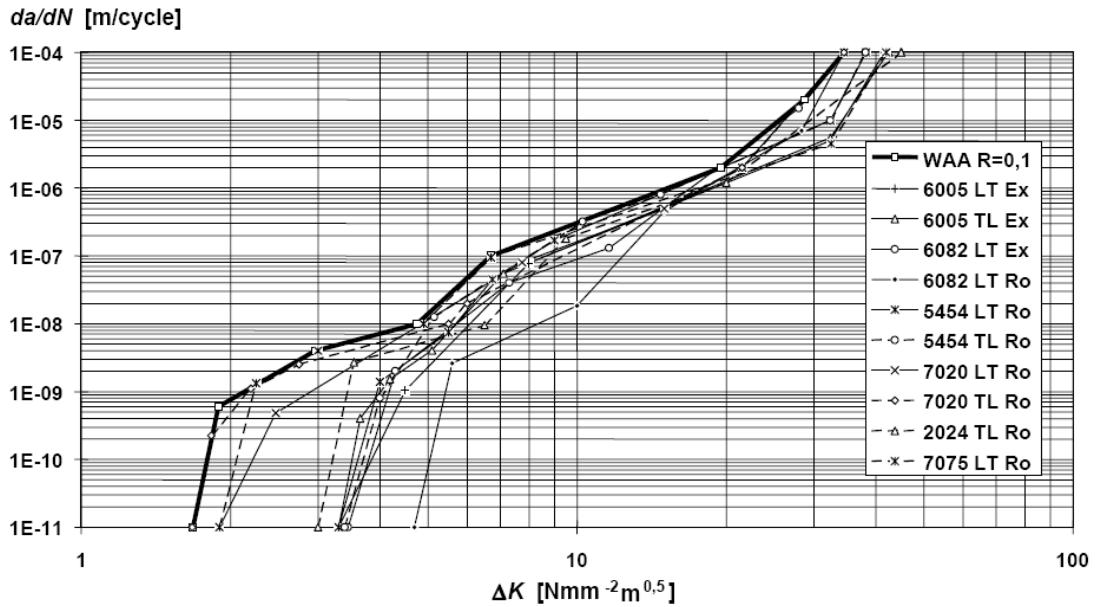
Table В.1(а) – Fatigue crack growth rate data for EN AW-6005A T6 LT, $R = K_{\min} / K_{\max} = \text{constant}$

коефіцієнт напруження R R -ratio	Інтенсивність напруження ΔK [Нмм ⁻² м ^{0,5}] Stress intensity ΔK [Nmm ⁻² м ^{0,5}]	m	A	коефіцієнт напруження R R -ratio	Інтенсивність напруження ΔK [Нмм ⁻² м ^{0,5}] Stress intensity ΔK [Nmm ⁻² м ^{0,5}]	m	A
0,100	3,30	15,00	1,65789E-19	0,500	2,00	16,29	1,24322E-16
	4,50	7,52	1,29310E-14		2,72	3,85	3,17444E-11
	8,00	2,96	1,67380E-10		4,20	4,87	7,41477E-12
	32,4	12,0	4,10031E-24		6,50	2,81	3,50674E-10
	41,61	12,0	4,10031E-24		21,00	12,23	1,21158E-22
	60,00	12,0	4,10031E-24		29,17	12,23	1,21158E-22
0,200	2,90	18,53	2,67965E-20	0,650	42,50	12,23	1,21158E-22
	3,80	5,87	5,94979E-13		1,50	16,93	1,04285E-14
	7,50	2,93	2,22754E-10		1,95	4,43	4,41861E-11
	29,60	12,43	2,25338E-24		2,20	2,39	2,20681E-10
	37,98	12,43	2,25338E-24		3,55	4,77	1,06838E-11
	55,00	12,43	2,25338E-24		6,00	3,05	2,32639E-10
0,300	2,60	18,67	1,77471E-19	0,800	15,00	12,00	6,08450E-21
	3,40	5,24	2,47080E-12		22,18	12,00	6,08450E-21
	7,35	2,82	3,06087E-10		1,00	13,03	9,99999E-12
	26,00	12,40	8,41151E-24		1,28	4,99	7,28970E-11
	34,49	12,40	8,41151E-24		1,55	2,50	2,16851E-11
	50,00	12,40	8,41151E-24		3,50	6,03	2,61124E-12
				4,60	3,12	2,22506E-10	
				9,20	15,93	9,83032E-23	
				13,48	15,93	9,83032E-23	

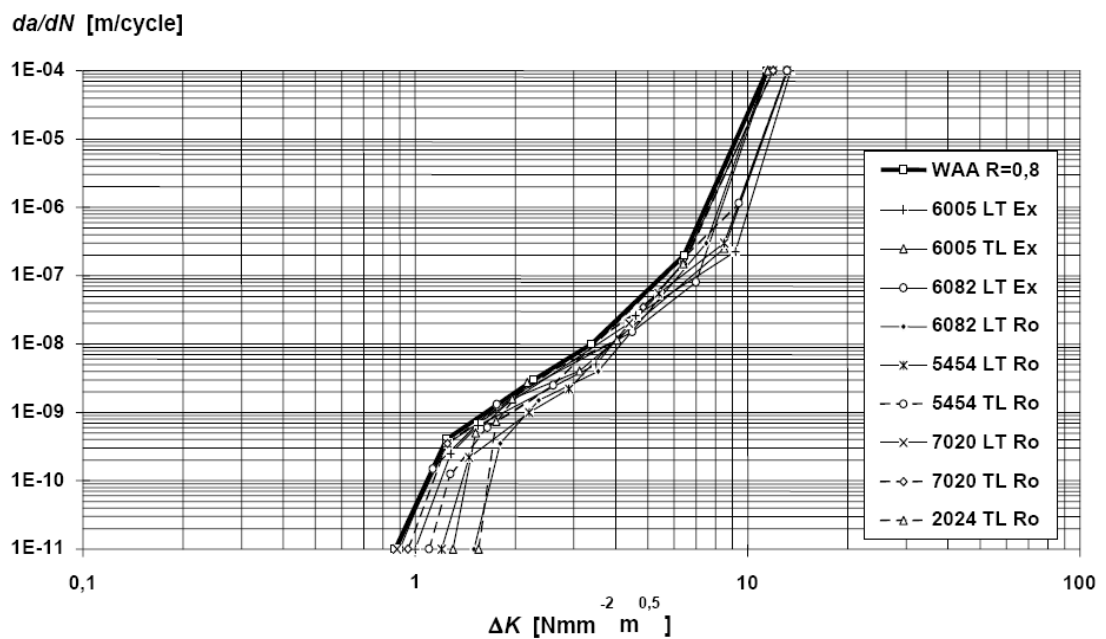
Таблиця В.1(б) – Значення рівня розростання втомної тріщини для EN AW-6005A-T6 LT, $K_{max} = 10 \text{ Нмм}^{-2}\text{м}^{0,5} = \text{constant}$

Table В.1(б) – Fatigue crack growth rate data for EN AW-6005A-T6 LT, $K_{max} = 10 \text{ Nmm}^{-2}\text{m}^{0,5} = \text{constant}$

коефіцієнт напруження R R -ratio	Інтенсивність напруження ΔK [Нмм ⁻² м ^{0,5}] Stress intensity ΔK [Nmm ⁻² m ^{0,5}]	m	A	коефіцієнт напруження R R -ratio	Інтенсивність напруження ΔK [Нмм ⁻² м ^{0,5}] Stress intensity ΔK [Nmm ⁻² m ^{0,5}]	m	A
0,100	0,85	11,09	6,06810E-11	0,500	0,85	11,09	6,06910E-11
	1,16	3,74	1,80712E-10		1,16	3,74	1,80712E-10
	1,60	2,69	2,96984E-10		1,60	2,70	2,95817E-10
	8,00	2,96	1,67380E-10		5,55	5,09	4,92250E-12
	32,40	12,0	4,10322E-24		6,50	2,81	3,50674E-10
	41,61	12,0	4,10322E-24		21,00	12,20	1,20951E-22
					29,17	12,20	1,20951E-22
0,300	0,85	11,09	6,06910E-11	0,650	0,85	11,09	6,06910E-11
	1,16	3,74	1,80712E-10		1,16	3,74	1,80712E-10
	1,60	2,71	2,93585E-10		1,60	2,69	2,96037E-10
	6,70	5,52	1,41317E-12		4,95	4,76	1,08127E-11
	7,35	2,82	3,06087E-10		6,00	3,05	2,32639E-10
	26,00	12,40	8,42100E-24		15,00	12,04	6,08100E-21
	34,49	12,40	8,42100E-24		22,18	12,04	6,08100E-21
			0,800	0,85	11,09	6,06910E-11	
				1,16	3,74	1,80712E-10	
				1,60	2,72	2,92718E-10	
				4,15	6,01	2,68983E-10	
				4,60	3,12	2,22506E-10	
				9,20	15,93	9,81913E-23	
				13,48	15,93	9,81913E-23	



a) $R = 0,1$



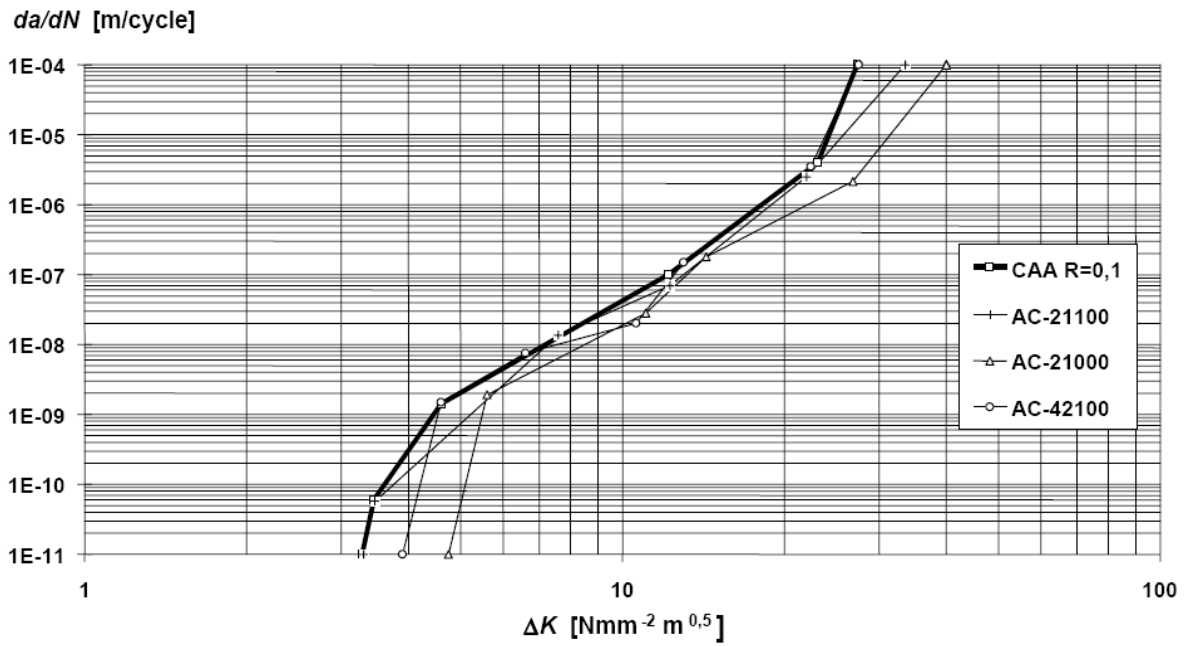
b) $R = 0,8$

Рисунок В.4 – Криві типового рівня розростання втомної тріщини для різних деформованих сплавів

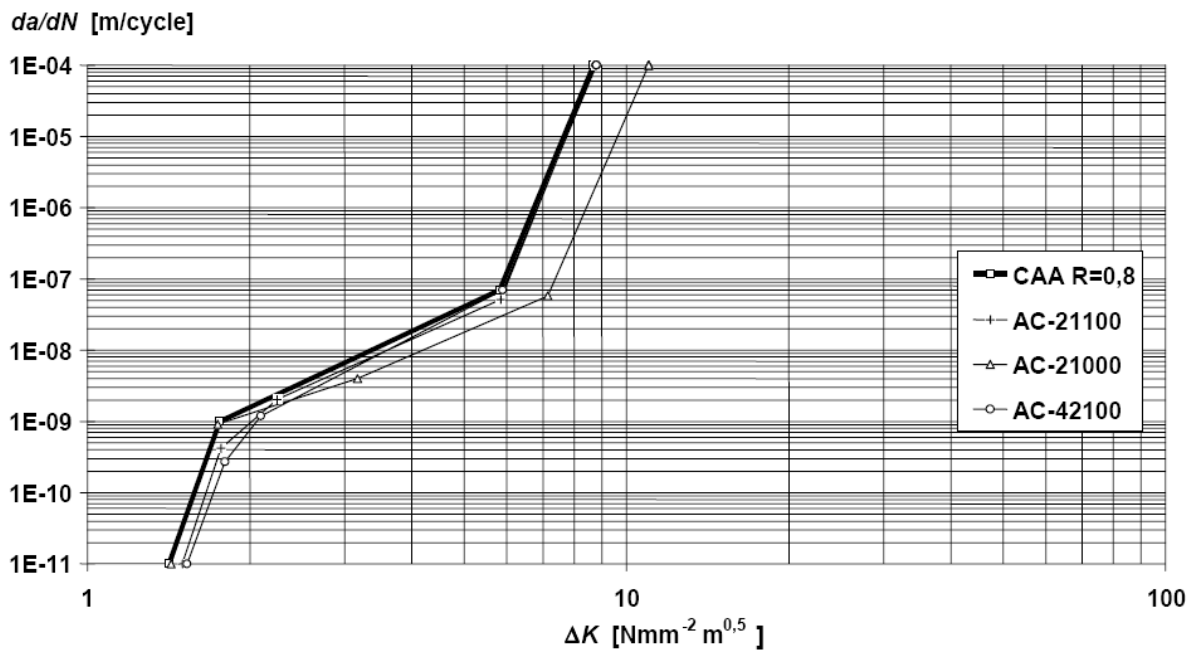
Figure В.4 – Typical fatigue crack growth rate curves for various wrought alloys

Примітка. Сплави 2024 TL R_0 та 7075 LT R_0 не рекомендуються для будівель та робіт цивільного проектування. Вони надані для порівняння.

NOTE: The alloys 2024 TL R_0 and 7075 LT R_0 are not recommended for buildings and civil engineering works. They are given here for comparative reasons.



a) $R = 0,1$



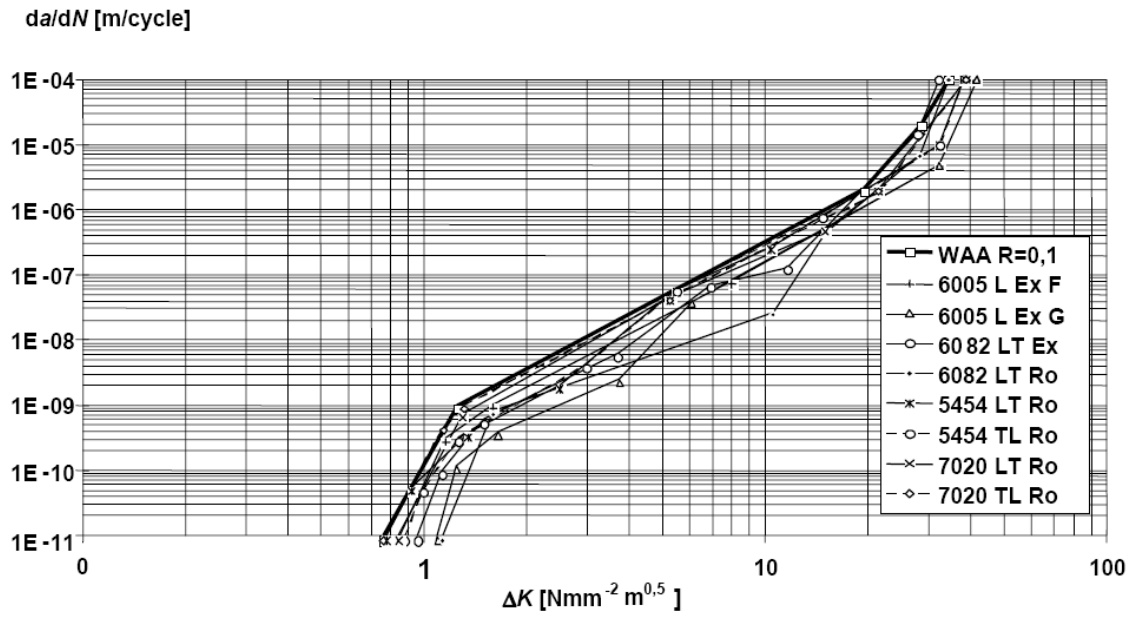
b) $R = 0,8$

Рисунок В.5 – Криві типового розростання втомної тріщини для різних ливарних сплавів

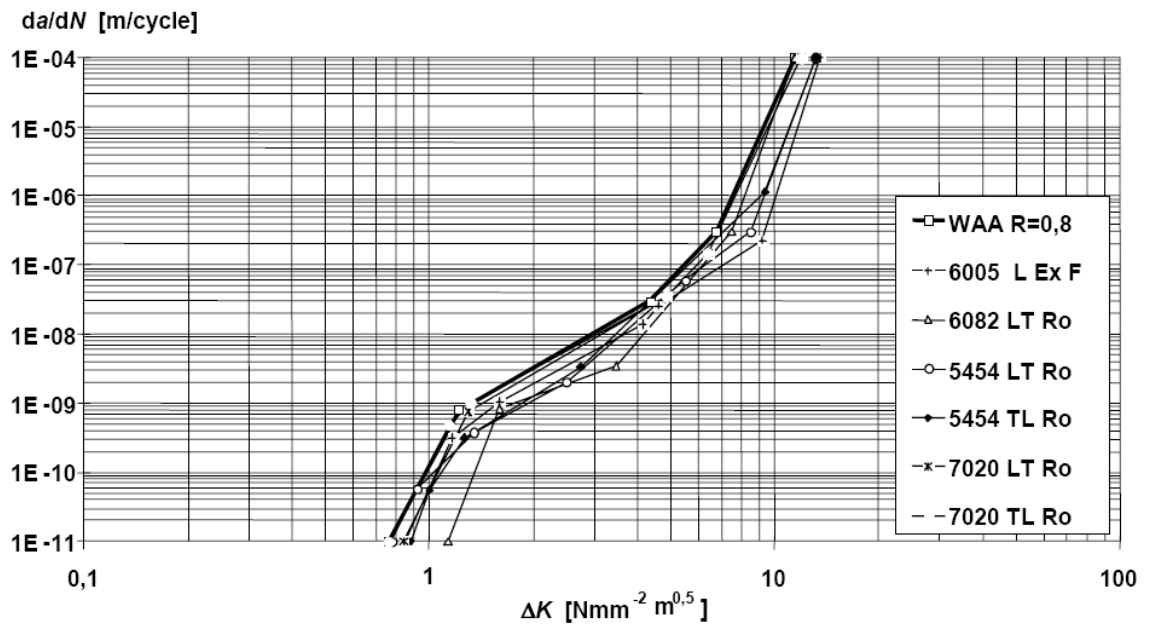
Figure В.5 – Typical fatigue crack growth curves for various cast alloys

Примітка. Сплави AC-21100 та AC-211000 не рекомендуються для будівель та робіт цивільного проектування. Вони надані для порівняння.

NOTE: The alloys AC-21100 and AC-211000 are not recommended for buildings and civil engineering works. They are given here for comparative reasons.



a) $R = 0,1; K_{max} = 10 \text{ Nmm}^{-2} \text{m}^{0,5}$



b) $R = 0,8; K_{max} = 10 \text{ Nmm}^{-2} \text{m}^{0,5}$

Рисунок В.6 – Криві типового розростання втомної тріщини для різних деформованих сплавів

Figure В.6 – Typical fatigue crack growth curves for various wrought alloys

Таблиця В.2 – Значення рівню розростання втомної тріщини для деформованих сплавів
 $R = K_{\min} / K_{\max} = \text{constant}$

Table В.2 – Fatigue crack growth rate data for wrought alloys, $R = K_{\min} / K_{\max} = \text{constant}$

коефіцієнт напруження R R -ratio	Інтенсивність напруження ΔK [Нмм ⁻² м ^{0,5}] Stress intensity ΔK [Nmm ⁻² m ^{0,5}]	m	A
а) 0,100	1,68	34,8	1,47182E-19
	1,89	4,23	4,06474E-11
	2,96	1,94	4,88644E-10
	4,75	6,69	2,95135E-13
	6,70	2,80	4,82538E-10
	19,51	5,96	4,12350E-14
	28,70	8,74	3,57541E-18
b) 0,800	34,50	8,74	3,57541E-18
	0,87	10,43	4,27579E-11
	1,24	3,33	1,95935E-10
	2,27	2,98	2,60324E-10
	3,40	4,69	3,24644E-11
	6,44	10,8	3,73040E-16
	11,45	10,8	3,73040E-16

Примітка. Ці значення є верхніми границями поверхні, що отримані з кривих на рисунках В.4(а) та (b).

NOTE: These values are upper bound envelopes derived from curves in Figure B.4(a) and (b).

Таблиця В.3 – Рівень розростання втомної тріщини для ливарних сплавів,
 $R = K_{\min} / K_{\max} = \text{constant}$

Table В.3 – Fatigue crack growth rate cast alloys, $R = K_{\min} / K_{\max} = \text{constant}$

коефіцієнт напруження R R -ratio	Інтенсивність напруження ΔK [Нмм ⁻² м ^{0,5}] Stress Intensity ΔK [Nmm ⁻² m ^{0,5}]	m	A
а) 0,100	3,28	35,46	5,10219E-30
	3,45	11,01	7,18429E-17
	4,60	4,37	1,82159E-12
	12,18	5,78	5,37156E-14
	23,07	19,12	3,47503E-32
	27,30	19,12	3,47503E-32
b) 0,800	1,42	21,24	6,08486E-15
	1,76	3,55	1,34235E-10
	5,82	18,1	1,05480E-21
	8,70	18,1	1,05480E-21

Примітка. Ці значення є верхніми границями поверхні, що отримані з кривих на рисунках В.5(а) та (b).

NOTE: Values are upper bound envelopes derived from curves in Figure B.5(a) and (b).

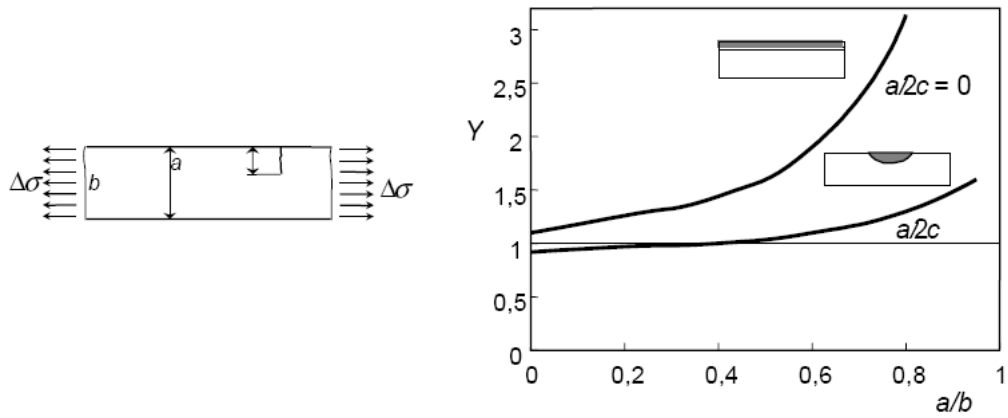
Таблиця В.4 – Рівень розростання втовної тріщини для деформованих сплавів
 $K_{\max} = 10 \text{ Nmm}^{-2}\text{m}^{0,5} = \text{constant}$

Table В.4 – Fatigue crack growth rate data for wrought alloys, $K_{\max} = 10 \text{ Nmm}^{-2}\text{m}^{0,5} = \text{constant}$

коефіцієнт напруження <i>R</i>	Інтенсивність напруження ΔK [Нмм ⁻² м ^{0,5}]	<i>m</i>	<i>A</i>
<i>R</i> -ratio	Stress Intensity ΔK [Nmm ⁻² m ^{0,5}]		
0,100	0,76	9,13	1,21148E-10
	1,26	2,77	5,26618E-10
	19,50	5,95	4,18975E-14
	28,71	8,79	3,07173E-18
	34,48	8,79	3,07173E-18
0,800	0,76	9,27	1,27475E-10
	1,22	2,84	4,56026E-10
	4,37	5,28	1,24266E-11
	6,76	11,02	2,12818E-16
	11,45	11,02	2,12818E-16

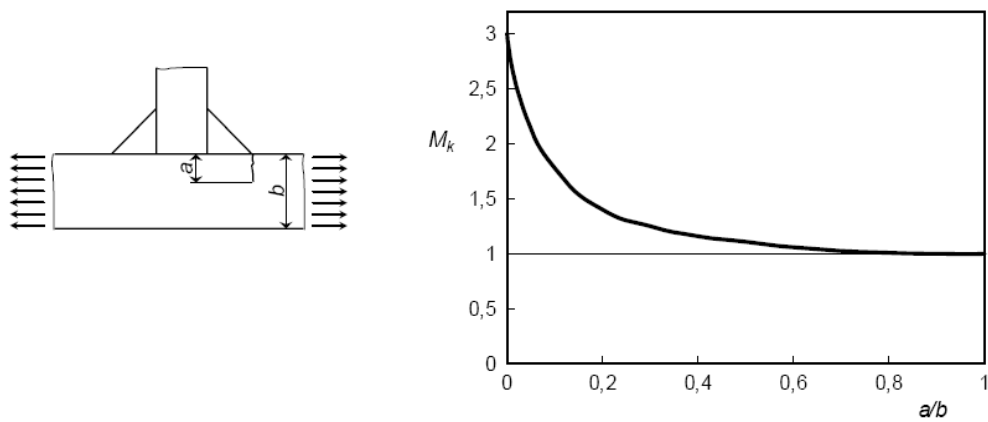
Примітка. Ці значення є верхніми границями поверхні, що отримані з кривих на рисунках В.6(а) та (b).

NOTE: Values are upper bound envelopes derived from curves in Figure В.6(a) and (b).



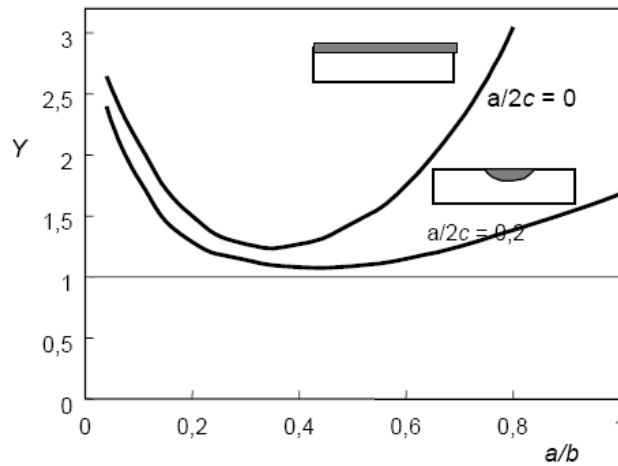
а) Значення Y для гладкої плити; a/b = коефіцієнт глибини тріщини

a) Y value for plain plate; a/b = crack depth ratio



б) Значення M_k для концентрацій напружень на кромці зварного шва

b) M_k value for weld toe stress concentration



в) Значення Y для зварного шва

c) Y values for welded joint

Рисунок В.7 – Використання типових стандартних геометричних вирішень для Y та M_k

Figure В.7 – Use of typical standard geometry solutions for Y and M_k

**ДОДАТОК С
(ДОВІДКОВИЙ)
ВИПРОБУВАННЯ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ
НА ВТОМУ**

С.1 Загальні положення

(1) Якщо немає достатньої кількості даних для повної перевірки конструкції за допомогою розрахунків у відповідності з 2.2.1 та 2.2.2, повинні бути наведені додаткові підтвердження, отримані за допомогою спеціальної програми випробувань. У цьому випадку дані випробувань можуть бути потрібні з однієї з наступних причин:

- a) Немає історії або спектру прикладеного навантаження для одиничного або багаторазового навантаження, і неможливо визначити їх за допомогою практичних методів або конструкційних розрахунків (див. 2.3.1 та 2.3.2). Особливо це може стосуватися рухомих конструкцій, що зазнають гідравлічного або аеродинамічного навантаження, в яких можуть виникнути динамічні або резонансні ефекти;
- b) геометричні характеристики конструкції настільки складні, що неможливо оцінити сили в елементі або зони місцевих напружень за допомогою практичних методів або розрахунків (див. 5.2 та 5.4);
- c) матеріали, просторові деталі або методи виробництва елементів з'єднань відрізняються від наданих в таблицях деталізованих категорій;
- d) дані щодо розростання тріщини необхідні для перевірки проектування з урахуванням допустимих руйнувань

(2) Випробування можуть проводитися на цілих прототипах, на конструкціях, еквівалентних конструкціям, що мають бути побудовані, або на їх частинах. Інформація, що отримана з випробувань, повинна враховувати ступінь, до якого навантаження, матеріали, конструкційні деталі та методи виробництва випробовуваної конструкції або елементів відповідають конструкції, що має бути

**ANNEX C
[INFORMATIVE]
TESTING FOR FATIGUE DESIGN**

C.1 General

(1) Where there are insufficient data for complete verification of a structure by calculations in accordance with 2.2.1 or 2.2.2, supplementary evidence should be provided by a specific testing programme. In this case test data may be required for one or more of the following reasons:

- a) The applied load history or spectrum, for either single or multiple loads, is not available and is beyond practical methods of structural calculations (see 2.3.1 and 2.3.2). This may apply particularly to moving, hydraulically or aerodynamically loaded structures where dynamic or resonance effects can occur;
- b) the geometry of the structure is so complex that estimates of member forces or local stress fields can not be obtained by practical methods of calculations (see 5.2 and 5.4);
- c) the materials, dimensional details, or methods of manufacture of members or joints are different from those given in detail category tables;
- d) crack growth data are needed for damage tolerant design verification.

(2) Testing may be carried out on complete prototypes, on structures equal to the one to be built or on component parts thereof. The type of information being derived from the test should take into account the degree to which the loading, materials, constructional details and methods of manufacture of the test structure or components thereof reflect the structure to be built.

побудована.

(3) Дані випробувань можуть використовуватися замість стандартних даних лише тоді, коли вони отримані та застосовані у відповідності з контрольними методиками.

С.2 Отримання значень дійсних навантажень

С.2.1 Зафіксовані конструкції, що зазнають механічного впливу

(1) Сюди відносяться такі конструкції, як мости, підкранові балки та опори машинного обладнання. Подібні конструкції, що зазнають таких самих навантажень, можуть використовуватися для отримання амплітуди, фаз та частоти прикладених навантажень.

(2) Тензометричні датчики, датчики деформацій та прискорення, закріплені до обраних компонентів, які були калібровані при прикладених навантаженнях, можуть записувати шлях зусилля за типовий робочий період конструкції, використовуючи аналогове або цифрове обладнання збору даних. Елементи повинні бути обрані таким чином, щоб основні компоненти навантаження могли бути виведені незалежно від використання коефіцієнтів впливу, отриманих з навантажень калібрування.

(3) Альтернативні датчики навантаження можуть бути вбудовані у контактну поверхню між прикладеним навантаженням та конструкцією, а неперервний запис, може бути отриманий за допомогою використання такого ж самого обладнання.

(4) Маса, жорсткість та логарифмічний декремент випробовуваної конструкції повинні складати до 30% цих показників кінцевого розрахунку, а власна частота режимів роботи, яка спричиняє найбільші деформаційні коливання, повинна складати до 10%. У іншому випадку реакція на навантаження повинна бути послідовно перевірена на конструкції, створеній відповідно до кінцевого розрахунку.

(5) Частотна складова спектру

(3) Test data should only be used in lieu of standard data if it is obtained and applied using controlled procedures.

С.2 Derivation of action loading data

С.2.1 Fixed structures subject to mechanical action

(1) This includes structures such as bridges, crane girders and machinery supports. Existing similar structures subject to the same loading sources may be used to obtain the amplitude, phasing and frequency of the applied loads.

(2) Strain, deflection or acceleration transducers fixed to selected components which have been calibrated under known applied loads can record the force pattern over a typical working period of the structure, using analog or digital data acquisition equipment. The components should be selected in such a way that the main load components can be independently deduced using the influence coefficients obtained from the calibration loads.

(3) Alternatively load cells can be mounted at the interfaces between the applied load and the structure and a continuous record obtained using the same equipment.

(4) The mass, stiffness and logarithmic decrement of the test structure should be within 30% of that in the final design and the natural frequency of the modes giving rise to the greatest strain fluctuations should be within 10%. If this is not the case the loading response should be subsequently verified on a structure made to the final design.

(5) The frequency component of the load

навантаження, отримана з робочого періоду, повинна бути помножена на співвідношення терміну служби та робочого періоду для отримання спектру кінцевого розрахунку. Також при потребі необхідно робити допущення збільшення інтенсивності або частоти, або статистичної екстраполяції з виміряного періоду до терміну служби.

C.2.2 Зафіксовані конструкції, що зазнають впливу умов зовнішнього середовища

(2) Рекомендується послідовна перевірка навантаження на конструкції до кінцевого розрахунку, якщо початкові дані навантаження отримані з конструкцій з власною частотою або різницею амортизації більше, ніж 10%, або якщо форма поперечного перерізу не є ідентичною.

(3) Спектр кінцевого розрахунку може бути отриманий в показниках напрямку, інтенсивності та частоти навантаження, при можливості модифікацій за допомогою порівняння даних навантаження за період збору даних з метеорологічними записами, отриманими впродовж типового розрахункового терміну служби конструкції.

C.2.3 Рухомі конструкції

(1) Сюди входять такі конструкції, як мостові крани та інші конструкції на колесах, транспортні засоби та плаваючі конструкції. В таких типах конструкцій геометричні характеристики поверхні рухомої частини повинні бути адекватно визначені в показниках форми та амплітуди нерівностей поверхні та частоти, так як це має значний вплив на динамічне навантаження конструкції.

(2) Інші впливи навантажень, такі як завантаження та розвантаження, можуть вимірюватися за допомогою принципів, вказаних у C.2.1.

(3) Поверхні рухомої частини, такі як виготовлені для особливих цілей випробувальні шляхи, можуть використовуватися для отримання історій навантажень для розрахунків прототипів.

spectrum obtained from the working period should be multiplied by the ratio of the design life to the working period to obtain the final design spectrum. Allowance for growth in intensity or frequency, or statistical extrapolation from measured period to design life should also be made as required.

C.2.2 Fixed structures subject to actions due to exposure conditions

(2) It is recommended that the loading is subsequently verified on a structure to the final design if the original loading data are obtained from structures with a natural frequency or damping differing by more than 10%, or if the cross-sectional shape is not identical.

(3) A final design spectrum can be obtained in terms of direction, intensity and frequency of loading, suitably modified by comparing the loading data during the data collection period with the meteorological records obtained over a typical design life of the structure.

C.2.3 Moving structures

(1) This includes structures such as travelling cranes and other structures on wheels, vehicles and floating structures. In these types of structure the geometry of the riding surface should be adequately defined in terms of shape and amplitude of undulations and frequency, as this will have a significant effect on the dynamic loading on the structure.

(2) Other load effects such as cargo on and off loading can be measured using the principles outlined in C.2.1.

(3) Riding surfaces such as purpose-built test tracks may be used to obtain load histories for prototype designs. Load data from previous structures should be used with caution, as small differences, particularly in

Дані навантаження, що отримані з попередніх конструкцій, повинні застосовуватися з обережністю, так як невеликі відмінності, наприклад, в проектуванні візка, можуть значно змінити динамічну характеристику. Рекомендується перевірка навантаження у кінцевому розрахунку, якщо не приймається повна шкала випробувань на втому (див. С.3).

С.3 Отримання даних напруження

С.3.1 Дані випробувань окремих елементів конструкції

(1) Якщо наявні прості елементи, а компоненти основного зусилля можна легко підрахувати або виміряти, то доцільним є випробування елементів, що включають з'єднання або конструкційну деталь, що необхідно розрахувати.

(2) Відповідний зразок з такими ж розмірами, які використовуються в кінцевому розрахунку, повинен вимірюватися у відповідності з спрощеним розрахунком місцевого напруження (див. Додаток D), з використанням підходящого методу, такого як вимірювання за допомогою датчиків деформації електричного опору, картини муарових полос або температурної пружної техніки. Кінці елемента повинні знаходитися достатньо далеко від місця, яке необхідно випробувати, щоб місцеві ефекти в точці прикладання навантаження не впливали на розподіл напруження в точці. Складові зусилля та градієнти напруження в зоні, де необхідне випробування, повинні бути ідентичні до тих, що діють у всій конструкції.

(3) Коефіцієнти впливу можуть бути отримані з статично прикладених навантажень, які дозволять визначити шлях напруження для будь-якої комбінації складових навантаження. Якщо потрібно, коефіцієнти можуть бути отримані зі зразків зі зменшеними розмірами, при умові, що компонент у масштабі відповідає зразку.

С.3.2 Дані випробувань конструкції

(1) В певних типах конструкцій, таких як оболонкові конструкції, цілістність

bogie design for example, can substantially alter the dynamic response. It is recommended that loading is verified on the final design if full scale fatigue testing is not to be adopted (see C.3).

С.3 Derivation of stress data

С.3.1 Component test data

(1) Where simple members occur such that the main force components in the member can be calculated or measured easily it will be suitable to test components containing the joint or constructional detail to be analysed.

(2) A suitable specimen of identical dimensions to that used in the final design should be gauged according to the simplified geometric stress assessment (see Annex D) using a convenient method such as electric resistance strain gauges, moiré fringe patterns or thermal elastic techniques. The ends of the component should be sufficiently far from the local area of interest that the local effects at the point of application of the applied loads do not affect the distribution of stress at the point. The force components and the stress gradients in the region of interest should be identical to those in the whole structure.

(3) Influence coefficients can be obtained from statically applied loads which will enable the stress pattern to be determined for any desired combination of load component. If required the coefficients can be obtained from scaled down specimens, provided the whole component is scaled equally.

С.3.2 Structure test data

(1) In certain types of structure such as shell structures the continuity of the structural

конструкційного матеріалу може спричиняти неможливість ізоляції компонентів за допомогою простих прикладених зусиль. У цьому випадку дані напруження повинні отримуватися з прототипів або виробничих конструкцій

(2) Такі ж самі методи вимірювання можуть використовуватися для випробування компонентів. Для більшості випадків загального використання рекомендується прикладати статичні навантаження як незалежні складові, так, щоб напруження могли комбінуватися за допомогою коефіцієнтів індивідуального впливу для точки, на якій необхідне випробування. Навантаження повинне пройти крізь цикл перевірок в роботі перед отриманням значень коефіцієнта впливу.

C.3.3 Перевірка історії напруження

(1) Такий же метод, як описаний у C.3.2, може використовуватися для перевірки історії напружень на точці під час випробування зразка під певним навантаженням. У цьому випадку обладнання для збору даних, про яке йде мова у C.2.1, повинне використовуватися як для фіксування повної історії напружень, так і для операції підрахунку циклів. Остання може застосовуватися для передбачення терміну служби у випадку, коли обрана відповідна крива $\Delta\sigma - N$.

(2) Ще один варіант, який може бути використаний у разі відсутності чітких історій навантаження, це утримання приладу для підрахунку циклів постійно прикріпленим до конструкції під час функціонування.

C.4 Отримання значень довговічності

C.4.1 Випробування окремих елементів конструкції

(1) Якщо відомі дані щодо спектру зусиль або історії напружень, можна використовувати випробування окремих елементів конструкції для перевірки розрахунку критичних деталей конструкції. Елемент, що випробовується, повинен бути виготовлений з такими ж розмірами та за такою ж методикою, як компоненти, що

material may make it impracticable to isolate components with simple applied forces. In this case stress data should be obtained from prototypes or production structures.

(2) Similar methods for measurement may be used as for component testing. For most general use it is recommended that static loads are applied as independent components so that the stresses can be combined using the individual influence coefficients for the point of interest. The load should go through a shakedown cycle before obtaining the influence coefficient data.

C.3.3 Verification of stress history

(1) The same method as described in C.3.2 may be used to verify the stress history at a point during prototype testing under a specified loading. In this case data acquisition equipment as used in C.2.1 should be used to record either the full stress history or to perform a cycle counting operation. The latter can be used to predict life once the appropriate $\Delta\sigma - N$ curve has been chosen.

(2) A further option, which may be used in the case of uncertain load histories, is to keep the cycle counting device permanently attached to the structure in service.

C.4 Derivation of endurance data

C.4.1 Component testing

(1) Whenever force spectra or stress history data are known component testing can be done to verify the design of critical parts of the structure. The component to be tested should be manufactured to exactly the same dimensions and procedures as are intended to be used in the final design. All these aspects should be fully documented before

використовуються в кінцевому розрахунку. Усі ці аспекти повинні бути повністю задокументовані до виготовлення елемента для випробування. Також повинні бути задокументовані усі методи неруйнівних випробувань та критерії приймання.

(2) Зразки або елементи, що випробовуються, повинні піддаватися навантаженню таким чином, як зазначено у С.2.1. Тензометричні датчики, особливо у випадку з окремими елементами, повинні використовуватися для перевірки належного стану перемінних напружень. Розташування тензометричних датчиків повинне бути таким, щоб вони записували коректні параметри напруження. Якщо записується номінальне напруження, датчик повинен бути розташований як мінімум в 10 мм від будь-якої кромки зварного шва. Якщо наявний крутий градієнт напруження, повинні використовуватися три датчика для надання можливості інтерполяції.

(3) Отримання розрахункових даних зносостійкості за допомогою випробувань повинне проводитися у відповідності з тими ж методиками оцінки, що використовуються для визначення втомної міцності у 6.2. Зазвичай ці методики включають статистичну оцінку, що базується на вимірюванні середніх та стандартних відхилень логарифмічних циклів періоду експлуатації при допущенні нормального розподілу (залежна змінна) для заданих логарифмічних значень напруження (незалежна змінна), або лінійний регресивний аналіз $\log \Delta \sigma - \log N$ для різних діапазонів терміну служби, див. рисунок 6.1. Таким чином встановлюється середня лінія регресії або характеристична лінія регресії для можливості особливої довговічності (як правило, приблизно 97,7% або 2 стандартні відхилення від середньої). Характеристична лінія регресії, визначена так, як вказано вище, не повинна перевищувати 80% відповідного середнього значення напруження. Це дає можливість для існування більшої кількості варіацій в виробництві, ніж стандартне допущення одного набору втомних зразків.

(4) Необхідно пам'ятати, що спрощена

manufacture of the test component is carried out. In addition any method of non-destructive testing and the acceptance criteria should be documented, together with the inspector's report on the quality of the joints to be tested.

(2) The test specimens or components should be loaded in a similar manner to that described in C.2.1. Strain gauges, especially in the case of components, should be used to verify that the stress fluctuations are as required. The location of strain gauges should be such that they are recording the correct stress parameter. If the nominal stress is being recorded the gauge should be at least 10 mm from any weld toe. Where the stress gradient is steep three gauges should be used to enable interpolation to be carried out.

(3) Derivation of design endurance data from tests should follow the same statistical evaluation procedures as have been used for the establishment of the fatigue strength design values in 6.2. Usually this involves a statistical evaluation, based on estimates of mean and standard deviation, assuming a normal distribution, of observed logarithmic life cycles (dependent variable) for given logarithmic stress values (independent variable) or respectively a linear $\log \Delta \sigma - \log N$ regression analysis for the different life ranges, see Figure 6.1. Thereby a mean regression line or a characteristic regression line for a specific probability of survival (usually ca. 97,7% or at 2 standard deviations from the mean) will be established. For design purposes the latter is assumed parallel to the first. The characteristic regression line, defined as above, should not be greater than 80% of the corresponding mean strength value. This allows for wider variations in production than is normally expected in a single set of fatigue specimens.

(4) It should be kept in mind that this

методика отримання параметрів регресії часто застосовується незважаючи на те, що вона може бути ненадійною у випадку, якщо зразки малого розміру. Методика, вказана у С.4.3, надає вказівки щодо відповідних поправочних коефіцієнтів.

(5) Для проектування з урахуванням допустимих руйнувань необхідно отримувати запис розростання втомної тріщини з кількістю циклів.

(6) У якості альтернативи, якщо відома історія розрахункових напружень і є доступ до обладнання змінної амплітуди, зразок можна випробувати при історії напружень без використання коефіцієнтів.

C.4.2 Випробування в реальних умовах

(1) Випробування в реальних умовах можуть проводитися при існуючих умовах експлуатації або на випробувальному обладнанні з навантаженням на елементи, що прикладається за допомогою гідравлічних або інших методів контролю.

(2) Прикладені навантаження не повинні перевищувати номінальні навантаження.

(3) У разі, якщо експлуатаційні навантаження змінюються випадковим чином в границях, вони повинні бути представлені серіями еквівалентних навантажень, узгодженими між постачальником та замовником.

(4) У якості альтернативи, випробувальні навантаження можуть дорівнювати навантаженням, не помноженим на коефіцієнти.

(5) При прикладенні навантажень на зразки потрібно повністю відтворити умови прикладення навантажень, які очікуються для конструкції або елемента при експлуатації.

(6) Випробування повинні продовжуватися, поки не виникне руйнування, або поки зразок не втратить здатність опиратися повному випробувальному навантаженню через отримані пошкодження.

(7) Кількість разів прикладення випробувального навантаження до

simplified procedure of derivation of regression parameters is often applied although it may not be reliable in the case of small samples. For respective correction factors the procedures under C.4.3 give guidance.

(5) For damage tolerant design a record of fatigue crack growth with number of cycles should be obtained.

(6) Alternatively, if the design stress history is known and a variable amplitude facility is available the specimen may be tested under the un-factored stress history.

C.4.2 Full scale testing

(1) Full scale testing may be carried out under actual operating conditions, or in a testing facility with the test load on the components applied by hydraulic or other methods of control.

(2) The loads applied should not exceed the nominal loads.

(3) Where the service loads vary in a random manner between limits they should be represented by an equivalent series of loads agreed between the supplier and the purchaser.

(4) Alternatively, the test loads should equal the un-factored loads.

(5) The application of loads to the sample should reproduce exactly the application conditions expected for the structure or component in service.

(6) Testing should continue until fracture occurs or until the sample is incapable of resisting the full test load because of damage sustained.

(7) The number of applications of test load(s) to failure should be accurately counted

руйнування повинна бути точно підрахована та записана разом зі спостереженнями прогресуючого розвитку тріщин.

C.4.3 Приймання

(1) Критерії приймання залежать від того, чи повинна конструкція мати характеристики, які відповідають вимогам проектування, що забезпечує безпечний термін служби, див. пункти (2)-(7), або характеристики, що відповідають вимогам проектування з урахуванням допустимих руйнувань, див. пункт (11).

(2) Щодо приймання методу проектування, що забезпечує безпечний термін служби, строк служби до руйнування, який визначається через випробування, і за допомогою якого приймається в розрахунок доступна кількість результатів випробувань, повинен бути не менше, ніж розрахункова довговічність.

$$T_L = \frac{T_m}{F} \quad (\text{C.1})$$

де:

T_L – розрахунковий термін служби (у циклах)

T_m – середній термін служби до руйнування, який визначається за допомогою випробування (у циклах)

F – коефіцієнт випробування на втому, який залежить від доступної ефективної кількості результатів випробувань, як вказано у табл. С.1.

(3) При оцінці значень коефіцієнту F застосовуються наступні загальні статистичні принципи та допущення. Характеристичне статистичне значення отримується за допомогою наступного виразу:

$$\chi_c = \mu - K\sigma \quad (\text{C.2})$$

де K залежить від розподілу вірогідності та необхідної вірогідної довговічності конструкції з середнім μ та стандартним відхиленням σ . На практиці для зразка розміру n можуть бути підраховані лише оцінки середнього та стандартного

and recorded with observations of the progressive development of cracks.

C.4.3 Acceptance

(1) The criterion for acceptance depends upon whether the structure is required to give a safe life performance, see statements (2) to (7), or damage tolerance performance, see statement (11).

(2) For acceptance of a safe life design, the life to failure determined by test, adjusted to take account of the number of test results available, should not be less than the design life (defined in A.2.1) as follows:

where:

T_L is the design life (in cycles);

T_m is the mean life to failure determined by test (in cycles);

F is the fatigue test factor dependent upon the effective number of test results available, as defined in Table C.1.

(3) In estimating F factor values the following general statistical principles and assumptions apply. A characteristic statistical value is obtained by the expression

where K depends on the probability distribution and the required probability of survival for a statistical distribution with the mean μ and standard deviation σ . In practice only estimates for the mean and standard deviation, i.e. \bar{x}_m and s respectively, may be

відхилення, наприклад, x_m та s відповідно. Також повинні застосовуватися поправочні коефіцієнти, які виражають довірчі інтервали середнього та змінного (або стандартного відхилення). Попереднє співвідношення може бути виражене наступним виразом:

$$x_c = x_m - k \cdot s \quad (C.3)$$

де:

$$k = k_1 k_2 + k_3$$

k_1 – це теоретичне значення розподілу, що відноситься до конкретної вірогідної довговічності;

k_2 – поправка для довірчого інтервалу стандартного відхилення;

k_3 – поправка для довірчого інтервалу середнього відхилення;

k_2 та k_3 залежать від стандартного відхилення s , розміру зразку n та заданого рівня довіри.

У загальному випадку

$$k = k_1 k_2 + k_3 = z_{(1-\alpha/2)} \cdot \sqrt{\frac{n}{\chi^2_{(\alpha/2, n-1)}} + \frac{t_{(1-\alpha/2, n-1)}}{\sqrt{n}}} \quad (C.4)$$

де:

n – розмір зразку;

α – довірчий рівень значення вірогідності (у випадку нормального розподілу);

$z_{(1-\alpha/2)}$ – значення вірогідного нормального розподілу з заданою вірогідністю довговічності $(1-\alpha/2)$, відповідне до двосторонньої вірогідності $(1-\alpha)$;

$\chi^2_{(\alpha/2, n-1)}$ – вірогідний розподіл за критерієм хі-квадрат для заданого довірчого інтервалу $\alpha/2$ та $n-1$ числа ступенів свободи;

$t_{(1-\alpha/2, n-1)}$ – значення t -вірогідності розподілу для заданої вірогідності $(1-\alpha/2)$, у відповідності до двосторонньої вірогідності $(1-\alpha)$ та $n-1$ числа ступенів свободи;

Для даних правил робляться наступні допущення:

– значення стандартного відхилення

calculated for a sample size n . Accordingly correction factors expressing the confidence intervals of both the mean and the variance (or standard deviation) have to be applied. The previous relationship may be thus expressed as

where:

$$k = k_1 k_2 + k_3$$

k_1 the theoretical value of the distribution belonging to a specific probability of survival;

k_2 the correction for the confidence interval of the standard deviation;

k_3 the correction for the confidence interval of the mean;

k_2 and k_3 are dependent on the standard deviation s , sample size n , and on the prescribed level of confidence.

In the general case

where:

n is the sample size;

α is the confidence level or probability value (in case of normal distribution);

$z_{(1-\alpha/2)}$ is the value of the normal probability distribution with given probability of survival $(1-\alpha/2)$, corresponding to a two-sided-probability of $(1-\alpha)$;

$\chi^2_{(\alpha/2, n-1)}$ is the value of the chi-square probability distribution for a given confidence interval of $\alpha/2$ and $n-1$ degrees of freedom;

$t_{(1-\alpha/2, n-1)}$ is the value of the t -probability distribution for a given probability $(1-\alpha/2)$, corresponding to a two sided probability of $(1-\alpha)$ and $n-1$ degrees of freedom.

For the purpose of these rules the following assumptions are made:

– the standard deviation value is known

відоме з попереднього досвіду, тобто базується на достатньо великому зразку;

- розмір, це дозволяє встановити k_2 в поєднанні;
- у достатньому обсязі відомий основний розподіл або немає значних відхилень від нормального розподілу;
- в поправці для довірчого інтервалу середнього відхилення t-розподіл може бути замінений на нормальний розподіл.

(4) У загальному випадку усі зразки випробовуються до руйнування, при цьому вираз (С.3) перетворюється на:

$$k = k_1 + k_3 = z_{(1-\alpha/2)} + \frac{z_{(1-\alpha/2)}}{\sqrt{n}} \quad (\text{C.5})$$

(5) У випадку, коли зразки одночасно випробовуються до руйнування першого зразка для оцінки k допускається наступне:

- в результаті довговічність першого зразка, що відноситься до T_L з виразу (С.1), буде залежати від верхньої границі відповідного розподілу.
- необхідна або розрахункова довговічність, що відноситься до T_m з виразу (С.1), буде на найнижчій границі розподілу.

Нижня границя отримується з $x_m - k_1 s$, при цьому k_1 відповідає виразу (С.4). Верхня границя отримується відповідно з $x_m + k_4 s$. Відповідне значення k_4 визначається з урахуванням припущення того, що якщо вірогідна довговічність одного зразка, руйнування якого виникло при відповідному терміні служби, дорівнює P , то вірогідна довговічність n зразків на такому ж рівні буде дорівнювати P^n . У цілях безпеки визначається достатньо низький рівень $P^n = c$, а k_4 визначається з допомогою значення нормального розподілу при вірогідності $c^{1/n}$ для відповідних значень n .

Коефіцієнт k підраховується таким чином:

from previous experience, i.e. based on a sufficiently large sample;

- size, this allows k_2 to be set to unity;
- sufficient knowledge of the underlying distribution is available or no significant deviation from the normal distribution and;
- in the correction for the confidence interval for the mean the t-distribution may be replaced by the normal distribution.

(4) In the general case of more specimens all tested to failure expression (C.3) then becomes

$$k = k_1 + k_3 = z_{(1-\alpha/2)} + \frac{z_{(1-\alpha/2)}}{\sqrt{n}} \quad (\text{C.5})$$

(5) In the case of more specimens simultaneously tested until failure of first specimen and in order to estimate k , it is assumed that:

- The resulting life of the first specimen – relating to T_L from expression (C.1) – will lie on the upper boundary of the respective distribution;
- the required or design life – relating to T_m from expression (C.1) – will be at the lower boundary of the distribution.

The lower boundary will be derived from $x_m - k_1 s$, with k_1 according to expression (C.4). The upper boundary will be derived correspondingly from $x_m + k_4 s$. The appropriate value of k_4 is calculated from the assumption that if the probability of survival of one specimen, failing at the corresponding life, is P , then the probability of survival of n specimens at the same level will be P^n . To be on the safe side a sufficiently low value for $P^n = c$ will be defined, and k_4 is calculated from the normal distribution at $c^{1/n}$ probability for corresponding values n .

The factor k is then calculated from

$$k = k_1 + k_2 = z_{(1-\alpha/2)} + z_p \quad (C.6)$$

(6) З виразу (C.1) отримуємо наступний вираз:

$$\log T_L = \log T_m - \log F \quad (C.7)$$

Який при порівнянні з виразом (C.2) дає:

which by comparison to expression (C.2) gives

$$\log F = k \cdot s \text{ або (or)} \quad (C.8)$$

$$F = 10^{ks} \quad (C.9)$$

та F з таблиці C.1

and F from Table C.1.

(7) Повинна бути визначена величина стандартного відхилення. Попередній досвід з подібними конструктивними випадками може забезпечити більш надійні значення. Доступна інформація (Посилання C.1 та C.2) надає спектр різних стандартних величин відхилень $s_{\log \Delta \sigma}$ для різних алюмінієвих зварних конструкційних деталей. Вони можуть бути змінені за допомогою відповідних середніх нахилів лінії регресії $m = 4$ до значень $s_{\log N}$ для діапазону довговічності до втомної границі постійної амплітуди 5×10^6 циклів. Для досягнення довговічності до 10^8 циклів може бути доцільним використання більших діапазонів значень відповідно до нахилу $m + 2$. Після досягнення цієї межі необхідний особливий розгляд.

(7) The value of the standard deviation has to be estimated. Previous experience with similar structural cases provides more reliable values. Data available (References C.1 and C.2) for various aluminium welded constructional details give a range of different standard deviation values $s_{\log \Delta \sigma}$. These may be transformed by the respective average regression line slope of $m = 4$ to values $s_{\log N}$ for the life range up to the constant amplitude fatigue limit of 5×10^6 cycles. For lives up to 10^8 cycles it may be appropriate to use larger scatter values according to the slope $m + 2$. Special considerations will be needed beyond this limit.

(8) Значення F , визначені на основі вищевказаних статистичних співвідношень, надані в таблиці C.1.

(8) The values F calculated on the basis of the above statistical relations and given in Table C.1.

(9) Значення в таблиці C.1 базуються на вірогідній довговічності 95% та довірчому рівні 0,95 для нормального розподілу та стандартного значення відхилення $s_{\log N} = 0,18$. У випадку руйнування першого зразка доускається рівень вірогідної довговічності $P^n = 5\%$.

(9) The values in Table C.1 are based on a probability of survival of 95% and a confidence level of 0,95 for the normal distribution and a standard deviation value of $s_{\log N} = 0,18$. In the case of first sample to fail a probability of survival value of $P^n = 5\%$ is assumed.

(10) Критерії для факторів вимірної довговічності та для приймання відрізняються в залежності від випадків застосування та повинні бути погоджені з інженером, відповідальним за приймання.

(10) Criteria for factoring the measured life and for acceptance will vary from one application to another and should be agreed with the engineer responsible for acceptance.

(11) Приймання проектування з урахуванням допустимих руйнувань

(11) Acceptance of a damage tolerance design is dependent upon the life of a crack

залежить від терміну, за який тріщина досягає розміру, при якому вона може бути виявлена за допомогою методу перевірки, що може використовуватися при експлуатації. Також воно залежить від рівня розростання тріщини, факторів критичної довжини тріщини, наслідків для безпеки конструкції та ціни ремонту.

reaching a size which could be detected by a method of inspection which can be applied in service. It also depends on the rate of growth of the crack, critical crack length considerations, and the implications for the residual safety of the structure and the costs of repair.

Таблиця С.1 – Рівень розростання втомної тріщини для ливарних сплавів, $R = K_{\min} / K_{\max} = \text{constant}$

Table С.1 – Fatigue crack growth rate cast alloys, $R = K_{\min} / K_{\max} = \text{constant}$

Результат випробування Test result	Розмір зразку <i>n</i> Sample size <i>n</i>											
	1	2	3	4	5	6	8	10	15	20	30	100
Ідентичні зразки, кожен з яких пройшов випробування до руйнування Identical samples all tested to failure.	3,91	3,20	2,93	2,78	2,68	2,61	2,52	2,45	2,36	2,30	2,24	2,12
Ідентичні зразки, що одночасно пройшли випробування до руйнування першого зразка Identical samples all tested simultaneously. First sample to fail.	3,91	2,71	2,27	2,03	1,88	1,77	1,61	1,51	1,36	1,26	1,15	0,91

С.5 Значення розростання тріщини

Вказівки щодо отримання значень розростання тріщини містяться у Додатку В.

С.5 Crack growth data

Guidance on derivation of crack growth data is given in Annex B.

С.6 Звітування

(1) У відповідності з даним розділом при завершенні будь-яких проведених випробувань повинен складатися протокол випробувань, в якому необхідно вказувати наступну інформацію:

- a) назву та розташування випробувальної лабораторії;
- b) посилання на акредитацію випробувальної установи (при необхідності).
- c) дату випробування;
- d) ім'я (імена) особи, що відповідальна за випробування;

С.6 Reporting

(1) At the conclusion of any testing performed in accordance with this section a test certificate should be compiled containing the following information:

- a) Name and address of the testing laboratory;
- b) accreditation reference of the test facility (where appropriate);
- c) date of test;
- d) name(s) of the person responsible for the testing;

- е) опис випробуваного зразка за наступними критеріями:
- 1) посилання на серійний номер (при необхідності), або
 - 2) посилання на номер(и) креслення (при необхідності), або
 - 3) опис зі схемами чи діаграмами, або
 - 4) фотографії.
- ф) опис прикладених систем навантаження, включаючи посилання на інші Європейські стандарти при необхідності;
- г) записи, що зафіксували прикладання навантаження та виміряні реакції на навантаження, такі як прогин, напруження, довговічність;
- h) сукупність навантажень, деформацій та напружень у критичних точках;
- і) запис, що фіксує довговічність та вид руйнування;
- j) запис, що фіксує розташування спостережень за допомогою посилання на вищезазначені пункти е)2) - е)4);
- к) примітки щодо будь-яких властивостей, що стосуються безпеки або експлуатаційної придатності об'єкту під час випробувань, такі як походження та розташування тріщини при випробуваннях на втому;
- l) записи умов навколишнього середовища під час випробувань (при необхідності);
- м) підтвердження атестації усього використаного обладнання, затверджене уповноваженою особою;
- п) визначення цілі та об'єктів випробувань;
- о) затвердження відповідності або невідповідності необхідним критеріям приймання ;
- р) записи імен та посад осіб, відповідальних за випробування та звітування;
- q) назву звіту та дату його подання.

- e) description of sample tested, by means of:
- 1) reference to serial number where appropriate; or
 - 2) reference to drawing number(s) where appropriate; or
 - 3) description with sketches or diagrams; or
 - 4) photographs;
- f) description of load systems applied including references to other European Standards where appropriate;
- g) record of load applications and measured reactions to load, i.e. deflection, strain, life;
- h) summary of loads and deformations and stress at critical acceptance points;
- i) record of endurance and mode of failure;
- j) record of locations of observations by reference to e)2) to e)4) above;
- k) notes of any observed behaviour relevant to the safety or serviceability of the object under test, e.g. nature and location of cracking in fatigue test;
- l) record of exposure conditions at time of testing where relevant;
- m) statement of validation authority for all measuring equipment used;
- n) definition of purpose or objectives of test;
- o) statement of compliance or non-compliance with relevant acceptance criteria as appropriate;
- p) record of names and status of persons responsible for testing and issuing of report;
- q) report denotation and date of issue.

**ДОДАТОК D
(ДОВІДКОВИЙ)
РОЗРАХУНОК НАПРУЖЕННЯ**

D.1 Використання скінченних елементів для розрахунку втоми

D.1.1 Типи елементів

D.1.1.1 Балочні елементи

(1) Балочні елементи зазвичай використовуються для розрахунку номінальних напружень в рамах та подібних конструкціях. Стандартний балочний елемент для розрахунку трьох просторових рам має 6 ступенів свободи на кожному кінцевому вузлі: три ступеня переміщення та три ступеня обертання. Цей елемент може правильно описувати крутильну поведінку тільки у випадках, коли поперечний переріз не схильний до викривлення, або якщо викривлення може вільно виникати. Розрахунок напружень викривлення неможливий при розрахунку відкритих тонкостінних конструкцій.

(2) Зазвичай балочні елементи жорстко з'єднані один з одним на узлових точках. У якості альтернативи можуть також бути вказані шарнірні з'єднання. У будь-якому разі в багатьох конструкціях з'єднання напівжорсткі. На додаток, в трубчастих з'єднаннях жорсткість розподілена нерівномірно, що спричиняє виникнення надлишкових згинальних моментів. Такі властивості конструкції вимагають більш досконалого моделювання, ніж ті, в яких використовуються жорсткі або шарнірні з'єднання.

D.1.1.2 Мембранні елементи

(1) Мембранні елементи призначені для моделювання пластинчастих конструкцій, які працюють в площині. Вони не витримують оболонкові згинальні навантаження. Трикутні та прямокутні пластинчасті елементи підходять для сприймання полів номінальних мембранних напружень в великих жорстких пластинчастих конструкціях.

**ANNEX D
[INFORMATIVE]
STRESS ANALYSIS**

D.1 Use of finite elements for fatigue analysis

D.1.1 Element types

D.1.1.1 Beam elements

(1) Beam elements are mainly used for analysis of nominal stresses in frames and similar structures. A conventional beam element for analysis of three dimensional frames has 6 degrees of freedom at each end node: three displacements and three rotations. This element can describe the torsional behaviour correctly only in cases in which the cross section is not prone to warp, or warping can occur freely. Analysis of warping stresses is impossible, when open thin-walled structures are analysed.

(2) Usually, the beam elements are rigidly connected to each other at the nodal points. Alternatively, pinned joints can also be specified. However, in many structures the joints are semi-rigid. In addition, in tubular joints the stiffness is unevenly distributed, which causes extra bending moments. Such structural features require more sophisticated modelling than the use of rigid or pinned joints.

D.1.1.2 Membrane elements

(1) Membrane elements are intended for modelling plated structures which are action in-plane. They cannot deal with shell bending stresses. Triangular and rectangular plate elements are suitable for solving nominal membrane stress fields in large stiffened plate structures.

D.1.1.3 Тонкостінні оболонкові елементи

(1) Програми кінцевих елементів містять різноманітні типи тонкостінних елементів. Сюди входять плоскі елементи, одинарні елементи кривизни та подвійні елементи кривизни. Деформаційні поля зазвичай формулюються у лінійній (4-вузловий елемент) або параболічній (8-вузловий елемент) постановці. У загальному випадку оболонкові елементи підходять для сприймання пружних конструкційних напружень у відповідності до теорії оболонок. Напруження середньої площини дорівнює мембранному напруженню, а напруження верхньої та нижньої площин – це накладені мембранне та згинальне напруження.

(2) За допомогою тонкостінних елементів можна моделювати лише середні площини пластин. Дійсна товщина матеріалу задається як властивість лише для елемента. Також є тонкі стінки зі змінною товщиною, які доцільно використовувати для моделювання, наприклад, ливарних конструкцій. Найважливішим недоліком тонкостінних елементів є те, що з їх допомогою неможливо змоделювати реальну жорсткість і розподіл напружень всередині та поблизу зварної зони оболонок, що перетинаються.

D.1.1.4 Товстостінні оболонкові елементи

(1) Деякі варіанти кінцевих елементів також включають так звані товстостінні оболонкові елементи. Такі елементи дозволяють враховувати поперечні деформації розтягу оболонки у напрямку товщини. Товстостінні елементи працюють краще, ніж тонкостінні елементи, наприклад, у конструкційних деталях, в яких відстані між перетинами прилеглих оболонок невеликі, що призводить до значних напружень розтягу.

D.1.1.5 Плоский деформований стан

(1) Іноді доцільним є дослідження місцевих напружень навколо виїмок за допомогою локальної 2-D моделі. Поперечний переріз одиниці товщини може бути змодельований як двовірна конструкція за допомогою плоского

D.1.1.3 Thin shell elements

(1) Finite element programs contain various types of thin shell elements. These include flat elements, single curvature elements and double curvature elements. The deformation fields are usually formulated as linear (4-noded element) or parabolic (8-noded element). In general, thin shell elements are suitable for solving the elastic structural stresses according to the theory of shells. The mid-plane stress is equal to the membrane stress, and the top and bottom surface stresses are superimposed membrane and shell bending stresses.

(2) Thin shell elements can only model the mid-planes of the plates. The actual material thickness is given as a property only for the element. There are also thin shells with tapered thickness, which are useful for modelling cast structures, for example. The most important drawback with thin shell elements is that they cannot model the real stiffness and stress distribution inside, and in the vicinity of, the weld zone of intersecting shells.

D.1.1.4 Thick shell elements

(1) Some finite element packages also include so-called thick shell elements. These allow transverse shear deformation of the shell in the thickness direction to be taken into account. Thick shell elements work better than thin shell elements in e.g. constructional details in which the distance between adjacent shell intersections is small, giving rise to significant shear stresses.

D.1.1.5 Plane strain elements

(1) Sometimes it is useful to study the local stress fields around notches with a local 2-D model. A cross section of unit thickness can then be modelled as a two dimensional structure using plane strain elements.

деформованого стану.

D.1.2 Подальші вказівки щодо застосування скінченних елементів

(1) Твердотілі елементи необхідні для моделювання конструкцій з трьохмірними полями деформацій та напруження. Зазвичай найбільше підходять криволінійні ізопараметричні 20-вузлові елементи. Іноді вони потребуються в зварних елементах для моделювання зони перетину пластин чи оболонок.

(2) Не рекомендується використовувати твердотілі елементи з лінійною постановкою переміщення через їх недостатню сумісність з сіткою на якій ведеться пошук вирішення.

(3) Твердотілі елементи з 10-ти вузловим квадратичним тетраедром дуже доцільно використовувати у випадку автоматичної побудови сітки, до того ж, такі елементи мають високі показники сумісності.

D.2 Коефіцієнти концентрації напруження

(1) Величини коефіцієнтів концентрації напруження та коефіцієнтів впливу надрізу для загальновикористовуваних геометричних характеристик можуть бути отримані з паспортних даних (див. посилання D.1 та D.2).

(2) Типові величини K_{gt} для закруглених кутів на плоскій плиті надані на рисунку D.1.

D.1.2 Further guidance on use of finite elements

(1) Solid elements are needed for modelling structures with three dimensional stress and deformation fields. Curved isoparametric 20-noded elements are generally the most suitable. In welded components, they are sometimes required for modelling the intersection zone of the plates or shells.

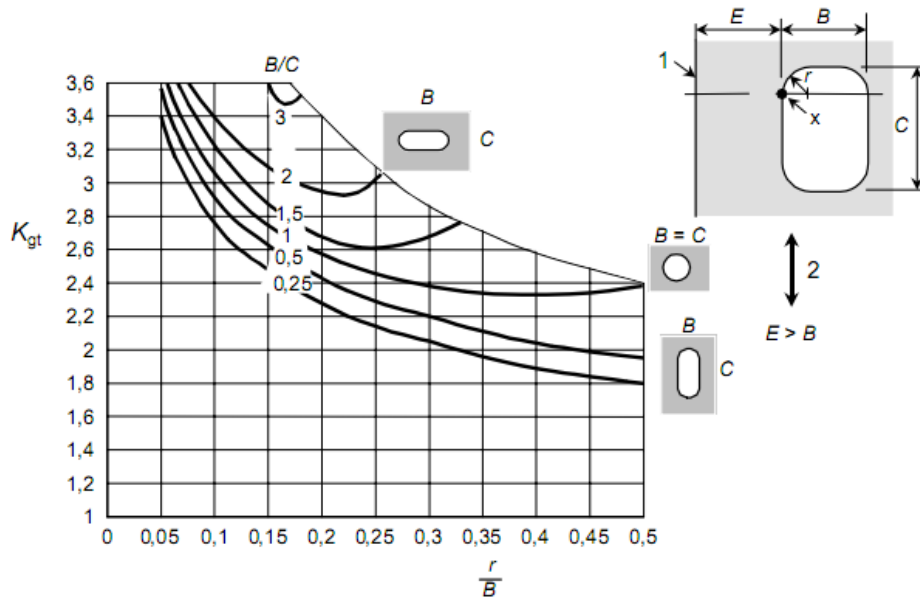
(2) Solid elements with linear displacement formulation are not recommended because of insufficient convergence with increasing mesh refinement.

(3) 10-node quadratic tetrahedron solid elements are very efficient for automatic mesh generation and have a good convergence behaviour.

D.2 Stress concentration factors

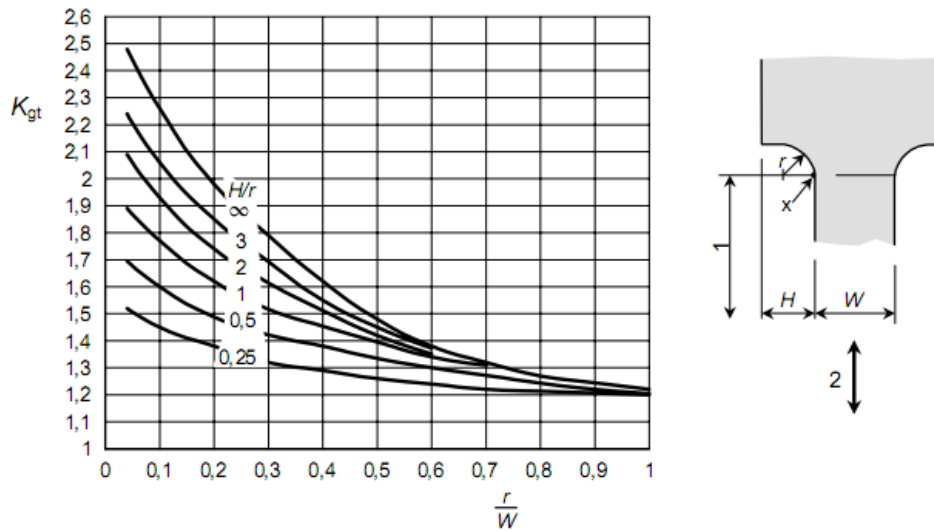
(1) Values of stress concentration factors and notch factors for commonly occurring geometries can be obtained from published data (see References D.1 and D.2).

(2) Typical values of K_{gt} for rounded corners in flat plate are given in Figure D.1.



а) Коефіцієнт концентрації напруження K для неармованих прорізів, що базується на результуючому напруженні X
1 – вільний край; 2 – змінне напруження

a) Fatigue stress concentration factor K for unreinforced apertures based on net stress at X
1 – free edge; 2 – stress fluctuation



б) Коефіцієнт концентрації напруження K для вхідних кутів, що базується на результуючому напруженні X
1 – довжина прямої $> 2r$; 2 – змінне напруження

b) Fatigue stress concentration factor K for re-entrant corners based on net stress at X
1 – length of straight $> 2r$; 2 – stress fluctuation

Рисунок D.1 – Типові коефіцієнти концентрації напруження на закруглених кутах плоскої плити

Figure D.1 – Typical stress concentration factors from rounded corners in flat plate

D.3 Обмеження втоми під дією багаторазової місцевої втрати стійкості

(1) Гнучкість елементів плити повинна бути обмежена для запобігання багаторазових місцевих втрат стійкості, які можуть спричинити втому в крайніх

D.3 Limitation of fatigue induced by repeated local buckling

(1) The slenderness of plate elements should be limited to avoid repeated local buckling that might result in fatigue at or adjacent to edge connections.

з'єднаннях або на з'єднаннях, суміжних з ними.

(2) Надлишковими багаторазовими місцевими втратами стійкості, можна знехтувати, якщо дотримується наступна умова:

$$\sqrt{\left(\frac{\sigma_{x,Ed,ser}}{k_{\sigma} \cdot \sigma_E}\right)^2 + \left(\frac{1,1\tau_{x,Ed,ser}}{k_{\tau} \cdot \sigma_E}\right)^2} \leq 1,1 \quad (D.1)$$

де:

$\sigma_{x,Ed,ser}$, $\tau_{x,Ed,ser}$ – напруження для комбінацій навантажень, які часто зустрічаються;

k_{σ}, k_{τ} – коефіцієнти лінійної пружної втрати стійкості при допущенні шарнірних кінців елемента плити;

$$\sigma_E = 0,904 \cdot E \cdot (t_w / b_w)^2$$

t_w, b_w – товщина та глибина стінки панелі.

Примітка. Термін «дихання стінки» може зустрічатися в літературі у тому ж значенні, як і «багаторазова місцева втрата стійкості».

(2) Excessive repeated local buckling may be neglected if the following criterion is met:

where:

$\sigma_{x,Ed,ser}$, $\tau_{x,Ed,ser}$ are the stresses for the frequent load combination.

k_{σ}, k_{τ} are the linear elastic buckling coefficients assuming hinged edges of the plate element.

$$\sigma_E = 0,904 \cdot E \cdot (t_w / b_w)^2$$

t_w, b_w are the thickness and the depth of the web panel.

NOTE: The term web breathing may be encountered in literature having the same meaning as repeated local buckling.

**ДОДАТОК Е
(ДОВІДКОВИЙ)
АДГЕЗІЙНІ З'ЄДНАННЯ**

(1) Розрахунок адгезійних з'єднань повинен враховувати наступні пункти:

- необхідно знизити до мінімуму дію розшаровування;
- слід мінімізувати концентрацію напружень;
- деформації у основному матеріалі не повинні перевищувати текучість;
- хімічна конверсія або анодування поверхонь покращують адгезію у порівнянні з обезжиренням або механічною абразією;
- агресивні зовнішні умови зазвичай скорочують термін служби.

(2) У випадку з'єднань внапуск у з'єднуючій площині ефективне дотичне напруження $\Delta\tau$ повинне базуватися на силі на одиницю ширини з'єднань, поділеній на ефективну довжину напуску L_{adh} , де:

L_{adh} = довжину напуску L , де $L \leq 15$ мм;

$L_{adh} = 15$ мм, де $L > 15$ мм.

(3) Стандартна втомна міцність адгезійного подвійного з'єднання внапуск визначається за допомогою такої формули:

$$\Delta\tau_{C,adh} = k_{C,adh} \cdot f_{v,adh} \quad (E.1)$$

де:

$k_{C,adh}$ – величина коефіцієнта втомної міцності адгезійного з'єднання k_{adh} при $N_C = 2 \times 10^6$ циклів;

$f_{v,adh}$ – характеристична зсувна міцність адгезиву, яка отримується зі стандартного статичного випробування зсуву напуску (див. EN 1999-1-1).

**ANNEX E
[INFORMATIVE]
ADHESIVELY BONDED JOINTS**

(1) Design of adhesively bonded joints should consider the following:

- Peel action should be reduced to a minimum;
- stress concentrations should be minimized;
- strains in the parent metal should be kept below yield;
- chemical conversion or anodizing of the surfaces improves adhesion compared to degreasing or mechanical abrasion;
- aggressive exposure conditions usually reduce fatigue life.

(2) For lap joints failing in the bond plane, the effective shear stress range $\Delta\tau$ should be based on the force per unit width of the joint divided by the effective length of the lap L_{adh} , where:

L_{adh} = lap length L , where $L \leq 15$ mm;

$L_{adh} = 15$ mm, where $L > 15$ mm.

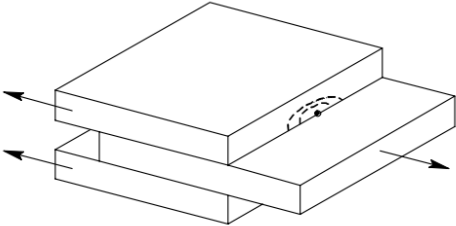
(3) The reference fatigue strength of an adhesively bonded double lap joint which fails in the bond line is defined by the equation:

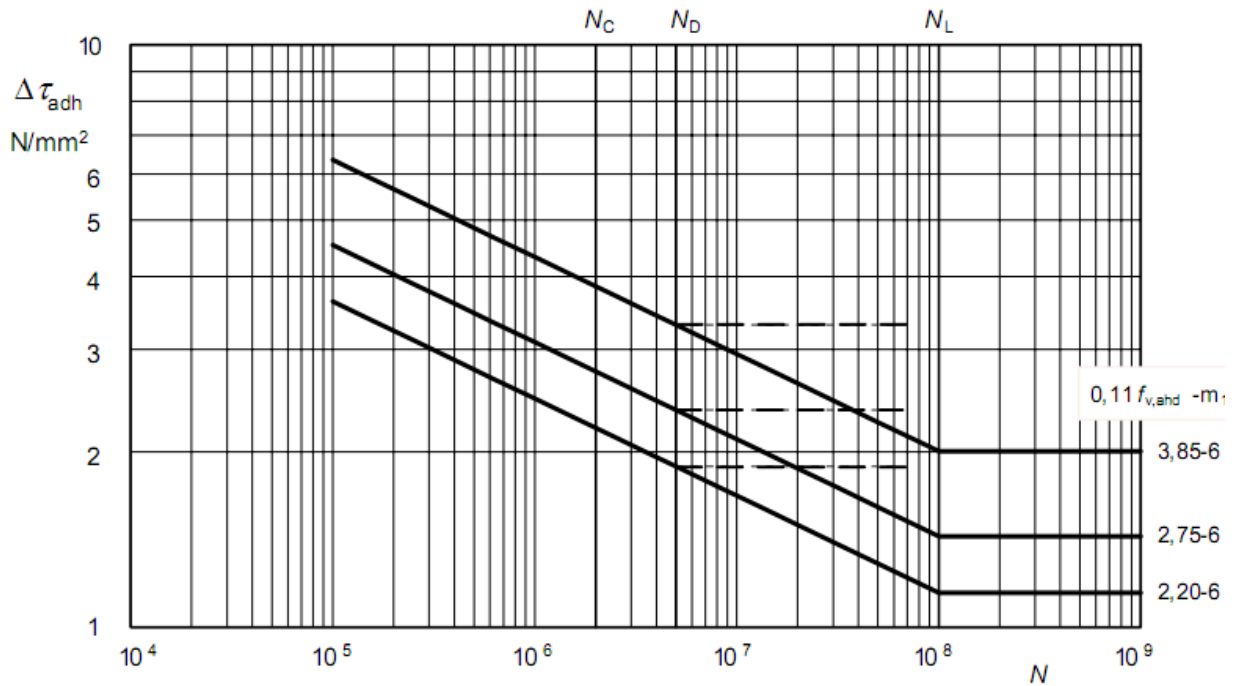
where:

$k_{C,adh}$ is the value of the adhesive joint fatigue strength factor k_{adh} at $N_C = 2 \times 10^6$ cycles;

$f_{v,adh}$ is the characteristic shear strength of the adhesive obtained from a standard static lap shear test (see EN 1999-1-1).

Таблиця Е.1 – Адгезійні з'єднання
Table E.1 – Adhesively bonded joints

Деталізована категорія Detail category	Форма продукції Конструкційна деталь Ділянка виникнення пошкодження Product forms Constructional detail Initiation site	Розрахунок напруження Stress analysis	Вимоги до виконання Execution requirements
<p>$0,11f_{v,adh}$</p> <p>$m_1 = 6$</p> <p>$m_2 = 6$</p>	<p>Прокатні, штамповані та ковані вироби</p> <p>Одно- та двокомпонентні епоксидні зв'язувачі</p> <p>З'єднання внапуск, товщина більш тонкої частини ≤ 8 мм</p> <p>Rolled, extruded and forged products</p> <p>Single and two-component epoxies</p> <p>Lap joint, thickness of thinner part ≤ 8 mm</p>  <p>На лінії з'єднання на передній кромці In bondline at leading edge</p>	<p>Нормальне напруження передньої кромки</p> <p>Пік напруження на передній кромці, ексцентриситет шляху напруження лише у симетричному з'єднанні внапуск з подвійним покриттям</p> <p>Stress normal to leading edge</p> <p>Stress peak at leading edge, eccentricity of load path in symmetrical double covered lap joints only</p>	<p>Машинна обробка лише за допомогою високошвидкісної фрезерної голівки</p> <p>Підготовка поверхні: обезжирення або хроматична конверсія</p> <p>Товщина з'єднання лінії збірки у рамках обмежень, визначених для випробувань міцності при зсуві</p> <p>Machining only by high speed milling cutter</p> <p>Surface Preparation: degreasing or chromate conversion</p> <p>Assembly: bondline thickness within tolerances specified for shear strength test</p>



Крива втомної міцності при зсуві: 3,85-6
однокомпонентний, що трердіє при нагріванні
модифікований епоксидний зв'язувач,
 $f_{v,adh} = 35 \text{ Н/мм}^2$

Fatigue shear strength curve: 3,85-6 single-component,
heat cured, modified epoxide, $f_{v,adh} = 35 \text{ N/mm}^2$

Крива втомної міцності при зсуві: 2,75-6
двокомпонентний, що трердіє при охолодженні
модифікований епоксидний зв'язувач,
 $f_{v,adh} = 25 \text{ Н/мм}^2$

Fatigue shear strength curve: 2,75-6 two-components,
cold cured, modified epoxide, $f_{v,adh} = 25 \text{ N/mm}^2$

Крива втомної міцності при зсуві: 2,20-6
двокомпонентна, що трердіє при охолодженні
модифікована акрилова смола, $f_{v,adh} = 20 \text{ Н/мм}^2$

Fatigue shear strength curve: 2,20-6 two-components,
cold cured, modified acrylic, $f_{v,adh} = 20 \text{ N/mm}^2$

Рисунок Е.1 – $\Delta\tau_{adh}$ – крива N для адгезійних з'єднань

Figure Е.1 – $\Delta\tau_{adh}$ – N curve for adhesively bonded joints

Таблиця Е.2 – Числові значення для $k_{adh} (= \Delta\tau / f_{v,adh})$ для адгезійних з'єднань

Table Е.2 – Numerical values for $k_{adh} (= \Delta\tau / f_{v,adh})$ for adhesively bonded joints

Деталізована категорія ($N = 2 \times 10^6$) Detail Category ($N = 2 \times 10^6$)		$N = 10^5$	$N_D = 5 \times 10^6$	$N_L = 10^8$
$\Delta\tau_{C,adh} / f_{v,adh}$	m_1	$\Delta\tau / f_{v,adh}$	$\Delta\tau_D / f_{v,adh}$	$\Delta\tau_L / f_{v,adh}$
0,11	6	0,181	0,094	0,065

(4) Співвідношення розрахунку на втому до термінів служби у діапазоні від 10^5 до 5×10^6 циклів або у діапазоні від 5×10^6 до 10^8 циклів визначається так, як вказано у пунктах 6.2.1 (2) 6.2.1 (4) даного документу відповідно.

(4) The fatigue design relationship for endurance in the range between 10^5 to 5×10^6 cycles or in the range between 5×10^6 to 10^8 cycles is defined as in 6.2.1 (2) and 6.2.1 (4) respectively in this document.

(5) В розрахункових значеннях міцності адгезійних з'єднань до вищевказаних значень міцності повинен застосовуватися

(5) The design strength values for adhesively bonded joints should apply a partial factor γ_{Mf} to the above given strength

частковий коефіцієнт γ_{Mf} .

Примітка. Частковий коефіцієнт γ_{Mf} для певних типів конструкційних деталей може бути визначений у Національному додатку. Рекомендується значення $\gamma_{Mf} = 3,0$.

(6) Для критичного прикладення навантаження рекомендується випробування при типових геометричних характеристиках, типовій якості робіт та типових зовнішніх умовах.

(7) Характеристики втомної міцності для адгезійних з'єднань застосовуються лише при температурі в діапазоні від -20°C до $+60^{\circ}\text{C}$.

Примітка. Надані температурні обмеження основані на доступних результатах випробувань. Інші значення можуть визначатися Національним додатком, якщо вони підтверджені випробуваннями у відповідності з Додатком С.

(8) Не дозволяється робити допущення на вплив середнього напруження без підтвердження випробуваннями (див. Додаток С).

values.

NOTE: The partial factor γ_{Mf} for specific constructional detail types may be defined in the National Annex. The value of $\gamma_{Mf} = 3,0$ is recommended.

(6) Testing under representative conditions of geometry, workmanship and exposure conditions is recommended for critical applications.

(7) Fatigue data for adhesively bonded joints applies only within a temperature range of -20°C and $+60^{\circ}\text{C}$.

NOTE: The temperature limits given are based on available test data. Other values may be defined by the National Annex, if they are justified by test according to Annex C.

(8) No allowance should be made for effect of mean stress without justification by test (see Annex C).

**ДОДАТОК F
(ДОВІДКОВИЙ):
ДІАПАЗОН МАЛОЦИКЛОВОЇ ВТОМИ**

F.1 Вступ

(1) Якщо діапазонами високого напруження, які прикладаються менше, ніж 10^5 разів, завдаються значні пошкодження, то криві $\Delta\sigma - N$, надані у 6.2 для певних конструкційних деталей, та коефіцієнтів напруження R можуть бути недоречно консервативними. Вказані нижче дані можуть застосовуватися для отримання точнішого передбачення терміну служби.

F.2 Модифікації кривих $\Delta\sigma - N$

(1) Для довговічності від 10^3 до 10^5 циклів крива розрахункової втомної міцності може визначатися як:

$$N_i = \left(\frac{\Delta\sigma_C}{\Delta\sigma_i} \cdot \frac{1}{\gamma_{Ff} \cdot \gamma_{Mf}} \right)^{m_0} \cdot 20^{\frac{m_0}{m_1}} \cdot 10^5 \quad (\text{F.1})$$

де:

N_i – підрахована кількість циклів до руйнування діапазону напруження $\Delta\sigma_i$;

$\Delta\sigma_C$ – стандартне значення втомної міцності при 2×10^6 в залежності від деталізованої категорії;

$\Delta\sigma_i$ – діапазон напружень для головних напружень на деталі, постійний для всіх циклів;

m_0 – зворотній логарифмічний нахил кривої $\Delta\sigma - N$ у діапазоні від 10^3 до 10^5 циклів, який залежить від деталізованої категорії, сплаву та значення R ;

m_1 – зворотній логарифмічний нахил кривої $\Delta\sigma - N$, який залежить від деталізованої категорії;

γ_{Ff} – частковий коефіцієнт, який допускає неточності у спектрі навантажень та розрахунку реакції (див. 2.4);

γ_{Mf} – частковий коефіцієнт для

**ANNEX F
[INFORMATIVE]:
LOW CYCLE FATIGUE RANGE**

F.1 Introduction

(1) Where significant damage is done by high stress ranges which are applied less than 10^5 times, the $\Delta\sigma - N$ curves given in 6.2 for certain constructional details and R -ratios may be unnecessarily conservative. The data below may be used to obtain a more accurate life prediction.

F.2 Modification to $\Delta\sigma - N$ curves

(1) For endurance between 10^3 and 10^5 cycles the fatigue design curve may be defined as:

where:

N_i – is the calculated number of cycles to failure of a stress range $\Delta\sigma_i$;

$\Delta\sigma_C$ – is the reference value of fatigue strength at 2×10^6 cycles depending on the detail category;

$\Delta\sigma_i$ – is the stress range for the principal stresses at the detail and is constant for all cycles;

m_0 – is the inverse logarithmic slope of the $\Delta\sigma - N$ curve in the range 10^3 and 10^5 cycles, depending on the detail category, alloy and R -value;

m_1 – is the inverse logarithmic slope of the $\Delta\sigma - N$ curve, depending on the detail category;

γ_{Ff} – is the partial factor allowing for uncertainties in the loading spectrum and analysis of response (see 2.4);

γ_{Mf} – is the partial factor for uncertainties in

неточностей в матеріалах та виконанні (див. 6.2.1(2)).

materials and execution (see 6.2.1(2)).

F.3 Результати випробувань

F.3 Test data

(1) У таблиці F.1 показані значення m_0 для вибраних конструкційних деталей у певних продуктах деформованих сплавів, отримані в результаті випробувань.

(1) Table F.1 gives values of m_0 for selected constructional details in certain wrought alloy products which have been derived from test data.

Примітка 1. Для коефіцієнтів напруження R між $R = -1$ та $R = 0$ можна використовувати лінійну інтерполяцію зворотнього значення m_0 .

NOTE 1: For R -ratios between $R = -1$ and $R = 0$ a linear interpolation of inverse m_0 value may be used.

Примітка 2. Значення R може базуватися на прикладених напруженнях лише без врахування залишкових напружень.

NOTE 2: The R -value may be based on the applied stresses only without taking into account residual stresses.

Таблиця F.1 – Значення m_0

Table F.1 – Values of m_0

Тип деталі Detail Type	Таблиця деталізованої категорії Detail Category Table	Сплави Alloys	Форми продукції Product Form	m_0	
				$R = -1$	$R \geq 0$
1.1	J.1	7020	Лист, плита та прості профілі	5,0	m_1
1.2		6000 серія ¹⁾	Лист, плита та прості профілі		
1.3		(series ¹⁾)	Штамповані профілі		
1.4		7020	Штамповані профілі		
		6000 серія ¹⁾	Sheet, plate and simple extrusions	4,0	m_1
		(series ¹⁾)	Sheet, plate and simple extrusions	4,0	m_1
			Shaped extrusions		
			Shaped extrusions		
7.6	J.7 та (and) J.9	EN 1999-1-1, Table 3.1a ¹⁾		3,0	m_1
9.1				3,0	m_1
9.2				3,0	m_1
9.3				3,0	m_1
9.4				3,0	m_1
15.1	J.15			3,3	m_1
15.2				3,3	m_1

¹⁾ Виключення – див. 3(1)

¹⁾ Exceptions - see 3(1)

**ДОДАТОК G
(ДОВІДКОВИЙ)**

**ВПЛИВ КОЕФІЦІЄНТУ
НАПРУЖЕННЯ R**

G.1 Збільшення втомної міцності

(1) Для значень прикладеного рівню напруження менших, ніж $R = +0,5$, можна використовувати збільшене стандартне значення втомної міцності $\Delta\sigma_C(R)$ у місці $\Delta\sigma_C$ наступним чином:

$$\Delta\sigma_{C(R)} = f(R)\Delta\sigma_C \quad (\text{G.1})$$

де:

$f(R)$ – збільшувачий коефіцієнт, який залежить від коефіцієнта напруження R , типу елемента та конструкційної деталі, як вказано нижче у G.2.

Примітка. Суцільнотягнені труби та формовані профілі (складчасті, гнуті) можуть мати залишкові напруження, якими не можна знехтувати, так що збільшення міцності у відповідності з даним Додатком не може бути дозволено.

G.2 Випадки збільшення втомної міцності

G.2.1 Випадок 1

(1) Цей випадок стосується ділянок виникнення пошкоджень у основному матеріалі та деформованих компонентів конструкційних елементів, віддалених від з'єднань.

(2) Повинні робитись допуски на будь-які попередні впливи або несумісність (на додаток до прикладених напружень).

(3) Значення збільшувачого коефіцієнта $f(R)$ отримуються за допомогою наступного виразу:

$$f(R) = 1,2 - 0,4 \cdot R \quad (\text{G.2})$$

див. також Таблицю G.1 та рисунок G.1.

**ANNEX G
[INFORMATIVE]**

INFLUENCE OF R -RATIO

G.1 Enhancement of fatigue strength

(1) For applied stress ratio values less than $R = +0,5$ an enhanced reference fatigue strength $\Delta\sigma_C(R)$ may be used in place of $\Delta\sigma_C$ as follows:

$$\Delta\sigma_{C(R)} = f(R)\Delta\sigma_C \quad (\text{G.1})$$

where:

$f(R)$ is the enhancement factor depending on the R -ratio and the type of component and constructional detail, as given in G.2. below.

NOTE: Drawn tubes and formed profiles (folded; roll-formed) may have residual stresses, which are not negligible, so that an enhancement according to this Annex may not be allowed.

G.2 Enhancement cases

G.2.1 Case 1

(1) This applies to initiation sites in the base material and wrought products in structural elements remote from connections.

(2) Allowance should be made for any pre-action or lack of fit in addition to the applied stresses.

(3) The values of the enhancement factor $f(R)$ are given by

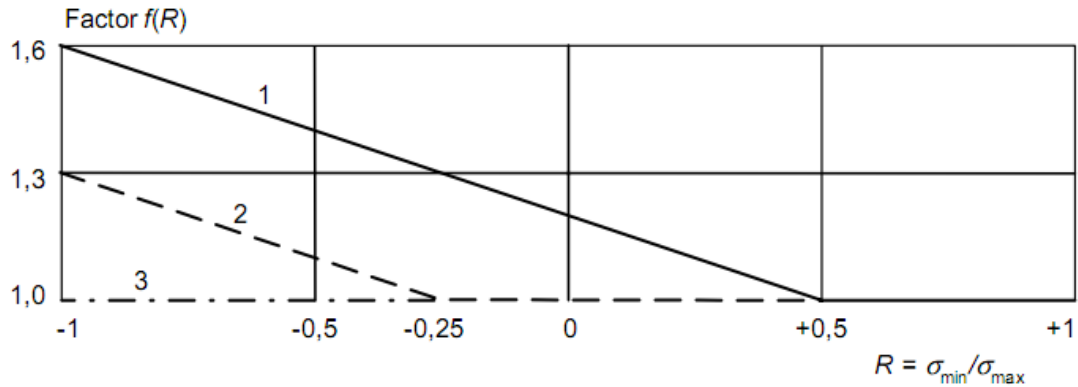
$$f(R) = 1,2 - 0,4 \cdot R \quad (\text{G.2})$$

see also Table G.1 and Figure G.1.

Таблиця G.1 – Значення $f(R)$ для випадку 1

Table G.1 – Values of $f(R)$ for case 1

R	$f(R)$
≤ -1	1,6
> -1	$1,2 - 0,4 R$
$< +0,5$	
$\geq +0,5$	1,0



1 – ділянки, повністю вільні від напруження; 2 – ділянки, частково вільні від напруження; 3 – ділянки з залишковими напруженнями

1 – fully stress free regions; 2 – partially stress free regions; 3 – regions with residual stresses

Рисунок G.1 – Коефіцієнт збільшення втомної міцності $f(R)$ при 2×10^2 циклах

Figure G.1 – Strength enhancement factor $f(R)$ at 2×10^2 cycles

G.2.2 Випадок 2

G.2.2 Case 2

(1) Цей випадок стосується ділянок виникнення пошкоджень, зв'язаних з зварними або механічно закріпленими з'єднаннями в простих конструкційних елементах, в яких виявлені залишкові напруження σ_{res} , враховуючи будь-які попередні впливи або несумісності.

(1) This applies to initiation sites associated with welded or mechanically fastened connections in simple structural elements, where the residual stresses σ_{res} has been established, taking into account any preaction or lack of fit.

(2) Ефективне значення коефіцієнту напруження R R_{eff} повинне визначатися наступним чином:

(2) The effective R -ratio R_{eff} should be estimated as follows:

$$R_{eff} = \frac{2 \cdot \sigma_{res} - \Delta\sigma}{2 \cdot \sigma_{res} + \Delta\sigma} \tag{G.3}$$

де:

where:

$\Delta\sigma$ – діапазон прикладеного напруження.

$\Delta\sigma$ – is the applied stress range.

(3) Значення $f(R)$ визначаються

(3) The values of $f(R)$ are given by

наступним чином:

$$f(R) = 0,9 - 0,4 \cdot R \quad (G.4)$$

див. також Таблицю G.2 та рисунок G.1

see also Table G.2 and Figure G.1.

Таблиця G.2 – Значення $f(R)$ для випадку 2

Table G.2 – Values of $f(R)$ for case 2

R_{eff}	$f(R)$
≤ -1	1,3
> -1	
$< -0,25$	$0,9 - 0,4 R$
$\geq -0,25$	1,0

G.2.3 Випадок 3

(1) Цей випадок стосується ділянок біля зварних з'єднань та складних конструкційних збірних деталей, в яких неможливо контролювати залишкові напруження.

(2) У цьому випадку значення $f(R)$ повинне прийматися за одиницю для всіх коефіцієнтів напруження R (див. також рис. G.1).

G.2.3 Case 3

(1) This applies near welded connections and to complex structural assemblies where control of residual stresses is not practicable.

(2) In this case $f(R)$ should be taken as unity for all R -ratios (see also Figure G.1).

**ДОДАТОК Н
(ДОВІДКОВИЙ):
ЗБІЛЬШЕННЯ МІЦНОСТІ ЗВАРНИХ
З'ЄДНАНЬ**

Н.1 Загальні положення

(1) У випадках, коли втомні тріщини виникають на кромці зварного шва, міцність зварних з'єднань може бути збільшена. Такі методи зазвичай використовуються на найбільш напружених зварних з'єднаннях або для посилення зварних з'єднань, які мають низьку міцність.

(2) Розглядаються наступні методи:

- машинна обробка або шліфування;
- обтісування дуговим зварюванням вольфрамовим електродом в середовищі інертного газу або плазмою;
- нагартовка (дробеструменева обробка, голкова нагартовка, проковування молотком).

(3) У випадках, коли були застосовані спеціальні техніки збільшення міцності, у діапазоні напружень впродовж середнього та довгого терміну служби може бути зафіксоване зростання міцності більше, ніж на 30%. Найзначніше збільшення міцності досягається за допомогою комбінації двох методів, таких як машинна обробка (або шліфування) та проковування молотком, коли завдяки використанню індивідуальних можливостей кожного методу отримується подвійне збільшення міцності.

(4) Для всіх методів враховуються наступні аспекти:

- a) повинна бути доступна підходяща методика роботи;
- b) о застосування заходів щодо збільшення міцності необхідно переконатися, що немає тріщин поверхні у критичних локаціях;
- c) ака перевірка виконується за допомогою проникаючої фарби або за допомогою застосування інших методів

**ANNEX H
[INFORMATIVE]
FATIGUE STRENGTH IMPROVEMENT
OF WELDS**

H.1 General

(1) In cases where the fatigue cracks would initiate at the weld toe, the capacity of welded joints can be improved. Such methods are normally used at the most highly stressed welds or for improving welds having low strength.

(2) The following methods are considered here:

- Machining or grinding;
- dressing by TIG or plasma;
- peening (shot peening, needle peening or hammer peening).

(3) In cases where specified improvement techniques have been employed, an improvement at the mid and long fatigue life region up to 30% measured by stress range may be obtained. The highest improvement is achieved by the combination of two methods like machining (or grinding) and hammer peening where the double improvement of the individual methods can be reached.

(4) For all methods the following aspects should be considered:

- a) suitable work procedure should be available;
- b) efore applying the measures for improvement it should be assured that no surface cracks are present in the critical locations;
- c) his should be done by dye penetrant or other suitable NDT methods;

неруйнівного контролю;

d) при короткому терміні служби, коли місцеві напруження перевищують границю текучості, період виникнення тріщин є незначним (незалежно від наявності надрізів) і збільшення міцності, відповідно, теж є незначним. Тому в такому випадку при розрахунку в 10^5 циклів збільшення міцності не відбудеться. (Крива $\Delta\sigma - N$ в такому випадку змінюється при постійних значеннях при розрахунку в 10^5 циклів);

e) повинні враховуватися потенційні місця виникнення втомних деформацій окрім тих, що підлягають збільшенню міцності, наприклад, коли збільшення міцності відбувається на кромці зварного шва, то такі локації, як переріз зварного шва та внутрішні тріщини (часткового проникнення) можуть бути обмежуючим фактором;

f) мають враховуватися втомна довговічність та можливість застосування методів зміцнення;

g) при умовах необмеженості корозії у воді, збільшення міцності часто не відбувається. Методи, які включають компресійні залишкові напруження (нагартовка), є менш чутливими. Тому у таких випадках для досягнення збільшення міцності необхідний антикорозійний захист.

(5) Розрахункові значення зміцнених зварних швів повинні встановлюватися за допомогою випробувань, див. Додаток С.

Н.2 Машинна обробка або шліфування

(1) Машинна обробка може виконуватися за допомогою високошвидкісного ротаційного напильнику. Цей метод має такі переваги, як більш точне значення радіусу, маркування, паралельне до напрямку напруження, та отримання доступу до кутів. Якщо дозволяє доступ, то у якості альтернативи може використовуватися станок для шліфування абразивним диском, див. рис. Н.1. В обох випадках повинен ретельно обиратися радіус ріжучої

d) in the short life region where the local stresses exceed the yield strength the initiation period is a small fraction (irrespective of the notch case) and the improvement is thus small. Hence, there will be no improvement in design at 10^5 cycles. (The $\Delta\sigma - N$ curve is thus rotated with fixed values at 10^5);

e) potential fatigue fracture locations other than that being improved should be considered: e.g. if the weld toe area is improved, then locations like the weld throat or internal cracks (partial penetration), might be the limiting factor;

f) the fatigue life and the usefulness of improvement methods should be considered;

g) Under freely corroding conditions in water, the improvement is often lost. Methods involving compressive residual stresses (peening) are less susceptible. Corrosion protection is therefore needed if the improvement is to be achieved.

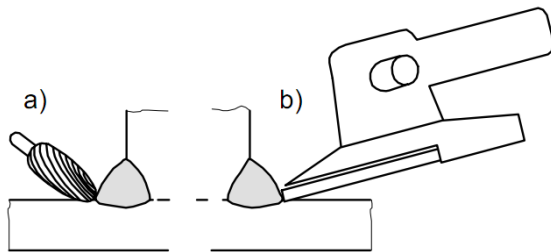
(5) Design values for improved welds should be established by testing, see Annex C.

Н.2 Machining or grinding

(1) Machining can be performed by a high speed rotary burr cutter and has the advantages of producing a more precise radius definition, leaving marks parallel to the stress direction and gaining access to corners. Alternatively a disk grinder may be used if access permits, see Figure H.1. In both cases the radius of the cutting tip or edge should be correctly chosen.

пластини або кромки.

(2) Щоб переконатися у видаленні чужорідних елементів і.т.д., машинна обробка за допомогою ротаційного напильнику повинна досягати глибини 0.5 мм нижче краю будь-якого підрізу і.т.д., але не повинна перевищувати 2 мм або 5% товщини плити, в незалежності від того, яке значення є меншим, див. рис. Н.2. Незначне зменшення товщини плити і відповідне збільшення номінального напруження не є значними при товщині 10 мм або більше. У випадку багатошарового зварного шва повинні бути оброблені як мінімум дві кромки шва. Також потрібно слідкувати за підтриманням належного розміру перерізу шва.



а) обробка ротаційним терпугом; б) шліфування абразивним диском

a) burr machining; b) disk grinding

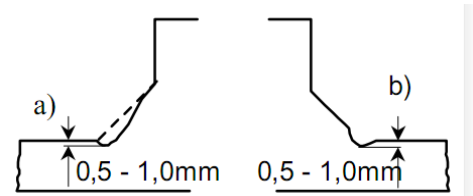
Рисунок Н.1 – Методи машинної обробки/шліфування
Figure Н.1 – Machining/grinding techniques

Н.3 Обтісування дуговим зварюванням вольфрамовим електродом в середовищі інертного газу або плазмою

(1) Так як дугове зварювання вольфрамовим електродом в середовищі інертного газу – це метод тільки для пластин з товщиною 4 мм або менше, він може використовуватися тоді, коли кромка зварного шва є критичною ділянкою. При переплавленні вже існуючої кромки шва крапління та підрізи можуть бути видалені, а радіус кромки – збільшений, що в результаті зменшує фактор місцевої концентрації напруження.

(2) Слід використовувати стандартне обладнання для дугового зварювання

(2) To ensure the removal of intrusions etc. Burr machining has to be extended to a depth of minimum 0.5 mm below the bottom of any visible undercut etc., but should not exceed 2 mm or 5% of the plate thickness, whichever is the less see Figure H.2. The slight reduction in plate thickness and corresponding increase in nominal stress is insignificant for thickness of 10 mm or larger. In the case of multipass welds at least two weld toes should be treated. Care should also be taken to ensure that the required throat size is maintained.



а) повний профіль; б) кромка зварного шва

a) full profile; b) weld toe

Рисунок Н.2 – Геометричні характеристики профілю
Figure Н.2 – Profile Geometries

Н.3 Dressing by TIG or plasma

(1) While TIG welding is only a practical process for structures made of plates 4 mm thick or less, it can be used for improving the fatigue strength in cases where the weld toe is the critical site. When re-melting the existing toe region inclusions and undercuts can be removed and the toe radius can be increased which reduces the local stress concentration factor.

(2) Standard TIG dressing equipment should be used, without the addition of any

вольфрамовим електродом в середовищі інертного газу без застосування будь-якого фільтраційного матеріалу. Обтісування дуговим зварюванням вольфрамовим електродом в середовищі інертного газу чутливе до професіональних навичок оператора; необхідно підтримувати чистоту поверхні, щоб уникнути виникнення пор. Повинні бути підготовані детальні методики виконання.

(3) Збільшення міцності повинне бути підтвержене випробуваннями.

Н.4 Нагартовка

(1) Найкращі результати зазвичай отримуються за допомогою методів, в яких використовуються компресійні залишкові напруження. Найпоширеніші методи – це проковка молотком, голкова нагартовка або дробеструменева обробка. Нагартовка – це процес холодної обробки, при якому поверхня пластично змінюється під впливом інструменту. Оточуючий (пружний) матеріал стискає деформований об'єм. Функціональна дія високої компресії може знизити рівень залишкового напруження і повинна враховуватись при застосуванні спектрів випадкового впливу..

(2) Повинні бути підготовлені методики для всіх способів нагартовки: ходи, деформації кромки зварного шва та виїмки для проковки молотком та нагартовки арматурним пучком, інтенсивність, покриття та тестова пластина деформації для дробеструменевої обробки.

filler material. TIG dressing is sensitive to operator skills and it is important to have clean surfaces to avoid pores. Detailed procedures should be prepared.

(3) The improvement should be verified by tests.

Н.4 Peening

(1) The largest benefits are normally obtained with methods where compressive residual stresses are introduced. The most common methods are hammer peening, needle peening, and shot peening. Peening is a cold working process where the impact of a tool deforms the surface plastically. The surrounding (elastic) material will compress the deformed volume. High compressive service action can decrease the level of residual stress and should be taken into account when applying random action spectra.

(2) Procedures for all peening methods should be prepared: Passes, weld toe deformation, and indentation for hammer and wire bundle peening; intensity, coverage, and Almen strip deformation for shot peening.

**ДОДАТОК І
(ДОВІДКОВИЙ)
ЛИВАРНІ СПЛАВИ**

I.1 Загальні положення

(1) Нижчеказана інформація може застосовуватися для ливарних сплавів при умові, що дотримуються правила розрахунку, вказані у EN 1999-1-1 пункт 3.2.3.1 та його Додатку С.3.4

(2) Можуть використовуватися правила розрахунку у EN 1999-1-3 для ливарних сплавів, які зазнають втомного навантаження, і правила для сплавів у EN 1999-1-1, таблиця 3.3, якщо враховуються вимоги I.3.

I.2 Значення втомної міцності

I.2.1 Гладкі ливарні сплави

(1) В залежності від необхідного ступіню якості (див. I.3) можуть застосовуватися числові значення $\Delta\sigma$ таблиці I.1.

Таблиця I.1 – Числові значення $\Delta\sigma$ (Н/мм²) для гладких матеріалів
Table I.1 – Numerical values of $\Delta\sigma$ (N/mm²) for plain material

Деталізована категорія

Detail Category		$N = 10^5$	$N_D = 2 \times 10^6$	$N_L = 10^8$
$(N_C = 2 \times 10^6)$				
$\Delta\sigma_C$	$m_1 = m_2$	$\Delta\sigma$	$\Delta\sigma_D$	$\Delta\sigma_L$
71 ¹⁾	7	108,9	71	40,6
50	7	76,7	50	28,6
40	7	61,4	40	22,9
32	7	49,1	32	18,3
25	7	38,4	25	14,3

¹⁾ див. ПРИМІТКУ в I.3

¹⁾ see NOTE in I.3

I.2.2 Зварний матеріал

(1) Значення втомної міцності для зварних ливарних сплавів не входять у

**ANNEX I
[INFORMATIVE]
CASTINGS**

I.1 General

(1) The following data may be used for castings provided that the rules for calculation of stresses in EN 1999-1-1 clause 3.2.3.1 and its Annex C.3.4 are followed.

(2) The design rules in EN 1999-1-3 for castings under fatigue loading, for the alloys given in EN 1999-1-1, Table 3.3, may be used if the additional requirements in I.3 are observed.

I.2 Fatigue strength data

I.2.1 Plain castings

(1) Depending on the required level of quality, see I.3, the numerical values for $\Delta\sigma$ of Table I.1 may be applied.

I.2.2 Welded material

(1) Fatigue strength values for welded castings are not covered by EN 1999-1-3.

EN 1999-1-3.

Примітка. Значення втомної міцності для зварних з'єднань ливарних сплавів можуть бути визначені у Національному додатку.

NOTE: Fatigue strength values for welded joints of castings may be defined in the National Annex.

I.2.3 Механічно з'єднані ливарні сплави

I.2.3 Mechanically joined castings

I.2.3.1 Болтові з'єднання

I.2.3.1 Bolted joints

Числові значення $\Delta\sigma$ таблиці I.2 можуть застосовуватися для болтів категорії А: Тип підшипника, див. EN 1999-1-1.

(1) The numerical values $\Delta\sigma$ of Table I.2 may be applied for bolts of Category A: Bearing Type, see EN 1999-1-1.

Таблиця I.2 – Числові значення $\Delta\sigma$ (Н/мм²) для болтових з'єднань
Table I.2 – Numerical values of $\Delta\sigma$ (N/mm²) for bolted joints

Деталізована категорія для гладкого матеріалу Detail Category ($N_c = 2 \times 10^6$) for plain material	Відповідна Деталізована категорія ($N_c = 2 \times 10^6$) для болтових з'єднань Corresponding Detail Category ($N_c = 2 \times 10^6$) for bolted joints		$N = 10^5$	$N_D = 2 \times 10^6$	$N_L = 10^8$
	$\Delta\sigma_c$	$m_1 = m_2$			
71	45	4	95,2	35,8	16,9
50	40	4	84,6	31,8	15,0
40	25	4	52,9	19,9	9,4
32	20	4	42,3	15,9	7,5
25	16	4	33,8	12,7	6,0

I.2.3.2 Шарнірні з'єднання

I.2.3.2 Pinned joints

(1) Значення втомної міцності для шарнірних з'єднань не входять у EN 1999-1-3.

(1) Fatigue strength values for pinned joints are not covered by EN 1999-1-3.

Примітка 1. Значення втомної міцності з таблиці J.15 для болтових з'єднань можуть використовуватися, якщо в аналізі розрахунку адекватно та надійно розглядається розподіл напруження на шарнірі та в елементі, наприклад, за допомогою місцевого розрахунку напруження.

NOTE 1: Fatigue strength values of Table J.15 for bolted joints may be used provided that design analysis considers adequately and reliably the stress distribution along the pin and the member, e.g. by geometric stress calculation.

Примітка 2. Значення втомної міцності для шарнірних з'єднань ливарних сплавів можуть бути визначені у Національному додатку.

NOTE 2: Fatigue strength values for pinned joints of castings may be defined in the National Annex.

I.2.4 Ливарні сплави з адгезійними з'єднаннями

I.2.4 Adhesively bonded castings

(1) Адгезійні з'єднання в ливарних сплавах не розглядаються у EN 1999-1-3.

(1) Adhesively bonded joints in castings are not covered by EN 1999-1-3.

Примітка. Значення втомної міцності для адгезійних з'єднань в ливарних сплавах можуть визначатися у Національному додатку.

NOTE: Fatigue strength values for adhesively bonded joints in castings may be defined in the National Annex.

I.3 Вимоги до якості

(1) Повинні розглядатися додаткові обмеження з таблиці I.3, які стосуються діаметру пор.

I.3 Quality requirements

(1) The additional limitations in Table I.3 concerning maximum pore diameter should be observed.

Таблиця I.3 – Значення максимального діаметру пор для ливарних сплавів, мм
Table I.3 – Values for maximum pore diameter [mm] for castings

Деталізована категорія Detail Category ($N_c = 2 \times 10^6$)	71	50	40	32	25
Максимальний діаметр пор maximum pore diameter	0,2	0,5	0,9	1,5	2,0 (нормальний) (normal)

Примітка. Виготовлення ливарних сплавів з діаметром пор менше, ніж 0,6 мм, потребує спеціальних навиків, досвіду, техніки та технології лиття. До того ж виявлення пор з діаметром менше, ніж 0,6 мм, потребує спеціального обладнання, особливо для значень до 0,2 мм, коли можливість виявлення дефектів такого розміру залежить також від форми (товщини) ливарного сплаву. Допущення, зроблені для матеріальних властивостей ливарного сплаву, який використовуються у конструкційному розрахунку, повинні бути завірнені виробником ливарного сплаву.

NOTE: Producing castings with pore diameter less than 0,6 mm requires special skill, experience and cast technique and technology. Furthermore detecting pores less than 0,6 mm requires special equipment especially for the range up to 0,2 mm, where the possibility of detecting flaws of such a size depends also on the shape (thickness) of the casting. Assumptions made for the material properties of castings, to be used in the structural design, should be confirmed by the casting manufacturer.

**ДОДАТОК J
(ДОВІДКОВИЙ):
ТАБЛИЦІ ДЕТАЛІЗОВАНИХ
КАТЕГОРІЙ**

J.1 Загальні положення

(1) Деталізовані категорії та співвідношення $\Delta\sigma - N$, вказані у даному Додатку, можуть використовуватися лише при врахуванні положень Розділу 6.

(2) Значення деталізованих категорій дійсні для температури навколишнього повітря та зовнішніх умов, які не потребують захисту поверхні (див. табл. 6.2), та в зв'язку з вимогами до виконання EN 1090-3. Ці значення отримуються зі значень коефіцієнта напруження, які не менше, ніж 0,5.

**ANNEX J
[INFORMATIVE]
DETAIL CATEGORY TABLES**

J.1 General

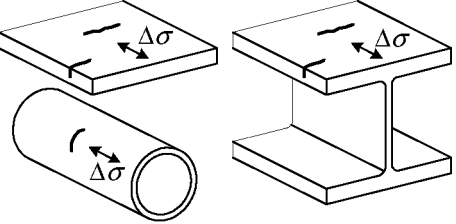
(1) The detail categories and the $\Delta\sigma - N$ relationships in this Annex may only be used with the provisions of Chapter 6.

(2) The detail category values are valid for ambient temperature, exposure conditions which do not require any surface protection (see Table 6.2), and in connection with the execution requirements of EN 1090-3. These values are derived for stress ratio values not smaller than 0,5.

Таблиця J.1 – Деталізовані категорії для простих елементів.
Table J.1 – Detail categories for plain members

Деталізована категорія		Форми продукції					
Тип деталі	Обмеження сплаву	Конструкційна деталь		Орієнтація напруження	Розрахунок напруження	Вимоги до виконання	
		Ділянка виникнення пошкодження					
Detail type	Detail category	Product forms		Stress orientation	Stress analysis	Execution requirements	
$\Delta\sigma - m_1^{1)}$		Constructional detail					
Alloy restriction		Initiation site					
1.1	125-7 7020 тільки (only)	Лист, плита та простий пресований стержень та пруток машинної обробки		Паралельний або нормальний ²⁾ по відношенню до прокату або екструзії	Основне номінальне напруження на ділянках виникнення	Поверхня без гострих кутів , тільки якщо не паралельна до напрямку	Відсутність вхідних кутів у профілі, відсутність контакту з іншими

ДСТУ-Н Б EN 1999-1-3:201X

		Sheet, plate and simple extruded rod and bar, machined parts	напрямок	пошкодження	напруження, кути без концентратора напружень	частинами. Механічна обробка поверхні
			Parallel or normal ²⁾ to rolling or extrusion direction	Principal nominal stress at initiation site	Surface free of sharp corners unless parallel to stress direction, edges free of stress raisers	$R_{z5} < 40 \mu m$.
1.2	90-7	Нерівність поверхні Surface irregularity				Візуальна перевірка
						No re-entrant corners in profile, no contact with other parts.
						Machined with a surface finish
						$R_{z5} < 40 \mu m$.
						Visual inspection.
1.3	80-7 7020 тільки (only)	Лист, плита, екструдовані профілі, труби, ковани деталі Sheet, plate, extrusions, tubes, forgings				Ручне шліфування не дозволяється, тільки якщо не в напрямку, паралельному

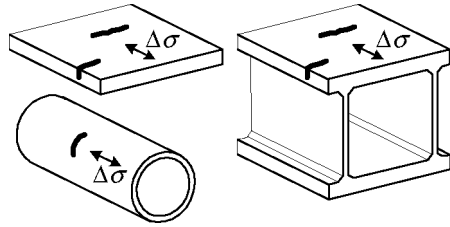
напруженню. Відсутність
подряпин.поперечних
напрямку напруження.
Візуальна перевірка.

Hand grinding not
permitted unless parallel to
stress direction. No score
marks transverse to stress
direction. Visual
inspection.

Просверлені та
розгорнуті отвори.
Відсутність подряпин
поперечних
орієнтації напруження.
Візуальна перевірка.

Holes drilled and reamed.
No score marks transverse
to stress orientation. Visual
inspection.

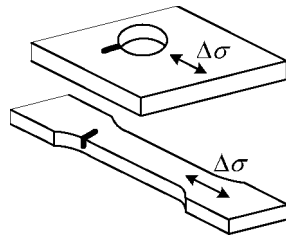
1.4 71-7



Нерівність поверхні
Surface irregularity

Виймки, отвори
Notches, holes

1.5 140-7
7020 тільки
(only)



Нерівність поверхні
Surface irregularity

Розрахунок
концентрації
напруження див у
D.2

Account for stress
concentration: see
D.2

1.6 100-7

ДСТУ-НБ EN 1999-1-3:201X

1) $m^1 = m^2$, границя втоми постійної амплітуди при 2×10^6 циклах

2) Якщо орієнтація напруження нормальна по відношенню до екструзії, виробник повинен проконсультуватися щодо якості у випадку, коли екструзія виконується за допомогою вхідного отвору або комбінованої матриці.

3) R_{z5} див. у EN-ISO 4287 та EN-ISO 4288.

1) $m^1 = m^2$, constant amplitude fatigue limit at 2×10^6 cycles.

2) If the stress orientation is normal to the extrusion direction the manufacturer should be consulted concerning the quality assurance in case of extrusions by port hole or bridge die.

3) R_{z5} see EN-ISO 4287 and EN-ISO 4288.

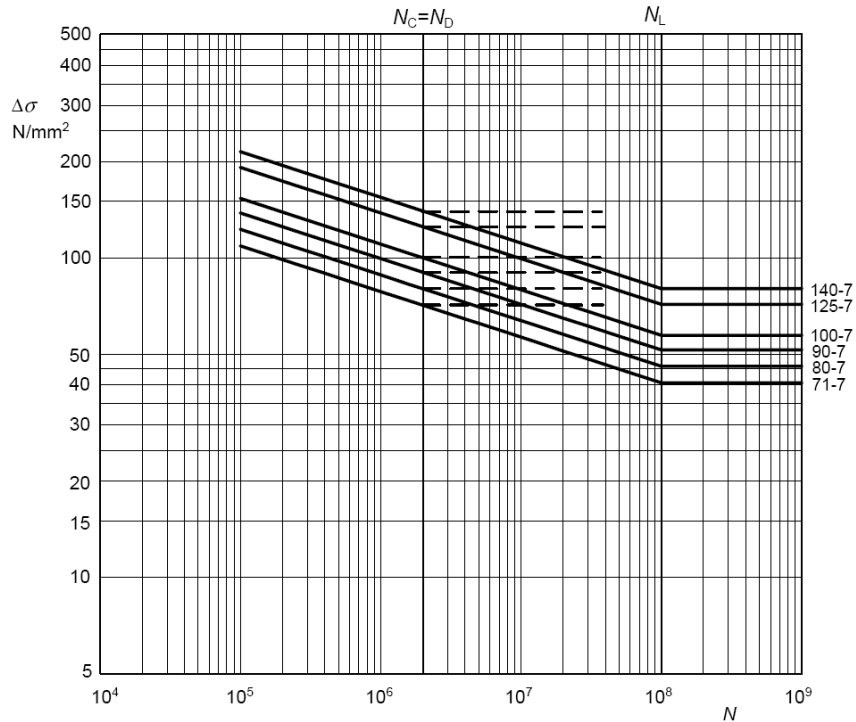


Рисунок J.1 – Криві втомної міцності $\Delta\sigma - N$ для простих елементів – категорії такі ж, як у таблиці J.1

Figure J.1 – Fatigue strength curves $\Delta\sigma - N$ for plain members - categories as in Table J.1

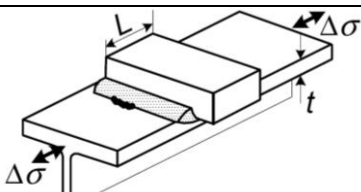
Таблиця J.2 – Числові значення of $\Delta\Sigma - N$ (Н/мм²) для простих елементів – категорії такі ж, як у таблиці J.1

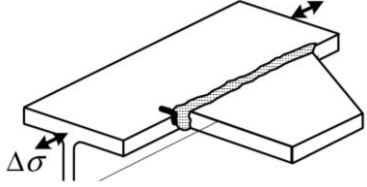
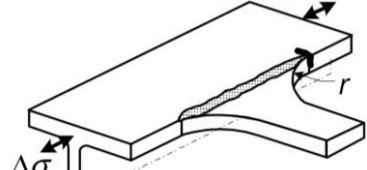
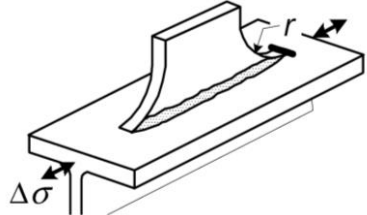
Table J.2 – Numerical values of $\Delta\Sigma - N$ (N/mm²) for plain members - detail categories as in table J.1

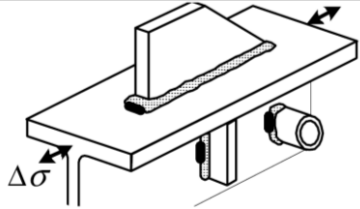
Нахил Slope		Цикли N Cycles N						
m_1	m_2	1E+05	1E+06	2E+06	5E+06	1E+07	1E+08	1E+09
7,0	7,0	214,8	154,6	140,0	122,8	111,2	80,1	80,1
7,0	7,0	191,8	138,0	125,0	109,7	99,3	71,5	71,5
7,0	7,0	153,4	110,4	100,0	87,7	79,5	57,2	57,2
7,0	7,0	138,1	99,4	90,0	79,0	71,5	51,5	51,5
7,0	7,0	122,7	88,3	80,0	70,2	63,6	45,7	45,7
7,0	7,0	108,9	78,4	71,0	62,3	56,4	40,6	40,6

Таблиця J.3 – Деталізовані категорії для елементів зі зварними приєднаннями – поперечна кромка зварного шва

Table J.3 – Detail categories for members with welded attachments – transverse weld toe

Тип деталі 1 Detail type	Деталізована категорія Detail category $\Delta\sigma - m_1$ 1) 2)	Конструкційна деталь Ділянка виникнення пошкодження Constructional detail Initiation site	Розміри (мм) Dimensions (mm)	Розрахунок напруження Stress analysis		Вимоги до виконання Execution requirements	
				Параметр напруження Stress parameter	Дозволене напруження для Stress already allowed for	Рівень якості ³⁾ Qua_lity level ³⁾	
3.1	32-3,4	 <p>На поперечній кромці зварного шва в напруженому елементі, подалі від краю (зварювання виконується у поздовжньому напрямку на краю полки) At transverse weld toe on stressed member, away from edge (weld continued longitudinally at flange edge)</p>	$L \leq 20$	Номінальне напруження на ділянці виникнення пошкодження Nominal stress at initiation site	Ефект підвищення жорсткості приєднання Stiffening effect of attachment	Шліфування Підріз Згладжування Grind Undercut smooth	C
3.2	25-3,4 23-3,4 20-3,4 $t \leq 4$ $4 < t \leq 10$ $10 < t \leq 15$		$L > 20$				
3.3	28-3,4		$L \leq 20$				
3.4	23-3,4 20-3,4 18-3,4 $t \leq 4$		$L > 20$				

	$4 < t \leq 10$ $10 < t \leq 15$	<p>На поперечній кромці зварного шва в напруженому елементі на куті (зварювання виконується у поздовжньому напрямку на краю полки)</p> <p>At transverse weld toe on stressed member at corner (weld continued longitudinally at flange edge)</p>					
3.5	18-3,4	 <p>Поверхня елемента на краю Member surface on edge</p>	Немає радіусу No radius				
3.6	36-3,4	 <p>Внутрішня кромка зварного шва на краю In ground weld toe on edge</p>	$r \geq 50$				
3.7	36-3,4	 <p>Внутрішня кромка зварного шва на краю на кінці шва In ground weld toe on edge at weld end</p>	$r \geq 50$				<p>Радіус шліфування паралельний напрямку напруження</p> <p>Кромка зварного шва повинна бути повністю зовнішня</p> <p>Grind radius parallel to stress direction.</p> <p>Weld toe should be fully ground out</p>

3.8	23-3,4	 <p>На поверхні елемента на поперечному зварному шві On member surface at transverse weld</p>	Немає радіусу No radius				
<p>¹⁾ $m_2 = m_1 + 2$ ²⁾ Для плоских елементів під дією згинального напруження див. 6.2.1(11) та для збільшення на дві деталізовані категорії; ³⁾ Відповідно до EN ISO 10042:2005 ¹⁾ $m_2 = m_1 + 2$ ²⁾ For flat members under bending stresses see 6.2.1(11) and increase by two detail categories. ³⁾ According to EN ISO 10042:2005</p>							

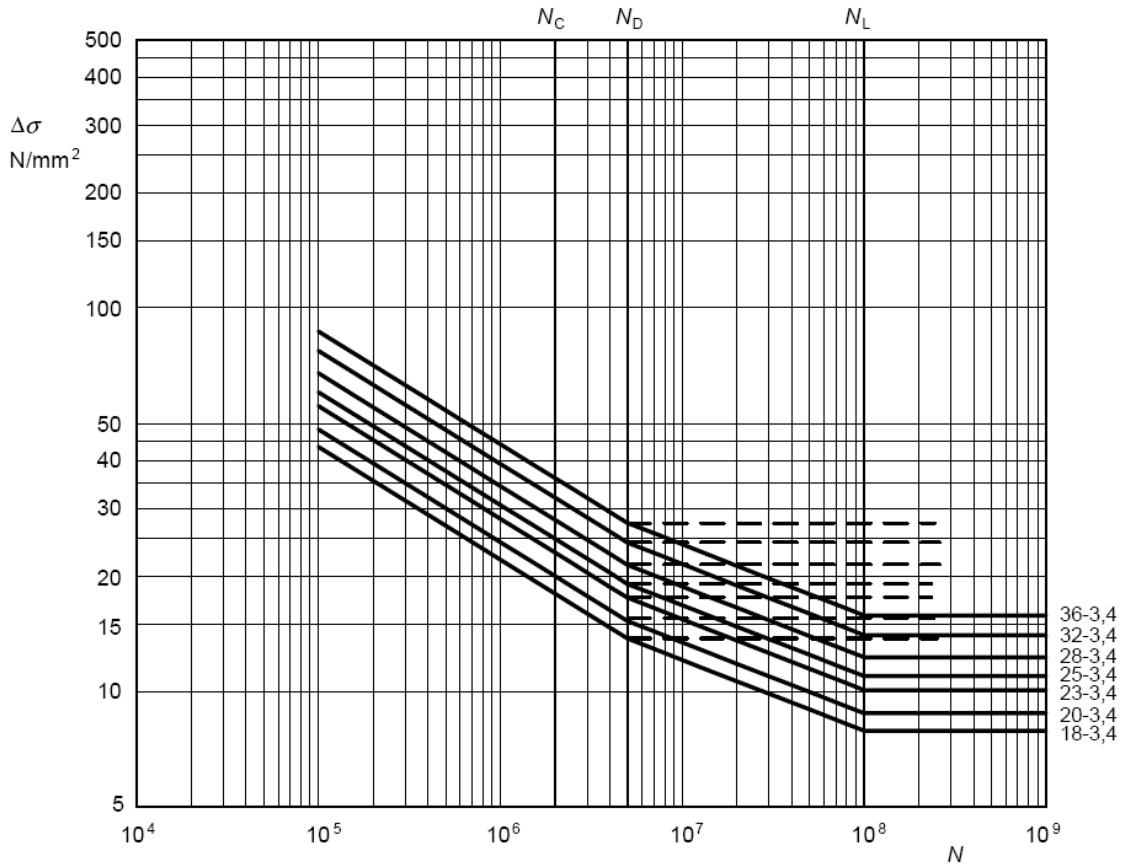


Рисунок J.2 – Криві втомної міцності $\Delta\sigma - N$ для елементів зі зварними з’єднаннями, поперечним зварним швом – деталізовані категорії відповідно до таблиці J.3

Figure J.2 – Fatigue strength curves $\Delta\sigma - N$ for members with welded attachments, transverse weld toe – detail categories as in Table J.3

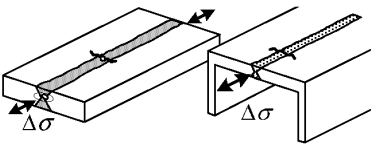
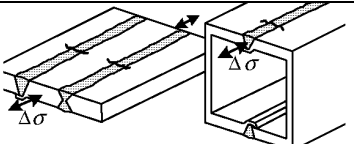
Таблиця J.4 – Числові значення $\Delta\sigma - N$ (Н/мм²) для зварних з’єднань, поперечного зварного шва – деталізовані категорії відповідно до таблиці J.3

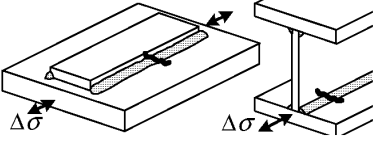
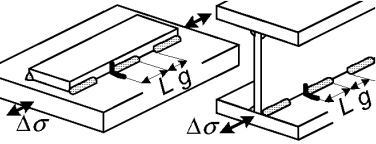
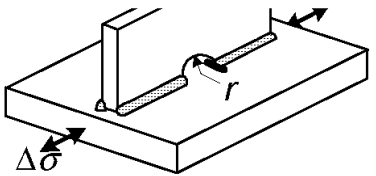
Table J.4 – Numerical values of $\Delta\sigma - N$ (N/mm²) for welded attachments, transverse weld toe – detail categories as in Table J.3

Нахил Slope		Цикли N Cycles N						
m_1	m_2	1E+05	1E+06	2E+06	5E+06	1E+07	1E+08	1E+09
3,4	5,4	86,9	44,1	36,0	27,5	24,2	15,8	15,8
3,4	5,4	77,2	39,2	32,0	24,4	21,5	14,0	14,0
3,4	5,4	67,6	34,3	28,0	21,4	18,8	12,3	12,3
3,4	5,4	60,3	30,7	25,0	19,1	16,8	11,0	11,0
3,4	5,4	55,5	28,2	23,0	17,6	15,5	10,1	10,1
3,4	5,4	48,3	24,5	20,0	15,3	13,4	8,8	8,8
3,4	5,4	43,4	22,1	18,0	13,7	12,1	7,9	7,9

Таблиця J.5 – Деталізовані категорії для елементів з поздовжніми зварними швами

Table J.5 – Detail categories for members with longitudinal welds

Деталь типу 1 Detail type	Деталізована категорія $\Delta\sigma - m_1^{(1)}$ Detail category $\Delta\sigma - m_1^{(1)}$	Конструкційна деталь Ділянка виникнення пошкодження Constructional detail Initiation site	Тип зварного шва Weld type	Розрахунок напруження Stress analysis		Вимоги до виконання Execution requirements			
				Параметр напруження Stress parameter	Дозволена онцентрація напруження, Stress concentrations already allowed for	Характеристики зварювання Welding characteristics	Рівень якості Quality level ³⁾		Додатково additional
							Внутршн. internal	Поверхня та геомтр. Surface and geometric	
5.1	63-4,3	 <p>Розрив зварного шва At weld discontinuity</p>	Зварний стиковий шов повного проварювання Full penetration butt weld	Нормальне напруження на ділянці виникнення пошкодження Nominal stress at initiation site	Автоматичне зварювання безпервним швом Continuous automatic welding	B	C		
5.2	56-4,3					C	C		
5.3	45-4,3	 <p>Розрив зварного шва</p>	Зварний стиковий шов повного проварювання		Будь-які підкладки для подовження Any backing	C	D	2)	

		At weld discontinuity	Full penetration butt weld			bars to be continuous			
5.4	45-4,3		Безперервний кутовий шов Continuous fillet weld				B	C	
5.5	40-4,3	Розрив зварного шва At weld discontinuity					C	D	
5.6	36-4,3		Переривчастий кутовий шов $g \leq 25L$ Intermittent fillet weld $g \leq 25L$				C	D	
5.7	28-4,3		Отвір верхньої частини з центром на осі зварного шва $r \leq 25$ Core hole centred on weld axis $r \leq 25$		Наявність отвору у верхній частині Presence of core hole		C	D	

¹⁾ $m_2 = m_1 + 2$

²⁾ Безперервність у напрямку поздовжнього зварного шва повинна бути не довше, ніж 1/10 товщини плити або мати нахил крутіший за 1:4.

³⁾ Відповідно до EN ISO 10042:2005

¹⁾ $m_2 = m_1 + 2$

²⁾ Discontinuity in direction of longitudinal weld should be not longer than 1/10 of the plate thickness or exhibit a slope steeper than 1:4.

³⁾ According to EN ISO 10042:2005

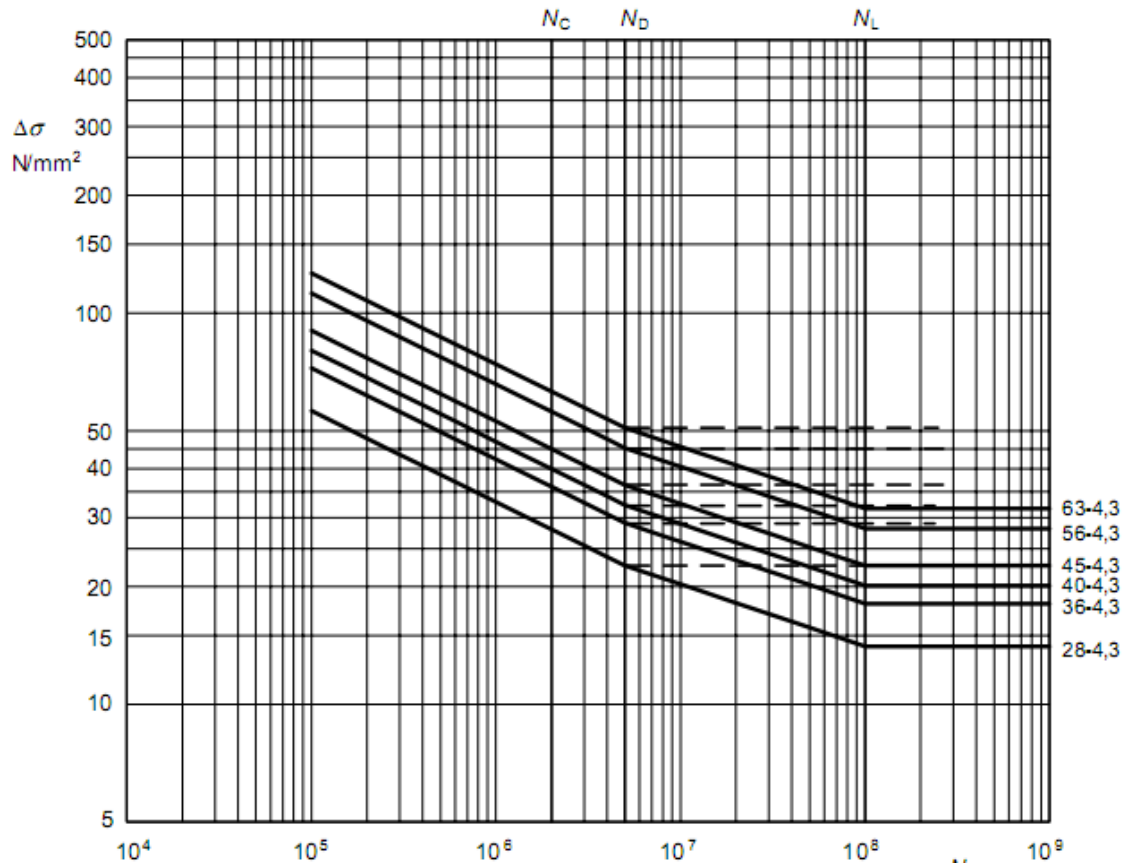


Рисунок J.3 – Криві втомної міцності $\Delta\sigma - N$ для елементів з поздовжніми зварними швами – категорії відповідно до таблиці J.5

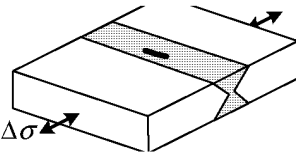
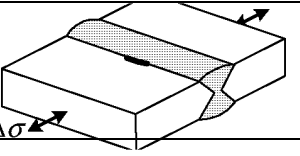
Figure J.3 – Fatigue strength curves $\Delta\sigma - N$ for members with longitudinal welds - detail categories as in Table J.5

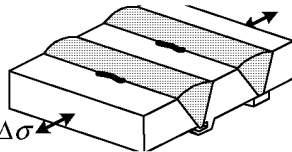
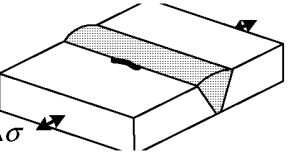
Таблиця J.6 – Числові значення $\Delta\sigma - N$ (Н/мм²) з поздовжніми зварними швами – категорії відповідно до таблиці J.5

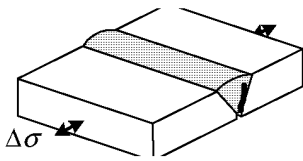
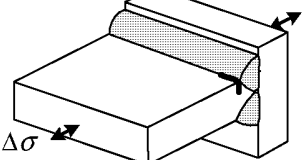
Table J.6 – Numerical values of $\Delta\sigma - N$ (N/mm²) with longitudinal welds - detail categories as in Table J.5

Нахил Slope		Цикли N Cycles N						
m_1	m_2	1E+05	1E+06	2E+06	5E+06	1E+07	1E+08	1E+09
4,3	6,3	126,4	74,0	63,0	50,9	45,6	31,6	31,6
4,3	6,3	112,4	65,8	56,0	45,3	40,5	28,1	28,1
4,3	6,3	90,3	52,9	45,0	36,4	32,6	22,6	22,6
4,3	6,3	80,3	47,0	40,0	32,3	29,0	20,1	20,1
4,3	6,3	72,3	42,3	36,0	29,1	26,1	18,1	18,1
4,3	6,3	56,2	32,9	28,0	22,6	20,3	14,1	14,1

Таблиця J.7 Деталізовані категорії для елементів з поздовжніми зварними швами
Table J.7 Detail categories for members with longitudinal welds

Деталь типу Detail type	Деталізована категорія Detail category $\Delta\sigma\text{-}m_1^1)$	Конструкційна деталь Ділянка виникнення пошкодження Constructional detail Initiation site	Тип зварного шва Weld type	З'єднувальна частина Joint Part	Розрахунок напруження Stress analysis	Вимоги до виконання Execution requirements				
						Характеристики зварювання Welding characteristics	Рівень якості Quality level ³⁾		Додатков. Additional	
							Внутрішн. Internal	Поверхня та геометр. Surface and geometric		
7.1.1	56-7	 <p>Зварний шов Weld</p>	Повне проварювання, шліфування верху з обох сторін Full penetration, caps ground flush both sides	Листовий прокат, сухі речовини Flats, solids	Робочий переріз Net section	Зовнішній корінь шва Root ground off	Подовжувальні плити на кінцях, відрізання та шліфування у напрямку напруження Extension plates used on ends, cut off and ground flush in	B	B	б)
7.1.2	45-7		Відкриті форми Open shapes					C	C	
7.2.1	50-4,3		Зварювання з обох сторін, повне	Листовий прокат, сухі речовини				B	B	4)б)
7.2.2	40-3,4							B	C	б)

		Кромка зварного шва Weld toe	проварювання	Flats, solids			direction of stress			
7.2.3	36-3,4		Welded from both sides, full penetration	Відкриті форми Open shapes				C	C	
7.3.1	40-4,3		Зварювання з однієї сторони, повне проварювання з постійним реверсуванням	Листовий прокат, сухі речовини Flats, solids				C	C	
7.3.2	32-3,4	 Кромка зварного шва Weld toe	Welded one side only, full penetration with permanent backing	Відкриті форми, порожнисті трубчасті Open shapes, hollow, tubular				C	C	б)
7.4.1	45-4,3		Зварювання з однієї сторони, повне проварювання без реверсування	Листовий прокат, сухі речовини				B	B	5) б)
7.4.2	40-4,3	 Кромка зварного шва Weld toe	Welded one side only, full	Flats, solids				C	C	
7.4.3	32-3,4		Welded one side only, full	Відкриті форми, порожнисті, трубчасті Open shapes, hollow,				C	C	б)

			penetration without backing	tubular					
7.5	18-3,4	 <p>Зварний шов Weld</p>	<p>Часткове проварювання Partial penetration</p>		<p>Нетто-переріз товщини зварного шва Net throat</p>		D	D	
7.6	36-3,4	 <p>Кромка зварного шва Weld toe</p>	<p>Повне проварювання Full penetration</p>		<p>Робочий переріз²⁾ Net section²⁾</p>		B	B	

¹⁾ $m_2 = m_1 + 2$

²⁾ Безперервність у напрямку поздовжнього зварного шва повинна бути не довше, ніж 1/10 товщини плити або мати нахил крутіший за 1:4.

³⁾ Відповідно до EN ISO 10042:2005

¹⁾ $m_2 = m_1 + 2$

²⁾ Discontinuity in direction of longitudinal weld should be not longer than 1/10 of the plate thickness or exhibit a slope steeper than 1:4.

³⁾ According to EN ISO 10042:2005

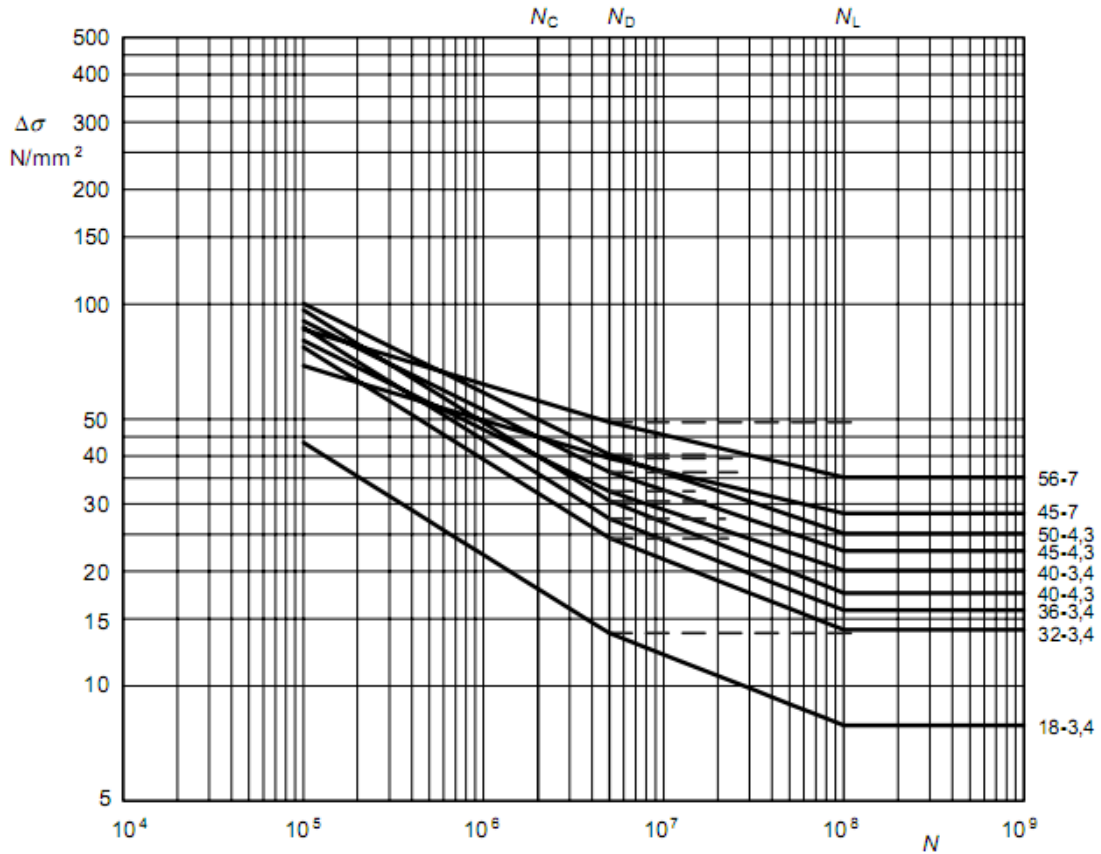


Рисунок J.4 – Криві втомної міцності $\Delta\sigma - N$ для стикових зварних з'єднань між елементами – деталізовані категорії відповідно до таблиці J.7

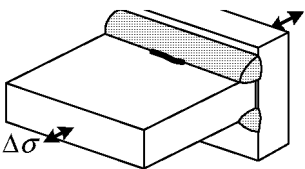
Figure J.4 – Fatigue strength curves $\Delta\sigma - N$ for butt welded joints between members – detail categories as in Table J.7

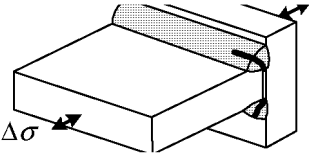
Таблиця J.8 – Числові значення $\Delta\sigma - N$ (Н/мм²) для стикових зварних з'єднань між елементами – деталізовані категорії відповідно до таблиці J.7

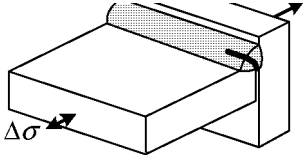
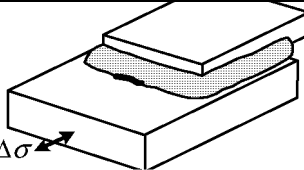
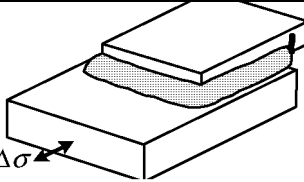
Table J.8 – Numerical values of $\Delta\sigma - N$ (N/mm²) for butt welded joints between members – detail categories as in Table J.7

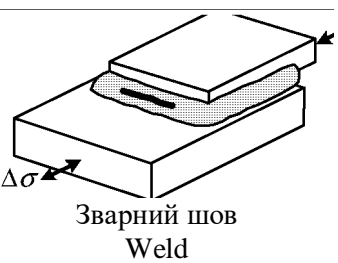
Нахил Slope		Цикли N Cycles N						
m_1	m_2	1E+05	1E+06	2E+06	5E+06	1E+07	1E+08	1E+09
7	9	85,9	61,8	56,0	49,1	45,5	35,2	35,2
7	9	69,0	49,7	45,0	39,5	36,6	28,3	28,3
4,3	6,3	100,4	58,7	50,0	40,4	36,2	25,1	25,1
4,3	6,3	90,3	52,9	45,0	36,4	32,6	22,6	22,6
3,4	5,4	96,5	49,0	40,0	30,6	26,9	17,5	17,5
4,3	6,3	80,3	47,0	40,0	32,3	29,0	20,1	20,1
3,4	5,4	86,9	44,1	36,0	27,5	24,2	15,8	15,8
3,4	5,4	77,2	39,2	32,0	24,4	21,5	14,0	14,0
3,4	5,4	43,4	22,1	18,0	13,7	12,1	7,9	7,9

Таблиця J.9 – Деталізовані категорії для кутових зварних з'єднань між елементами
Table J.9 – Detail categories for fillet-welded joints between members

Тип деталі Detail type	Деталізована категорія Detail category $\Delta\sigma - m_1^{(1)}$	Конструкційна деталь Ділянка виникнення пошкодження Constructional detail Initiation site	Тип зварного шва Type of weld	Розрахунок напруження Stress analysis		Вимоги до виконання Execution requirements			
				Параметр напруження Stress parameter	Концентрація напруження, дозволена для Stress concentrations already allowed for	Вимоги до зварювання Welding requirement	Рівень якості Quality level ³⁾		Додатково additional
							Внутрішн. internal	Поверхня та геометр. surface and geometric	
9.1	28-3,4	 <p>Кромка зварного шва Weld toe</p>	<p>Подвійний кутовий зварний шов часткового проварювання, тріщина кромки для $a/t > 0,6$</p> <p>Double fillet weld partial penetration; toe</p>	Робочий переріз Net section	<p>Ефект посилення поперечного елемента</p> <p>Stiffening effect of transverse element</p>	<p>Подовжувальні плити на кінцях, відрізання та шліфування у напрямку $\Delta\sigma$</p> <p>Extension plates used on ends, cut off and ground flush in direction of $\Delta\sigma$</p>	С	С	

			crack for $a/t > 0,6$					
9.2	25-3,4	 <p>Зварний шов Weld</p>	<p>Подвійни й кутовий зварний шов частково го проварю вання, тріщина корня для $a/t \leq 0,6$</p> <p>Double fillet weld partial penetratio n; root crack for $a/t \leq 0,6$</p>	<p>Нетто- переріз товщин и зварног о шва Net throat</p>			С	С

<p>9.3</p>	<p>12-3,4</p>	 <p>Зварний шов Weld</p>	<p>Односторонній кутовий зварний шов ²⁾ для тріщини корня шва для $a/t \leq 0,6$</p> <p>One sided fillet weld 2) root crack for $a/t \leq 0,6$</p>				<p>C</p>	<p>C</p>	
<p>9.4</p>	<p>23-3,4</p>	 <p>Кромка зварного шва Weld toe</p>	<p>Кутовий зварний шов Fillet weld</p>	<p>Робочий переріз Net section</p>	<p>Пік напруження на кінцях зварного шва Stress peak at weld ends</p>		<p>C</p>	<p>C</p>	
<p>9.5</p>	<p>18-3,4</p>	 <p>Кромка зварного шва Weld toe</p>	<p>Кутовий зварний шов Fillet weld</p>				<p>C</p>	<p>C</p>	

9.6	14-3,4	 <p>Зварний шов Weld</p>	Кутовий зварний шов Fillet weld	Нетто-переріз товщин и зварного шва, див. 5.4.2 Net throat, see 5.4.2			C	C	
<p>1) $m_2 = m_1 + 2$ 2) У випадку наявності трубчастого поперечного перерізу розрахунок проводиться за типом деталі 9.1 або 9.2 відповідно.. 3) Відповідно до EN ISO 10042:2005</p> <p>1) $m_2 = m_1 + 2$ 2) In case of tubular cross section design to detail type 9.1 or 9.2 accordingly. 3) According to EN ISO 10042:2005</p>									

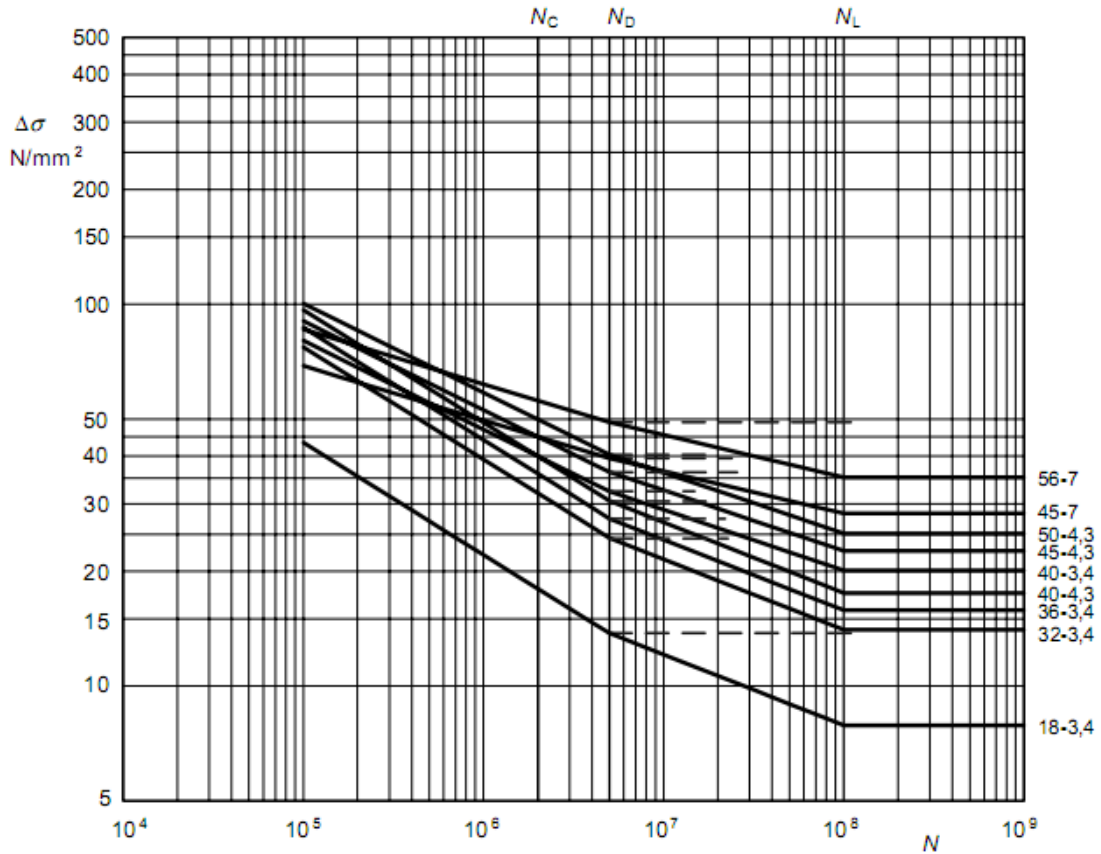


Рисунок J.5 – Криві втомної міцності $\Delta\sigma - N$ для кутових зварних швів між елементами - деталізовані категорії відповідно до таблиці J.9

Figure J.5 – Fatigue strength curves $\Delta\sigma - N$ for fillet-welded joints between members – detail categories as in Table J.9

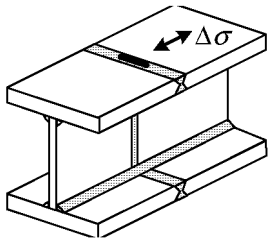
Таблиця J.10 – Числові значення $\Delta\sigma - N$ (Н/мм²) для кутових зварних швів між елементами - деталізовані категорії відповідно до таблиці J.9

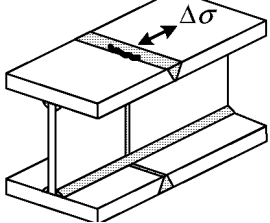
Table J.10 – Numerical values of $\Delta\sigma - N$ (N/mm²) for fillet-welded joints between members– detail categories as in Table J.9

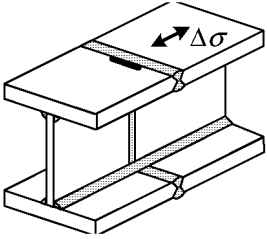
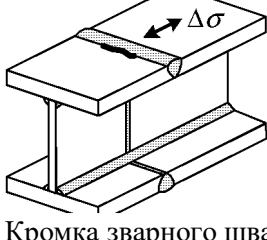
Нахил Slope		Цикли N Cycles N						
m_1	m_2	1E+05	1E+06	2E+06	5E+06	1E+07	1E+08	1E+09
3,4	5,4	67,6	34,3	28,0	21,4	18,8	12,3	12,3
3,4	5,4	60,3	30,7	25,0	19,1	16,8	11,0	11,0
3,4	5,4	55,5	28,2	23,0	17,6	15,5	10,1	10,1
3,4	5,4	43,4	22,1	18,0	13,7	12,1	7,9	7,9
3,4	5,4	33,8	17,2	14,0	10,7	9,4	6,1	6,1
3,4	5,4	29,0	14,7	12,0	9,2	8,1	5,3	5,3

Таблиця J.11 – Деталізовані категорії для поперечних зварних швів у складених балках

Table J.11 – Detail categories for crossing welds on built-up beams

Тип деталі Detail type	Деталізована категорія Detail category $\Delta\sigma - m_1^1$	Конструкційна деталь Constructional detail Ділянка виникнення пошкодження Initiation site	Тип зварного шва ^{2) 3)} Type of weld ^{2) 3)}	Розрахунок напруження Stress analysis	Вимоги до виконання Execution requirements				
					Вимоги до зварювання Welding requirement		Рівень якості ⁴⁾ Quality level ⁴⁾		додатково additional
							Внутрішн.(internal)	Поверхня та геометр. surface and geometric	
11.1	40-3,4	 <p>Зварний шов Weld</p>	Подвійний стиковий зварний шов, повне проварювання, шліфування верху шва з двох сторін Double sided butt weld, full penetration, caps	Робочий переріз Net section	<p>Подовжувальна плита на кінцях, відрізання та шліфування у напрямку $\Delta\sigma$</p> <p>Extension plates used on ends, cut off and ground flush in direction of $\Delta\sigma$</p>	Зовнішній корінь шва Root ground off	В	В	<p>Щодо кутових зварних швів спряження стінки з полицею див. табл. J.5, тип 5.4 або 5.5</p> <p>For web-to-flange fillet welds, see Table J.5, type no. 5.4 or 5.5</p>

			ground flush both sides					
11.2	40-3,4	 <p>Зварний шов Weld</p>	<p>Односторонній стиковий зварний шов, повне проварювання, шліфування верху та корню зварного шва</p> <p>Single sided butt weld, full penetration, root and cap ground flush</p>			В	В	

11.3	36-3,4	 <p>Кромка зварного шва Weld toe</p>	<p>Подвійний стиковий зварний шов, повне проварювання</p> <p>Double sided butt weld, full penetration</p>			<p>Тупий кут $\geq 150^\circ$, зовнішній корінь зварного шва Overfil l angle $\geq 150^\circ$ root ground off</p>	B	C	
11.4	32-3,4	 <p>Кромка зварного шва Weld toe</p>	<p>Односторонній стиковий зварний шов, повне проварювання</p> <p>Single sided butt weld, full penetration</p>				C	C	
<p>¹⁾ $m_2 = m_1 + 2$</p> <p>²⁾ Поперечне стикове з'єднання стінки та полки до повного монтажу балки з поздовжніми зварними швами .</p> <p>³⁾ Конусоподібний нахил $< 1:4$ при зміні ширини або глибини.</p> <p>⁴⁾ Відповідно до EN ISO 10042:2005</p>									

- 1) $m_2 = m_1 + 2$
- 2) Transverse web and flange butt joint before final assembly of beam with longitudinal welds.
- 3) Taper slope < 1:4 at width or thickness change.
- 4) According to EN ISO 10042:2005

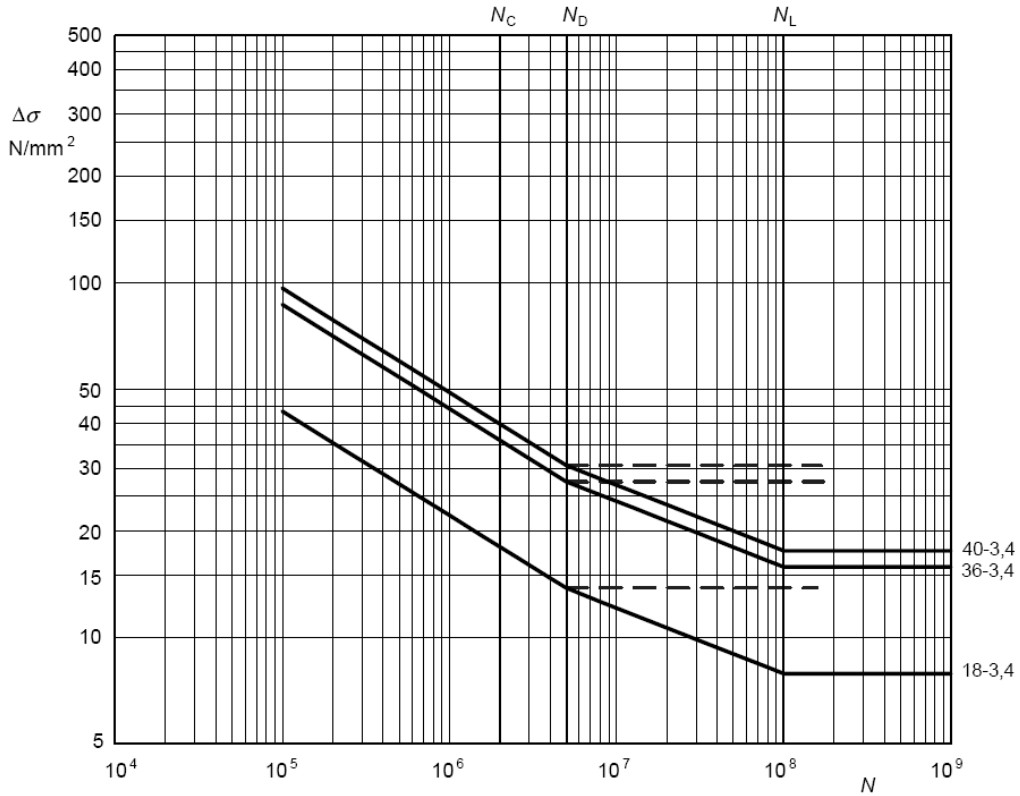


Рисунок J.6 – Криві втомної міцності $\Delta\sigma - N$ для зварних швів складової балки, що перетинаються деталізовані категорії відповідно до таблиці J.11

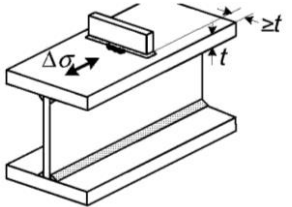
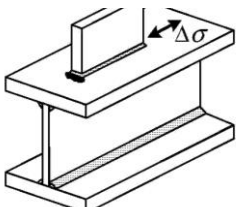
Figure J.6 – Fatigue strength curves $\Delta\sigma - N$ for crossing welds on built-up beams – detail categories as in Table J.11

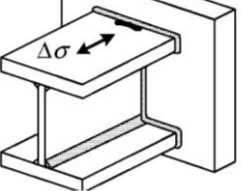
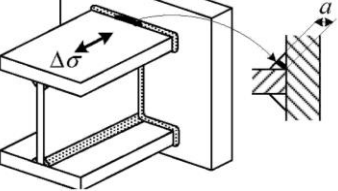
Таблиця J.12 – Числові значення $\Delta\sigma - N$ (Н/мм²) для зварних швів складової балки, що перетинаються деталізовані категорії відповідно до таблиці J.11

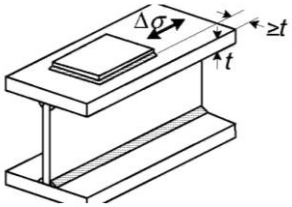
Table J.12 – Numerical values of $\Delta\sigma - N$ (N/mm²) crossing welds on built-up beams – detail categories as in Table J.11

Нахил Slope		Цикл N Cycles N						
m_1	m_2	1E+05	1E+06	2E+06	5E+06	1E+07	1E+08	1E+09
3,4	5,4	96,5	49,0	40,0	30,6	26,9	17,5	17,5
3,4	5,4	86,9	44,1	36,0	27,5	24,2	15,8	15,8
3,4	5,4	43,4	22,1	18,0	13,7	12,1	7,9	7,9

Таблиця J.13 – Деталізовані категорії для приєднань на складаних балках
Table J.13 – Detail categories for attachments on built-up beams

Тип деталі Detail type	Деталізована категорія Detail category $\Delta\sigma - m_1^{1)}$	Конструкційна деталь Constructional detail Ділянка виникнення пошкодження Initiation site	Тип зварного шва Type of weld	Розрахунок напруження Stress analysis		Вимоги до виконання Execution requirements		
				Параметр напруження Stress parameter	Допустимі концентрації напруження Stress concentrations already allowed for	Рівень якості ²⁾ Quality level ²⁾		Додатково additional
						Внутрішн. internal	Поверхня та геометр. surface and geometric	
13.1	23-3,4	 <p>Кромка зварного шва Weld toe</p>	<p>Поперечне з'єднання, товщина < 20 мм, зварне з обох країв</p> <p>Transverse attachment, thickness < 20 mm, welded on one or both sides</p>	Робочий переріз Net section	<p>Посилюючий ефект приєднання / концентрація напруження у «твердій точці» з'єднання (у порівн. з рис. 5.2)</p> <p>Stiffening effect of attachment / stress concentration at “hard point” of connection (compare to Figure 5.2)</p>	C	C	<p>Щодо кутових зварних швів спряження стінки з полицею див. табл. J.5, тип № 5.4 або 5.5</p> <p>For web-to-flange fillet welds, see Table J.5, type no. 5.4 or 5.5</p>
13.2	18-3,4	 <p>Кромка зварного шва</p>	<p>Поздовжнє з'єднання, довжина ≥ 100 мм, зварне з обох країв</p> <p>Longitudinal</p>					

		Weld toe	attachment length ≥ 100 mm, welded on all sides					
13.3	32-4,3	 <p>Кромка зварного шва Weld toe</p>	<p>Хрестовидний або Т-подібний профіль, повне проварювання</p> <p>Cruciform or tee, full penetration</p>					
13.4	25-4,3	 <p>Зварний шов Weld</p>	<p>Хрестовидний або Т-подібний профіль двосторонні кутові зварні шви; тріщина корня шва $a/t \leq 0,6$</p> <p>Cruciform or tee, double sided fillet welds; root crack for $a/t \leq 0,6$</p>	<p>Нетто-переріз товщини зварного шва</p> <p>Net throat</p>				

13.5	20-4,3	 <p>Кромка зварного шва Weld toe</p>	<p>Довжина листа обшивки ≥ 100 mm, зварювання з усіх сторін</p> <p>Coverplate length ≥ 100 mm, welded on all sides</p>	<p>Робочий переріз</p> <p>Net section</p>				
------	--------	---	--	---	--	--	--	--

¹⁾ $m_2 = m_1 + 2$

²⁾ Відповідно до EN ISO 10042:2005.

¹⁾ $m_2 = m_1 + 2$

²⁾ According to EN ISO 10042:2005.

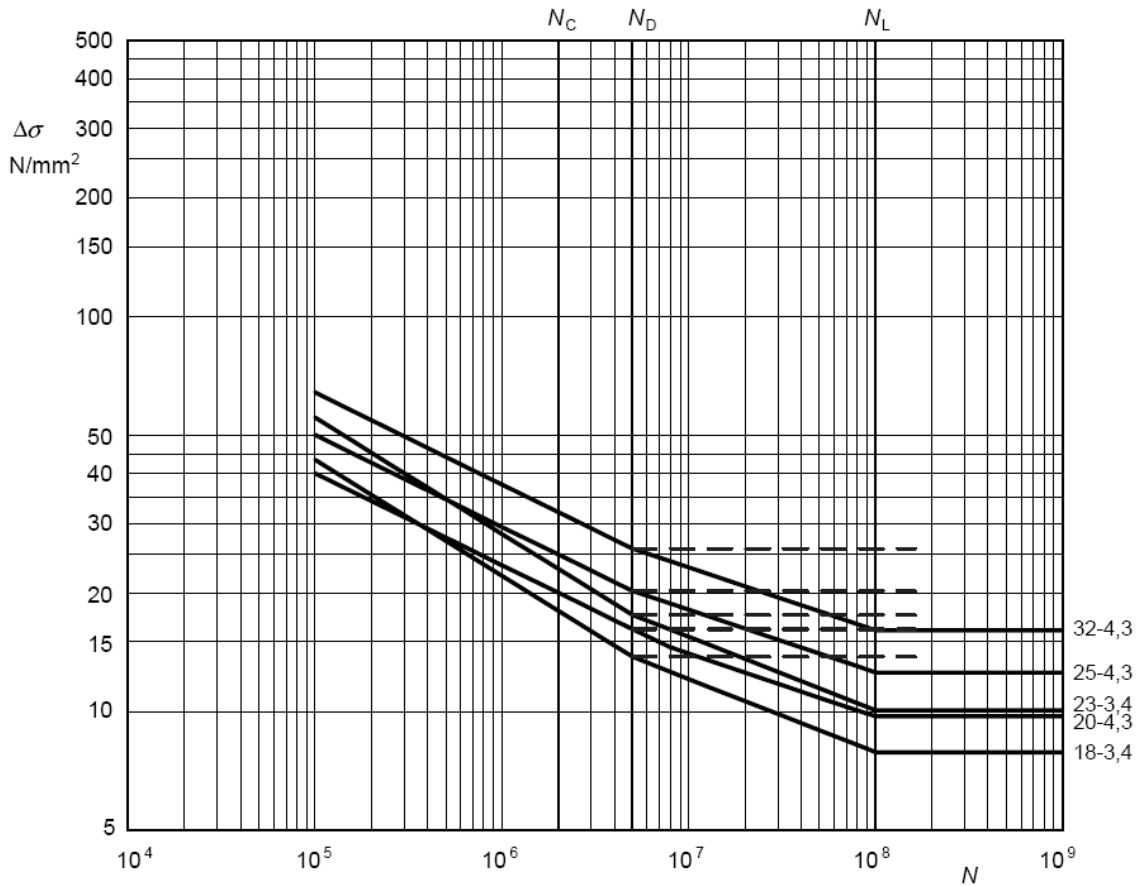


Рисунок J.7 – Криві втомної міцності $\Delta\sigma - N$ для приєднань на складаних балках – деталізовані категорії відповідно до табл. J.13

Figure J.7 – Fatigue strength curves $\Delta\sigma - N$ for attachments on built-up beams – detail categories as in Table J.13

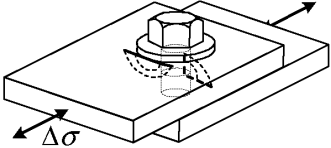
Таблиця J.14 – Числові значення $\Delta\sigma - N$ (Н/мм²) для приєднань на складаних балках – деталізовані категорії відповідно до табл. J.13

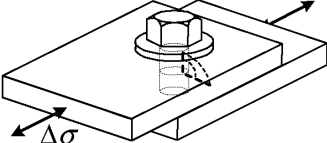
Table J.14 – Numerical values of $\Delta\sigma - N$ (N/mm²) for attachments on built-up beams – detail categories as in Table J.13

Нахил Slope		Цикли N Cycles N						
m_1	m_2	1E+05	1E+06	2E+06	5E+06	1E+07	1E+08	1E+09
4,3	6,3	64,2	37,6	32,0	25,9	23,2	16,1	16,1
4,3	6,3	50,2	29,4	25,0	20,2	18,1	12,6	12,6
3,4	5,4	55,5	28,2	23,0	17,6	15,5	10,1	10,1
4,3	6,3	40,1	23,5	20,0	16,2	14,5	10,0	10,0
3,4	5,4	43,4	22,1	18,0	13,7	12,1	7,9	7,9

Таблиця J.15 – Деталізовані категорії для болтових з'єднань

Table J.15 – Detail categories for bolted joints

Тип деталі Detail type	Деталізована на категорія Detail category $\Delta\sigma - m_1^1$	Конструкційна деталь Constructional detail Ділянка виникнення пошкодження Initiation site	Р напруження Stress analysis		Вимоги до виконання Execution requirements
			Параметр напруження Stress parameter	Допустимі концентрації напруження Stress concentrations already allowed for	
15.1	56-4	<p>Попередньо навантажений (тип тертя), високоміцний сталевий болт Preloaded (friction type), high strength steel bolt</p>  <p>Перед отвором (іноді на краю отвора) In front of hole (sometimes at edge of hole)</p>	<p>Номінальне напруження, яке базується на властивостях перерізу бруття</p> <p>Nominal stress based on gross section properties</p>	<p>Текстура поверхні, геометричні характеристики отвору для кріплення Surface texture, fastener hole geometry;</p> <p>нерівний розподіл навантаження між рядами болтів unequal load distribution between rows of bolts;</p> <p>ексцентриситет шляху навантаження лише у симетричних з'єднаннях внапуск з подвійним покриттям eccentricity of load path in symmetrical double covered lap joints only</p>	<p>З'єднання внапуск з плоскими паралельними поверхнями Lap joint with flat parallel surfaces.</p> <p>Машинна обробка лише за допомогою високошвидкісної фрезерувальної головки; просвердлені отвори (з опційним розгорткуванням) або перфораційні отвори (з обов'язковим розгорткуванням, якщо товщина > 6 мм) Machining only by high speed milling cutter; holes drilled (with optional reaming) or punched (with compulsory reaming if thickness > 6 mm).</p> <p>Для попередньо напружених болтів якість повинна бути 8.8 ($f_y \geq 640$ Н/мм²) або вище, див. EN 1999-1-1. For preloaded bolts the quality should be 8.8 ($f_y \geq 640$ N/mm²) or higher see EN 1999-1-1.</p>
15.2	56-4	<p>Сталевий болт без попереднього навантаження (типу підшипника) Non-preloaded (bearing type) steel bolt</p>	<p>Номінальне напруження, яке базується на властивостях робочого перерізу</p>		<p>З'єднання внапуск з плоскими паралельними поверхнями Lap joint with flat parallel surfaces.</p> <p>Машинна обробка лише за допомогою високошвидкісної фрезерувальної головки; просвердлені отвори (з опційним</p>

		 <p>На краю отвора At edge of hole</p>	<p>Nominal stress based on net section properties</p>		<p>розгортуванням) або перфораційні отвори (з обов'язковим розгортуванням, якщо товщина > 6 мм) Machining only by high speed milling cutter; holes drilled (with optional reaming) or punched (with compulsory reaming if thickness > 6 mm). Інформація щодо болтів міститься у EN 1999-1-1. For bolts see EN 1999-1-1.</p>
<p>¹⁾ $m_2 = m_1 + 2$ ²⁾ Підтвердження опору сталевих болтів: див. EN 1993-1-9. (Verification of the resistance of steel bolts: see EN 1993-1-9.)</p>					

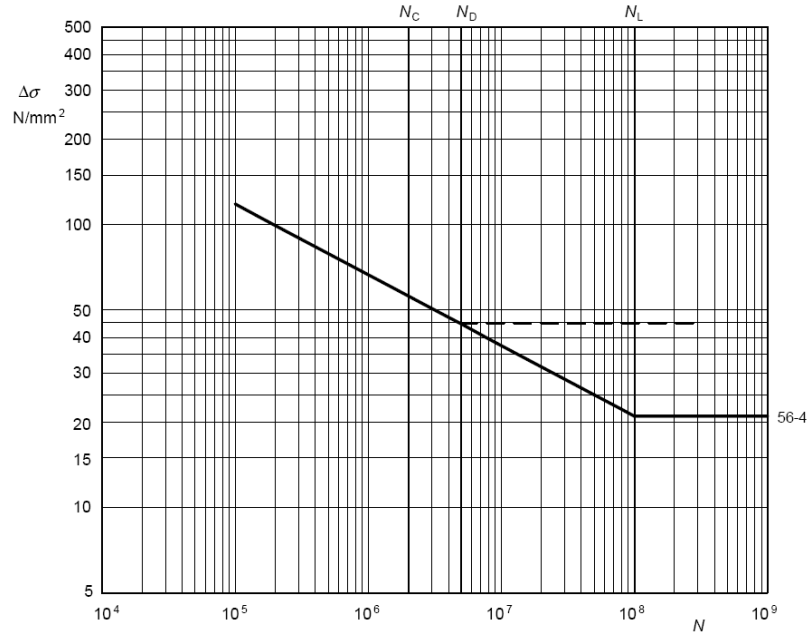


Рисунок J.8 – Криві втомної міцності $\Delta\sigma - N$ для болтових з'єднань- деталізовані категорії відповідно до таблиці J.15

Figure J.8 – Fatigue strength curves $\Delta\sigma - N$ for bolted joints – detail categories as in Table J.15

Таблиця J.16 – Числові значення $\Delta\sigma - N$ (Н/мм²) для болтових з'єднань- деталізовані категорії відповідно до таблиці J.15

Table J.16 – Numerical values of $\Delta\sigma - N$ (N/mm²) for bolted joints – detail categories as in Table J.15

Нахил Slope		Цикли N Cycles N						
m_1	m_2	1E+05	1E+06	2E+06	5E+06	1E+07	1E+08	1E+09
4	4	118,4	66,6	56,0	44,5	37,4	21,1	21,1

**ДОДАТОК К (ДОВІДКОВИЙ): МЕТОД
СТАНДАРТНОЇ ДЕТАЛІ З
МАКСИМАЛЬНИМ МІСЦЕВИМ
НАПРУЖЕННЯМ**

(1) У відповідності з даним Додатком для методу визначення втомної міцності стандартної деталі з максимальним місцевим напруженням повинні використовуватися дані, визначені за вимогами даного стандарту.

(2) Методика розрахунку полягає в наступному:

a) Необхідно обрати стандартну деталь з відомим втомним опором з таблиці деталізованих категорій, яка максимально схожа на оцінювану деталь по якостям зварювання, геометричним характеристикам та параметрам навантаження;

b) визначити тип напруження, при якому проявляється втомний опір. Зазвичай це номінальне напруження (таке, яке вказане у таблиці деталізованих категорій);

c) створити модель МКЕ стандартної деталі та оцінюваної деталі з однаковим типом закріплення та елементами, які відповідають рекомендаціям, наданим у 5.1;

d) прикласти до стандартної деталі та оцінюваної деталі напруження, визначене у b);

e) визначити діапазони напруження $\Delta\sigma_{HS,ref}$ максимального місцевого напруження для стандартної деталі та діапазони напруження $\Delta\sigma_{HS,assess}$ максимального місцевого о напруження для оцінюваної деталі;

f) втомна міцність оцінюваної деталі для 2х мільйонів циклів $\Delta\sigma_{C,assess}$ визначається за класом втоми стандартної деталі $\Delta\sigma_{C,ref}$ за допомогою наступного виразу:

**ANNEX K [INFORMATIVE]: HOT SPOT
REFERENCE DETAIL METHOD**

(1) For the hot spot reference detail fatigue strength method as defined in this Annex, data determined under the requirements of this Standard should be used.

(2) The calculation procedure is as follows:

a) Select a reference detail with known fatigue resistance from the detail category tables, which is as similar as possible to the detail being assessed with respect to weld quality and to geometric and loading parameters;

b) identify the type of stress in which the fatigue resistance is expressed. This is usually nominal stress (as in the detail category tables);

c) establish a FEM model of the reference detail and the detail to be assessed with the same type of meshing and elements following the recommendations given in 5.1;

d) load the reference detail and the detail to be assessed with the stress identified in b);

e) determine the hot spot stress ranges $\Delta\sigma_{HS,ref}$ of the reference detail and the hot spot stress ranges $\Delta\sigma_{HS,assess}$ of the detail to be assessed;

f) the fatigue strength for 2 million cycles of the detail to be assessed $\Delta\sigma_{C,assess}$ is then calculated from the fatigue class of the reference detail $\Delta\sigma_{C,ref}$ by:

$$\Delta\sigma_{C,assess} = \frac{\sigma_{HS,ref}}{\sigma_{HS,assess}} \cdot \Delta\sigma_{C,ref} \quad (K.1)$$

g) допустити для оцінюваної деталі такі ж нахили slopes m_1 , m_2 , як і у стандартної деталі.

g) assume for the detail to be assessed the same slopes m_1 , m_2 of the reference detail.

(3) У випадку, якщо для підтвердження вирахованих напружень використовуються контрольні вимірювання, необхідно забезпечити коректне позиціонування тензометричних датчиків поза зоною, яка зазнає теплового впливу.

(3) In case control measurements are performed to verify the calculated stresses, a correct positioning of the strain gauges outside the heat affected zone should be assured.

Примітка. Додаткова інформація щодо методу стандартної деталі міститься у Бібліографії D.3.

NOTE: Additional information to the reference detail method: see Bibliography D.3.

БІБЛІОГРАФІЯ

ПОСИЛАННЯ ДОДАТКУ В:

МЕХАНІКА РУЙНУВАННЯ

В.1 Стандарний метод випробування для вимірювання рівню розростання втомної тріщини, ASTM E647-93.

В.2 Симуляції коротких тріщин та інших впливів умов низького рівню закриття при використанні $K_{\max} / \Delta K$ -збільшуючих методик розростання втомної тріщини. ASTM STP 1149-1992, pp.197-220.

В.3 У. Граф: Параметри та методики механіки руйнувань для оцінки втомної поведінки зварюваних алюмінієвих елементів. Доповіді з проектування будівель, Мюнхенський технічний університет, доповідь № 3/92 (дослідження TUM-LME, доповідач Д. Костеас, Мюнхен, 1992).

В.4 Р. Ондра: Статистична оцінка даних механіки руйнування для формування напрямків проектування для зварюваних компонентів в алюмінієвих сплавах. Доповіді з проектування будівель, Мюнхенський технічний університет, доповідь №4/98 (дослідження TUM-LME, доповідач Д. Костеас, Мюнхен, 1998).

В.5 Рівняння коефіцієнту інтенсивності напруження для тріщин у тривимірних тіл кінцевих розмірів. ASTM STP 791, 1983, ст. I-238 - I-265.

ПОСИЛАННЯ ДОДАТКУ С:

ВИПРОБУВАННЯ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ НА ВТОМУ

С.1 Д. Костеас: Про втомні характеристики алюмінію. Д. Костеас, доктор педагогічних наук, Алюміній на практиці, журнал «Stahlbau Spezial», випуск № 67(1998) Ernst & Sohn, Берлін

С.2 Р. Джакард, Д. Костеас, Р. Ондра: Базові документи для кривих розрахунку на втому для зварюваних алюмінієвих компонентів. IIW док. №. XIII-1588-95.

BIBLIOGRAPHY

REFERENCES TO ANNEX B:

FRACTURE MECHANICS

B.1 Standard test method for measurement of fatigue crack growth rates, ASTM E647-93.

B.2 Simulations of short crack and other low closure action conditions utilising constant $K_{\max} / \Delta K$ -decreasing fatigue crack growth procedures. ASTM STP 1149-1992, pp.197-220.

B.3 Graf, U.: Fracture mechanics parameters and procedures for the fatigue behaviour estimation of welded aluminium components. Reports from Structural Engineering, Technische Universität München, Report No. 3/92 (TUM-LME research rep. D. Kosteas), Munich, 1992.)

B.4 Ondra, R.: Statistical Evaluation of Fracture Mechanic Data and Formulation of Design Lines for welded Components in Aluminium Alloys. Reports from Structural Engineering, Technische Universität München, Report No. 4/98 (TUM-LME research rep. D. Kosteas), Munich, 1998.

B.5 Stress intensity factor equations for cracks in three-dimensional finite bodies. ASTM STP 791, 1983, pp I-238 to I-265.

REFERENCES TO ANNEX C:

TESTING FOR FATIGUE DESIGN

C.1 Kosteas, D.: On the Fatigue Behaviour of Aluminium. In: Kosteas, D.(Ed.), Aluminium in Practice, Stahlbau Spezial, issue No. 67(1998) Ernst & Sohn, Berlin.

C.2 Jaccard, R., D. Kosteas, R. Ondra: Background Document to Fatigue Design Curves for welded Aluminium Components. IIW doc. No. XIII-1588-95.

ПОСИЛАННЯ ДОДАТКУ D:

РОЗРАХУНОК НАПРУЖЕННЯ

D.1 В.Д. Пілкі: Коефіцієнти концентрації напруження Петерсона, John Wiley and Sons Inc., 1997.

D.2 В.С. Янг, Р.Г. Будинас: Формули Роарка для розрахунку напружень та деформацій, McGraw Hill, 2001.

D.3 А. Хоббахер: Рекомендації щодо втоми зварюваних компонентів, док. XIII-1965-03/XV-1127-03, липень 2004.

REFERENCES TO ANNEX D:

STRESS ANALYSIS

D.1 Pilkey, W. D.: Peterson`s stress concentration factors, John Wiley and Sons Inc., 1997.

D.2 Young, W. C., Budynas R. G.: Roark`s formulas for stress and strain, McGraw Hill, 2001.

D.3 Hobbacher, A: Recommendations on fatigue of welded components, IIW Doc. XIII-1965-03/XV-1127-03, July 2004.

Код УКНД: 91.010.30

Ключові слова: безпека, довговічність, граничні стани, матеріали, міцність вузлів, несуча здатність, проектування вузлів, сталеві конструкції, стійкість.

Генеральний директор ТОВ «Укрінсталькон ім. В.М. Шимановського», д.т.н., проф.	О. Шимановський
Заступник генерального директора ТОВ «Укрінсталькон ім. В.М. Шимановського», д.т.н., проф.	В. Гордєєв
Завідувач НДВТР (керівник розробки), к.т.н.	А. Гром
Завідувач групи СНТД	Г. Ленда
Провідний інженер	С. Виноград
Завідувач групи НТД.	Я. Лимар
Завідувач групи ІК	О. Кордун
Провідний інженер	Я. Левченко
Перекладач	К. Павлова