НАЦІОНАЛЬНИЙ СТАНДАРТ УКРАЇНИ

ДСТУ EN 1993-1-3:20_

(EN 1993-1-3:2024, IDT)

ЄВРОКОД 3.
ПРОЄКТУВАННЯ СТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ

Частина 1-3. Холодноформовані елементи і профільовані листи

(Проєкт, перша редакція)

Київ
ДП «УкрНДНЦ»
202_

ПЕРЕДМОВА

1 РОЗРОБЛЕНО: Технічний комітет стандартизації «Металобудівництво» (ТК 301), Товариство з обмеженою відповідальністю «Український інститут сталевих конструкцій імені В. М. Шимановського»

2 ПРИЙНЯТО ТА НАДАНО ЧИННОСТІ: наказ Державного підприємства «Український науково-дослідний і навчальний центр проблем стандартизації, сертифікації та якості» (ДП «УкрНДНЦ») від ___._____. 202_ р. № _____ з 202__–___–___

3 Національний стандарт відповідає EN 1993-1-3:2024 Eurocode 3 — Design of steel structures — Part 1-3: Cold-formed elements and sheeting (Єврокод 3. Проєктування сталевих конструкцій. Частина 1-3: Холодноформовані елементи і профільовані листи) і внесений з дозволу CEN-CENELEC, Rue de la Science 23, B-1040 Brussels, Belgium. Усі права щодо використання європейських стандартів у будь-якій формі й будь-яким способом залишаються за CEN-CENELEC

Ступінь відповідності – ідентичний (IDT)
Переклад з англійської (en)

4 Цей стандарт розроблено згідно з правилами, установленими в національній стандартизації України

5 НА ЗАМІНУ ДСТУ-Н Б EN 1993-1-3

**Право власності на цей національний стандарт належить державі.
Заборонено повністю або частково видавати, відтворювати
задля розповсюдження і розповсюджувати як офіційне видання
цей національний стандарт або його частини на будь-яких носіях інформації
без дозволу ДП «УкрНДНЦ» чи уповноваженої ним особи**

ДП «УкрНДНЦ», 202X

ЗМІСТ

С.
НАЦІОНАЛЬНИЙ ВСТУП....VI
ПЕРЕДМОВА до EN 1993-1-3:2024 VII
0. ВСТУП X
1 СФЕРА ЗАСТОСУВАННЯ 1
2 НОРМАТИВНІ ПОСИЛАННЯ....2
3 ТЕРМІНИ, ВИЗНАЧЕННЯ ПОНЯТЬ ТА ПОЗНАКИ....4
3.1 Терміни та визначення понять....4
3.2 Познаки....13
3.3 Умовні познаки розмірів поперечного перерізу 44
3.4 Познаки осей елемента....45
4 ОСНОВИ ПРОЄКТУВАННЯ 46
4.1 Основні вимоги 46
4.2 Особливі правила для холодноформованих елементів і профільованих листів 46
5 МАТЕРІАЛИ....50
5.1 Загальні положення....50
5.2 Конструкційна сталь 53
5.3 Кріпильні вироби....58
6 ДОВГОВІЧНІСТЬ....59
7 КОНСТРУКЦІЙНИЙ РОЗРАХУНОК 59
7.1 Конструкційне моделювання для розрахунку 59
7.2 Загальний розрахунок 60
7.3 Конструкційне моделювання холодноформованих сталевих профілів 67
7.4 Розрахунок поперечного перерізу. Геометричні співвідношення і сфера застосування....73
7.5 Розрахунок поперечного перерізу. Викривлення полиць....75
7.6 Розрахунок поперечного перерізу. Місцева втрата стійкості і втрата стійкості зі зміною форми перерізу 76
7.7 Розрахунок поперечного перерізу. Місцева втрата стійкості між кріпильними виробами....114
8 ГРАНИЧНІ СТАНИ ЗА НЕСНОЮ ЗДАТНІСТЮ....115
8.1 Опір поперечних перерізів 115
8.2 Опір елементів втраті стійкості 147

9 ГРАНИЧНІ СТАНИ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ ПРИДАТНОСТІ 157
9.1 Загальні положення 157
9.2 Пластична деформація 159
9.3 Прогини 160
9.4 Витримування навантаження від пішохода трапецієподібним профільованим листом 160
10 ПРОЄКТУВАННЯ ВУЗЛІВ 161
10.1 Загальні положення 161
10.2 Зрощення та кінцеві з'єднання стиснутих елементів 161
10.3 З'єднання механічними кріпильними виробами 162
10.4 Точкові зварні шви 172
10.5 Зварні шви, виконані внапусток 174
11 ОСОБЛИВІ ВИМОГИ ДЛЯ ЕЛЕМЕНТІВ, КАСЕТНИХ ПРОФІЛІВ ТА ПРОФІЛЬОВАНОГО ЛИСТА 180
11.1 Елементи, обмежені профільованим листом , касетними профілями або сендвіч-панелями 180
11.2 Касетні профілі, обмежені профільованим листом 200
11.3 Особливі вимоги до профільованого листа 208
11.4 Бічні і крутильні обмеження елементів, забезпечені профільованим листом, касетними профілями або сендвіч-панелями 225
11.5 Проєктування з урахуванням роботи обшивки I 239
ДОДАТОК А (обов’язковий) МЕТОДИКИ ВИПРОБУВАННЯ 249
А.1 Загальні положення 249
А.2 Випробування матеріалів 251
А.3 Випробування окремих балок і колон 251
А.4 Випробування конструкцій і з'єднань елементів 255
А.5 Випробування профільованого листа і касетних профілів 260
А.6 Випробування елементів, закріплених від кручення 273
А.7 Випробування кріпильних елементів 276
А.8 Випробування складників складського обладнання 277
А.9 Оцінювання результатів випробування 278
ДОДАТОК В (довідковий) ДОВГОВІЧНІСТЬ КРІПИЛЬНИХ ВИРОБІВ 285
В.1 Застосування цього додатка 285
В.2 Сфера та область застосування 285

ДОДАТОК С (обов’язковий) ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНИХ ШИРИНИ І ТОВЩИНИ КРАЙОВИХ ЕЛЕМЕНТІВ ЗМІШАНИМ МЕТОДОМ 288
С.1 Застосування цього додатка 288
С.2 Сфера та область застосування 288
С.3 Опір поперечного перерізу 288
БІБЛІОГРАФІЯ 291
ДОДАТОК НА (довідковий) ПЕРЕЛІК НАЦІОНАЛЬНИХ СТАНДАРТІВ УКРАЇНИ, ІДЕНТИЧНИХ ЄВРОПЕЙСЬКИМ ТА МІЖНАРОДНИМ НОРМАТИВНИМ ДОКУМЕНТАМ, ПОСИЛАННЯ НА ЯКІ Є В ЦЬОМУ СТАНДАРТІ 297

НАЦІОНАЛЬНИЙ ВСТУП

Цей національний стандарт ДСТУ EN 1993-1-3:202__(EN 1993-1-3:2024, IDT) Єврокод 9. Проєктування сталевих конструкцій. Частина 1-3. Холодноформовані елементи і профільовані листи, прийнятий методом перекладу, — ідентичний щодо EN 1993-1-3:2024 (версія en) «Eurocode 3 — Design of steel structures — Part 1-3: Cold-formed elements and sheeting».

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

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

До стандарту внесено такі редакційні зміни:

— слова «цей європейський стандарт» і «цей документ», «стандарт EN 1993-1-3»- замінено на «цей стандарт»;

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

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

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

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

ПЕРЕДМОВА до EN 1993-1-3:2024

Цей стандарт (EN 1993-1-3:2024) підготував Технічний комітет CEN/TC 250 «Будівельні Єврокоди», секретаріат якого підтримує BSI. CEN/TC 250 призначений CEN відповідальним за будівельні та геотехнічні питання проєктування та несе відповідальність за всі будівельні єврокоди.

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

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

Цей документ замінює стандарт EN 1993-1-3:2006 і зміни до нього.

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

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

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

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

— формулювання узгоджено з останніми редакціями стандартів EN 1993-1-1, EN 1993-1-5 та EN 1993-1-8;

— номінальні значення міцності на розрив (таблиця 5.1), скориговано відповідно до EN 1993-1-1 або відповідних стандартів на вироби для узгодження (розділ5);

— з метою наочності долучено незначні технічні уточнення щодо проєктування синусоїдальних профільованих листів (7.6.5);

— долучено незначні технічні зміни у проєктування трапецієвидних профілів під дією осьового стиску (8.1.3);

— залежно від типу опори задано розрахунок опору поперечного перерізу поперечним зусиллям поперечних перерізів з двома або більше незакріпленими стінками (8.1.6.3);

— з метою наочності уточнено розрахункову формулу для визначення опору поперечного перерізу для перерізів під дією спільного впливу осьової сили, згинального моменту, сили зсуву і кручення (8.1.10);

— долучено незначні уточнення та пояснення для розрахунку втрати стійкості перерізів у випадку спільної дії стиску та вигину (8.2.5);

— з метою наочності детально визначено проєктні положення для граничних станів експлуатаційної придатності (текст перетворено у формули) (розділ 9);

— з метою наочності детально визначено проєктування трапецієвидних профілів з напустками (11.3.4);

— з метою наочності детально визначено опір згинальному моменту касетних профілів (11.2.2);

— уточнено технічні вимоги до схеми навантаження для випробування однопрогонового зразка для прозорої однотипної методики випробувань (A.5.2);

— технічні вимоги для схеми навантаження та критеріїв оцінювання випробувань профільованих листів (на витримування навантаження від пішохода) для прозорої однотипної методики випробувань (A.5.6);

— вилучено спеціальні положення для кріпильних виробів із нержавкої сталі в умовах корозійного середовища; долучено загальне посилання на EN 1993-1-4 (додаток B).

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

Відповідно до внутрішніх постанов CEN/CENELEC цей стандарт зобов'язані прийняти національні органи стандартизації таких країн: Австрії, Бельгії, Болгарії, Хорватії, Кіпру, Чеської Республіки, Данії, Естонії, Фінляндії, Франції, Німеччини, Греції, Угорщини, Ісландії, Ірландії, Італії, Латвії, Литви, Люксембургу, Мальти, Нідерландів, Норвегії, Польщі, Португалії, Республіки Північна Македонія, Румунії, Сербії, Словаччини, Словенії, Іспанії, Швеції, Швейцарії, Туреччини та Великої Британії.

0. ВСТУП

0.1 Вступ до Єврокодів

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

— EN 1990. Єврокод. Основи проєктування конструкцій;

— EN 1991. Єврокод 1. Дії на конструкції.

— EN 1992. Єврокод 2. Проєктування залізобетонних конструкцій.

— EN 1993. Єврокод 3. Проєктування сталевих конструкцій;

— EN 1994. Єврокод 4. Проєктування сталезалізобетонних конструкцій;

— EN 1995 Єврокод 5. Проєктування дерев'яних конструкцій;

— EN 1996 Єврокод 6. Проєктування кам'яних конструкцій;

— EN 1997 Єврокод 7. Геотехнічне проєктування;

— EN 1998 Єврокод 8. Проєктування сейсмостійких конструкцій;

— EN 1999 Єврокод 9. Проєктування алюмінієвих конструкцій;

— На стадії розроблення перебувають нові частини, наприклад, Єврокод з проєктування скляних конструкцій.

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

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

0.2 Вступ до EN 1993 (усі частини)

EN 1993 (усі частини) регламентує питання проєктування будівель і споруд цивільного призначення зі сталі. Він реалізує принципи і вимоги до безпеки та експлуатаційної придатності конструкцій, основи їх проєктування і перевірки, наведені в стандарті EN 1990 Єврокод. Основи проєктування конструкцій.

EN 1993 (усі частини) стосується лише вимог до механічної стійкості, експлуатаційної придатності, довговічності та вогнестійкості сталевих конструкцій. Інші вимоги, наприклад ті, що стосуються тепло- або звукоізоляції, не розглядаються.

Єврокод 3 складений з таких частин:

— EN 1993-1 Проєктування сталевих конструкцій. Частина 1. Загальні правила і правила для будівель;

— EN 1993-2 Проєктування сталевих конструкцій. Частина 2. Мости;

— EN 1993-3 Проєктування сталевих конструкцій. Частина 3. Башти, щогли та димові труби;

— EN 1993-4 Проєктування сталевих конструкцій. Частина 4. Силоси та резервуари;

— EN 1993-5 Проєктування сталевих конструкцій. Частина 5. Палі;

— EN 1993-6 Проєктування сталевих конструкцій. Частина 6. Підкранові конструкції;

— EN 1993-7 Проєктування сталевих конструкцій. Частина 7. Сендвіч-панелі.

EN 1993-1 існує не як окремий фізичний документ, але складений з наступних чотирнадцяти частин, основною з яких є EN 1993-1-1:

— EN 1993-1-1 Проєктування сталевих конструкцій. Частина 1 1. Загальні правила і правила для будівель;

— EN 1993-1-2 Проєктування сталевих конструкцій. Частина 1-2: Розрахунок конструкції на вогнестійкість;

— EN 1993-1-3 Проєктування сталевих конструкцій. Частина 1-3. Холодноформовані елементи і профільовані листи;

Примітка. Холодноформовані порожнисті профілі поставлені відповідно до EN 10219, розглянуті у EN 1993 1 1.

— EN 1993-1-4 Проєктування сталевих конструкцій. Частина 1-4 Конструкції із нержавкої сталі;

— EN 1993-1-5 Проєктування сталевих конструкцій. Частина 1-5. Пластинчасті конструкційні елементи;

— EN 1993-1-6 Проєктування сталевих конструкцій. Частина 1-6. Міцність та стійкість оболонок;

— EN 1993-1-7 Проєктування сталевих конструкцій. Частина 1-7. Пластинчасті з'єднання з елементами під дією поперечних навантажень;

— EN 1993-1-8 Проєктування сталевих конструкцій. Частина 1-8. Вузли;

— EN 1993-1-9 Проєктування сталевих конструкцій. Частина 1-9: Втома;

— EN 1993-1-10 Проєктування сталевих конструкцій. Частина 1-10: Властивості тріщиностійкості і міцності матеріалу у напрямі товщини прокату;

— EN 1993-1-11 Проєктування сталевих конструкцій. Частина 1-11. Розтягнуті елементи;

— EN 1993-1-12 Проєктування сталевих конструкцій. Частина 1-12. Додаткові правила для сталей класів не вище S960;

— EN 1993-1-13 Проєктування сталевих конструкцій. Частина 1-13. Балки з перфорованою стінкою;

— EN 1993-1-14 Проєктування сталевих конструкцій. Частина 1-

14. Проєктування з використанням методу кінцевих елементів.

Частини від EN 1993-1-2 до EN 1993-1-14 охоплюють загальні теми, що не залежать від типу конструкції, такі як протипожежні конструкції, холодноформовані елементи і профільовані листи, нержавка сталь, пластинчасті конструктивні елементи тощо.

Частини, від EN 1993-2 до EN 1993-7 стосуються конкретного типу конструкцій, таких як сталеві мости, вежі, щогли і димоходи, силоси і резервуари, палі, опорні конструкції кранів тощо. EN 1993-2 — EN 1993-7 посилаються на загальні правила, наведені в EN 1993-1, і доповнюють, змінюють або замінюють їх.

0.3 Вступ до EN 1993-1-3

У цьому стандарті наведено додаткові правила проєктування холодноформованих сталевих елементів та профільованих листів Основну увагу в стандарті EN 1993-1-3 приділено методам і правилам проєктування окремих холодноформованих елементів (балок, колон і балок-колон), профільованих листів та касетних профілів з точки зору міцності, стійкості та експлуатаційної придатності.

0.4 Застосовні у Єврокодах уніфіковані мовні форми

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

Словом «рекомендовано» позначено найбільш рекомендований вибір або спосіб дії. Застосування альтернативних підходів може бути застосовано / впроваджено за умови технічного обґрунтування відповідно до національного законодавства та/або будь-яких відповідних договірних положень.

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

Словами «має можливість», «може», «можна» позначено

можливість та здатність; їх використовують для констатації факту і роз'яснення концепцій.

0.5 Національний додаток до EN 1993-1-3

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

Національний стандарт, що впроваджує EN 1999-1-3, може містити національний додаток з усіма параметрами, визначеними на національному рівні, необхідними для проєктування будівель і споруд цивільного призначення з метою будівництва у відповідній країні.

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

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

У EN 1993-1-3 національний вибір дозволено у таких пунктах:

4.2(3)	4.2(4)	4.2(5)	5.2.1(3)
7.1(2)	7.2.1(6)	8.2.5(2)	10.3(3)
10.3(3)	10.3(3)	10.3(3)	12(1)
A.1(1)	A.9.4(3)		

У EN 1993-1-3 національний вибір дозволено під час застосування наступних довідкових додатків:

Додаток B

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

НАЦІОНАЛЬНИЙ СТАНДАРТ УКРАЇНИ

ЄВРОКОД 3.

ПРОЄКТУВАННЯ СТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ.

ЧАСТИНА 1-3. ХОЛОДНОФОРМОВАНІ ЕЛЕМЕНТИ І ПРОФІЛЬОВАНІ ЛИСТИ

EUROCODE 3 — DESIGN OF STEEL STRUCTURES — PART 1-3: COLD-FORMED ELEMENTS AND SHEETING

Чинний від 202X-XX-XX

1 СФЕРА ЗАСТОСУВАННЯ

1.1 Сфера застосування EN 1993-1-3

(1) Цей стандарт містить правила проєктування конструкцій із холодноформованих сталевих елементів і профільованих листів.

(2) Цей стандарт поширюється на холодноформовані сталеві вироби, виготовлені із гаряче- або холоднокатаного листа або смуги з покривом або без покриву, виготовлені холодним прокатуванням або штампуванням на фрикційному пресі. Він також охоплює профільовані листи та елементи, виготовлені профілюванням на безперервній лінії або прокатуванням. Він не поширюється на профільовані листи, викривлені внаслідок зминання внутрішніх полиць. Цей стандарт також застосовний для проєктування профільованих сталевих листів для композитних сталевих та бетонних плит на етапі будівництва, див EN 1994 (усі частини). Виконання сталевих конструкцій із холодноформованих сталевих елементів і профільованих листів описано в стандарті EN 1090-4. Положення щодо болтових з'єднань наведено в стандарті EN 1090-2.

Примітка. Правила, наведені в цьому стандарті, доповнюють правила, що містяться в інших частинах EN 1993-1.

(3) Також наведено методи проєктування з урахуванням роботи обшивки з використанням сталевих профільованих листів як конструктивних діафрагм.

(4) Цей стандарт не поширюється на холодноформовані круглі і прямокутні конструкційні порожнисті профілі, поставлені відповідно до EN 10219 (всі частини), для яких дано посилання на EN 1993 -1-1 та EN 1993-1-8.

(5) У цьому стандарті наведено методи проєктування за результатами розрахунку і проєктування на основі випробування. Метод проєктування за результатами розрахунку застосовують тільки для встановлених діапазонів властивостей матеріалів і геометричних пропорцій, для яких є достатній досвід проєктування і дані випробувань. Ці обмеження не поширюються на проєктування на основі випробувань.

1.2 Припущення

(1) Якщо не вказано інше, потрібно застосовувати EN 1993-1-1.

(2) Методи розрахунку, наведені в EN 1993-1-3, застосовні, якщо:

— якість виконання відповідає вимогам стандарту EN 1090-4, якість виконання болтових з'єднань відповідає вимогам стандарту EN 1090-2, а

— будівельні матеріали та вироби відповідають вимогам відповідних частин стандарту EN 1993 (всі частини) або технічним умовам на відповідні матеріали та вироби.

(3) EN 1993 призначений для використання разом із:

— стандартами EN 1992—EN 1999, в яких присутні посилання на сталеві конструкції або сталеві елементи;

— Стандартами на будівельні вироби, що стосуються сталевих конструкцій.

2 НОРМАТИВНІ ПОСИЛАННЯ

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

Примітка. Перелік інших цитованих документів, які не є нормативними посиланнями, включно з тими, на які посилаються як на рекомендації (тобто через пункти «рекомендовано»), дозволи (тобто через пункти «дозволено») та можливості (тобто через пункти «може», «можна») наведено у бібліографії та примітках.

EN 1090-2, Execution of steel structures and aluminium structures — Part 2: Technical requirements for steel structures

EN 1090-4, Execution of steel structures and aluminium structures — Part 4: Technical requirements for cold-formed structural steel elements and wall applications

EN 1990, Eurocode — Basis of structural and geotechnical design

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

EN 1993 (all parts), Eurocode 3 — Design of steel structures

EN 1993-1-1:2022, Eurocode 3 — Design of steel structures — Part 1-1: General rules and rules for buildings

EN 14509, Self-supporting double skin metal faced insulating panels — Factory made products — Specifications

EN ISO 7438, Metallic materials — Bend test (ISO 7438.

НАЦІОНАЛЬНЕ ПОЯСНЕННЯ

EN 1090-2 Виконання сталевих і алюмінієвих конструкцій. Частина 2. Технічні вимоги до сталевих конструкцій;

EN 1090-4 Виконання сталевих та алюмінієвих конструкцій. Частина 4. Технічні вимоги до холодноформованих сталевих будівельних елементів та конструкцій для покрівель, стель, підлог і стін;

EN 1990 Єврокод. Основи проєктування конструкцій;

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

EN 1993 (усі частини) Єврокод 3. Проєктування сталевих конструкцій;

EN 1993-1-1:2022 Єврокод 3. Проєктування сталевих конструкцій. Частина 1-1. Загальні правила і правила для споруд;

EN 14509 Панелі теплоізоляційні самонесні з двобічним металевим облицюванням. Вироби заводського виготовлення. Технічні умови;

EN ISO 7438 Металеві матеріали. Випробування на вигин.

3 ТЕРМІНИ, ВИЗНАЧЕННЯ ПОНЯТЬ ТА ПОЗНАКИ

3.1 Терміни та визначення понять

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

3.1.1 Матеріал (*Material*)

3.1.1.1 **основний матеріал** (*basic material*)

Плоский сталевий листовий матеріал, з якого холодним формуванням виготовляють профілі і профільований лист.

3.1.1.2 **основна границя текучості** (*basic yield strength*)

Границя текучості основного матеріалу під час розтягу.

3.1.1.3 **номінальна товщина** (*nominal thickness*)

Визначена виробником задана середня товщина, яку має бути отримано в результаті холодного формування, з урахуванням товщини шарів цинкового і інших металевих покривів і без урахування товщини органічних покривів.

3.1.1.4 **товщина сталевої основи листа** (*steel core thickness*)

Номінальна товщина сталевого листа без урахування товщини шарів цинкового і інших металевих покривів.

3.1.1.5 рулон (*coil*)

Спосіб зберігання, за якого суцільна пластина намотана на барабан.

3.1.1.6 **холодне формування** (*cold-forming*)

Технологія формування металу за кімнатної температурі без нагрівання.

3.1.1.7 **гнуття на пресі** (*press-braking*)

Спосіб холодного формування з використанням згинального преса, під час якого металевий лист згинають між пуансоном (пробійником) і матрицею.

3.1.1.8 **профілювання прокатуванням** (*roll-forming*)

Профілювання металевого листа на безперервній лінії до набування ним кінцевої форми поперечного перерізу, протягуванням його через послідовні набори валків (роликів).

3.1.1.9 **гальванізація** (*galvanizing*)

Нанесення цинкового покриву для захисту від корозії.

3.1.1.10 **гармонізований стандарт на продукцію** (*harmonized product standard*)

Європейський стандарт, розроблений визнаною Європейською організацією зі стандартизації: CEN, CENELEC або ETSI, у відповідь на запит Європейської комісії, направлений в одну з цих організацій.

3.1.2 **Холодноформовані сталеві елементи, профільовані листи та сендвіч-панелі** (*Cold-formed steel members, sheeting and sandwich panels*)

3.1.2.1 **елемент** (*member*)

Конструктивний елемент, розміри поперечного перерізу якого значно менші за його довжину.

Примітка 1. Приклади типових профілів поперечного перерізу

холодноформованих сталевих елементів наведено на рисунку 3.1. Поперечні перерізи холодноформованих елементів можуть бути непідкріпленими або мати поздовжні елементи жорсткості в стінці, полиці чи в стінці і полиці одночасно.

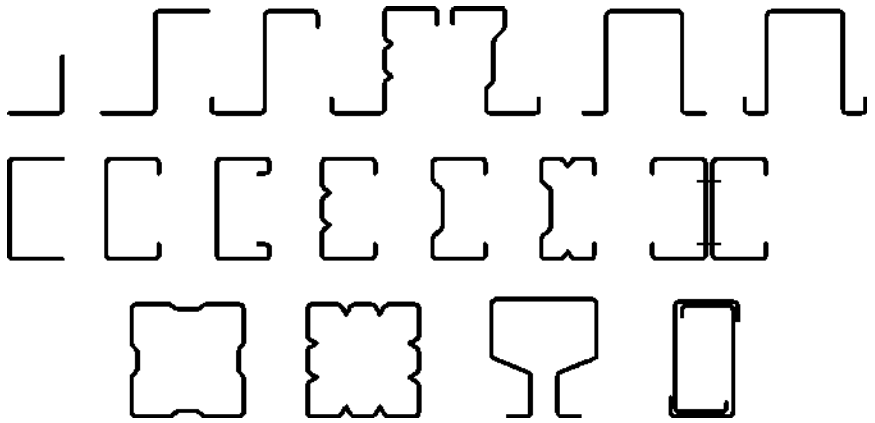


Рисунок 3.1 — Типові форми поперечного перерізу холодноформованих елементів

3.1.2.2 профільовані листи (*sheeting*)

Конструкційний елемент, висота якого значно менша за його ширину і довжину, зазвичай застосовний як облицювання, покрівлі або настилу.

Примітка 1. Приклади типових профілів поперечного перерізу профільованих листів наведено на рисунку 3.2. Поперечні перерізи профільованих листів можуть бути або непідкріпленими , або мати поздовжні елементи жорсткості в стінках, полицях або в обох варіантах.

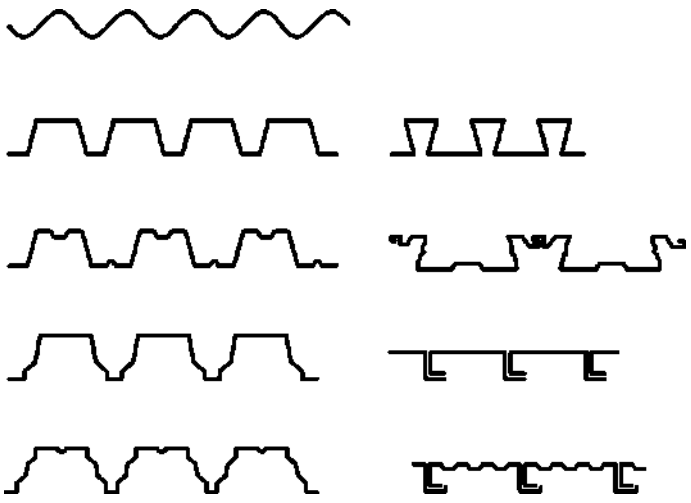


Рисунок 3.2 — Приклади холодноформованих профільованих листів і касетних профілів

3.1.2.3 **касетний профіль** (*liner tray*)

Профільований лист з великими крайовими відгинами — елементами жорсткості, призначеними для з'єднання з прилеглими касетними профілями з утворенням площини ребристого профільованого листа, яка здатна утримувати площинність перпендикулярно до осей прогонів касетних профілів.

Примітка 1. Приклади типових профілів поперечного перерізу касетного профілю наведено на рисунку 3.2.

3.1.2.4 **сендвіч-панелі** (*sandwich panel*)

Облицювальна або покрівельна система, зазвичай складена з двох зовнішніх шарів обшивки з наповнювачем низької щільності між ними.

3.1.2.5 **згин** (*bend*)

Заокруглена зона переходу між плоскими пластинчастими елементами.

3.1.2.6 **непідкріплений елемент** (*unstiffened element*)

Внутрішній або консольний стиснутий елемент без елементів жорсткості.

3.1.2.7 **підкріплений елемент** (*stiffened element*)

Стиснутий елемент з проміжними або крайовими елементами жорсткості.

3.1.2.8 **елемент жорсткості** (*stiffener*)

У стандарті EN 1993 1 3 термін «елемент жорсткості» без подальшого уточнення означає поздовжній елемент жорсткості, тобто один або кілька відгинів у поперечному перерізі, призначених для підвищення опору місцевій втраті стійкості / втраті стійкості зі зміною форми перерізу.

Примітка 1. Поздовжні елементи жорсткості можуть бути як крайовими, так і проміжними.

3.1.2.9 **крайовий елемент жорсткості** (*bend*)

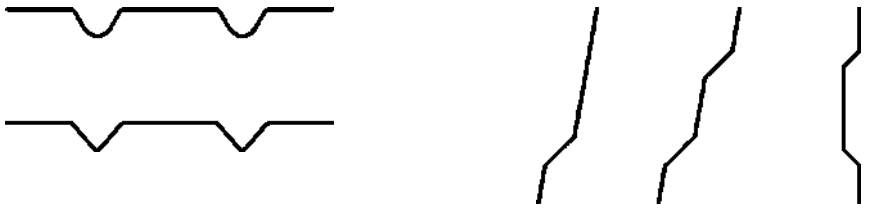
Поздовжній елемент жорсткості, виконаний відгинанням краю пластинчастого елемента з метою підвищення опору деформуванню поперечного перерізу.

Примітка 1. Типові крайові елементи жорсткості показані на рисунку 3.3.

3.1.2.10 **проміжний елемент жорсткості** (*intermediate stiffener*)

Поздовжній елемент жорсткості, складений з кількох згинів пластинчастого елемента з метою підвищення опору деформуванню поперечного перерізу

Примітка 1. Типові проміжні елементи жорсткості показані на рисунку 3.4.



a) гофри b) відгини

Рисунок 3.4 — Типові проміжні елементи жорсткості

3.1.3 Форми втрати стійкості (*Stability modes*)

3.1.3.1 **деформування поперечного перерізу** (*cross-sectional instability*)

Втрата форми, за якої поперечний переріз в цілому не зазнає жодного переміщення або повороту; деформування поперечного перерізу зазвичай буває місцевим або зі зміною форми перерізу.

3.1.3.2 **місцева втрата стійкості (за типом роботи пластини)** (*local (plate) buckling*)

Деформування поперечного перерізу, визначене як вигин пластини відповідно до EN 1993 1 5, за якого складові пластини зазнають тільки деформації вигину поза площиною пластини, а кути поперечного перерізу

зберігають своє початкове положення.

3.1.3.3 **втрата стійкості зі зміною форми перерізу** (*distortional buckling*)

Деформування поперечного перерізу, за якого певні складові пластини зазнають переміщення в одній площині разом із переміщеннями із площини, викликаними згином пластини; для C- або Z-подібних профілів втрату стійкості зі зміною форми перерізу дозволено приймати як крутильно-згинальну втрату стійкості сполучення полиці з відгином навколо з'єднання стінки з полицею.

3.1.3.4 **загальна втрата стійкості** (*global buckling*)

Деформування, для якого характерні переміщення та/або поворот поперечного перерізу з мінімальним зміненням його форми (тобто без деформування поперечного перерізу); загальна втрата стійкості охоплює згинальну, крутильну, крутильно-згинальну та поперечно-крутильну форми втрати стійкості.

3.1.4 розрахунок поперечного перерізу (*cross-sectional analysis*)

3.1.4.1 **розрахункова товщина** (*design thickness*)

Товщина сталі, застосовна під час проєктування за результатами розрахунку, відповідно до 3.3.3(6) і 5.2.4.

3.1.4.2 **довжина спрямленого перерізу** (*developed length*)

Довжина, виміряна вздовж серединної лінії пластинчастого елемента (елементів) або поперечного перерізу, включно з довжиною будь-яких вигинів або елементів жорсткості.

3.1.4.3 **поперечний переріз брутто** (*gross cross-section*)

Повний поперечний переріз без жодних вилучень для врахування місцевої втрати стійкості / втрати стійкості зі зміною форми перерізу або наявності отворів.

3.1.4.4 **ефективний поперечний переріз** (*effective cross-section*)

Ідеалізований поперечний переріз, що враховує змінений розподіл напружень у зоні місцевої втрати стійкості / втрати стійкості зі зміною форми перерізу; ефективний поперечний переріз складений з ділянок пластинчастих елементів, що прилягають до поздовжньо підкріплених країв, які вважають такими, що несуть навантаження, тоді як решту поперечного перерізу вважають такою, що не несе навантаження.

3.1.4.5 **ефективна товщина** (*effective thickness*)

Приведена товщина сполучення пластини з елементом жорсткості для врахування впливу втрати стійкості зі зміною форми перерізу.

3.1.4.6 **ефективна ширина** (*effective width*)

Ширина або сумарна ширина пластинчастого елемента, який вважають таким, що несе навантаження в зоні втрати місцевої стійкості, тоді як решту пластинчастого елемента вважають такою, що не несе навантаження (див. також: ефективний поперечний переріз).

3.1.4.7 **відносна гнучкість** (*relative slenderness*)

Унормоване безрозмірне значення гнучкості.

3.1.5 Холодноформовані сталеві конструкції (*Cold-formed steel structures*)

3.1.5.1 **зона обпирання** (*support*)

Місце, що забезпечує можливість передавання зусилля або моменту з елемента на фундамент або інший елемент чи складник конструкції.

3.1.5.2 **розкріплення** (*restraint*)

Повне обмеження поперечного чи кутового переміщення, або депланації елемента або його частини, що підвищує опір втраті стійкості.

3.1.5.3 **часткове розкріплення** (*partial restraint*)

Обмеження поперечного чи кутового переміщення, або депланації

елемента чи його частини, що підвищує опір втраті стійкості аналогічно пружинній опорі.

3.1.5.4 **залишковий опір згинальному моменту** (*residual bending moment resistance*)

Опір згинальному моменту, що залишається в поперечному перерізі після досягнення максимального розрахункового опору згинальному моменту в поперечному перерізі (тобто на низхідній ділянці кривої залежності моменту від повороту).

3.1.5.5 **діафрагмова робота** (*diaphragm action*)

Робота конструкції, за якої зсув у площині передається на профільовані листи.

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

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

3.1.5.7 **розкріплювальний стержень** (*anti-sag bar*)

Елемент, що забезпечує закріплення від поперечного переміщення вільної полиці елемента.

3.1.6 вузли (*joints*)

3.1.6.1 **вузол** (*joint*)

Зона, в якій два або більше елемента з'єднані між собою.

3.1.6.2 **з'єднання** (*connection*)

Набір основних складників, використовуваних для передавання зусиль і моментів між двома або більше елементами або листами в місці їх сполучення.

3.1.6.3 **основний складник вузла** (*basic component of a joint*)

Частина вузла, яка працює на забезпечення однієї або декількох його конструкційних властивостей.

***3.1.6.4* з'єднаний елемент** (*connected element*)

будь-який елемент або профільований лист, приєднаний до іншого елемента або профільованого листа.

***3.1.6.5* кріпильний виріб** (*fastener*)

З'єднувальний елемент: заклепка, пороховий дюбель, самонарізувальний / самосвердлувальний гвинт, болт або зварний шов.

***3.1.6.7* глуха заклепка, заклепка** (*blind rivet*)

Механічний кріпильний виріб, що забезпечує з'єднання притисненням оправки до її циліндричного корпусу і її пластичної деформації; для встановлення потрібен доступ тільки до однієї сторони з'єднуваних елементів.

***3.1.6.8* порохові дюбелі** (*cartridge-fired pins*)

Кріпильні вироби, схожі на цвяхи, які з високою швидкістю забивають у з'єднувані елементи за допомогою спеціально розробленого пістолета.

***3.1.6.9* самосвердлувальний самонарізувальний гвинт** (*self-drilling self-tapping screw*)

Гвинт зі свердлильним наконечником, що просвердлює отвір і формує внутрішню різьбу в один етап під час закручування гвинта в матеріал.

***3.1.6.10* самонарізувальний гвинт** (*self-tapping screw*)

Гвинт, що формує внутрішню різьбу у попередньо просвердленому отворі під час закручування гвинта в матеріал.

Примітка 1. У цьому стандарті з метою спрощення самонарізувальні гвинти називають просто гвинтами.

3.1.6.11 **складник I** (*component I*)

З'єднаний елемент або кріплення, що прилягає до головки кріпильного виробу (чи обтиснутої головки для глухих заклепок).

3.1.6.12 **складник II** (*component II*)

Другий з'єднаний елемент кріплення, зазвичай опорна конструкція.

3.2 Познаки

У цьому стандарті вжито такі познаки.

3.2.1 Прописні латинські літери

A — площа поперечного перерізу брутто;

A_{eff} — площа ефективного поперечного перерізу з урахуванням місцевої втрати стійкості та втрати стійкості зі зміною форми перерізу;

A_{i} — площа поперечного перерізу брутто елемента *i*;

A_{net} — площа поперечного перерізу нетто з'єднаної частини;

A_{s} — площа кріпильного виробу для розрахунку на розтяг;

A_{sh} — площа брутто поперечного перерізу з гострими кутами;

A_{st} — площа ефективного поперечного перерізу елемента жорсткості;

$A_{\text{st,red}}$ — приведена площа ефективного поперечного перерізу елемента обумовлена втратою стійкості зі зміною форми перерізу;

$A_{\text{st,a}}$ — площа ефективного поперечного перерізу одинарного елемента жорсткості стінки під дією стиску, або елемента жорсткості стінки, розташованого ближче до стиснутої полиці у стінках з двома елементами жорсткості у трапецієвидному профілі;

$A_{\text{st,a,red}}$ — приведена площа ефективного поперечного перерізу одинарного елемента жорсткості стінки під дією стиску, або елемента жорсткості стінки, розташованої ближче до стиснутої полиці у стінках з двома елементами жорсткості з трапецієподібного профільованого листа;

$A_{\text{st,b}}$ — площа ефективного поперечного перерізу другого елемента жорсткості стінки під дією стиску в трапецієподібному профільованому

листі;

$A_{\mathrm{st,b,red}}$ — приведена площа ефективного поперечного перерізу другого елемента жорсткості стінки під дією стиску в трапецієподібному профільованому листі;

A_{st1} — площа ефективного поперечного перерізу крайового елемента жорсткості у першій полиці;

A_{st2} — площа ефективного поперечного перерізу крайового елемента жорсткості у другій полиці;

C — поворотна жорсткість пружини;

C_{D} — поворотна жорсткість пружини, що представляє часткове обмеження кручення, забезпечене елементам профільованими листами, касетними профілями або сендвіч-панелями;

$C_{\mathrm{D,A}}$ — поворотна жорсткість пружини для з'єднання елемента з профільованими листами, касетними профілями або сендвіч-панелями;

$C_{\mathrm{D,B}}$ — поворотна жорсткість пружини, обумовлена втратою стійкості зі зміною форми поперечного перерізу елемента;

$C_{\mathrm{D,C}}$ — поворотна жорсткість пружини, що представляє жорсткість на згин профільованого листа, касетних профілів або сендвіч-панелей;

C_{θ}, $C_{\theta\mathrm{i}}$ — поворотна жорсткість пружини для плоских елементів з крайовими та проміжними елементами жорсткості;

C_{100} — коефіцієнт повороту, що представляє значення $C_{\mathrm{D,A}}$, за умови, що ширина полиці елемента дорівнює 100 мм;

D — товщина сендвіч-панелі;

E — модуль пружності;

E_{C} — модуль пружності основи сендвіч-панелі;

$E_{\mathrm{C,c}}$ — модуль пружності під дією стиску основи сендвіч-панелі;

$E_{\mathrm{C,t}}$ — модуль пружності під дією розтягу основи сендвіч-панелі;

$E_{\mathrm{C,t},\theta}$ — модуль пружності основи сендвіч-панелі, залежно від тривалості навантаження;

$F_{b,Rd}$ — розрахункове значення несної здатності з'єднання або кріпильного елемента;

$F_{bow,max}$ — пружне зусилля в стиснутому елементі, визначене з урахуванням початкового вигину, відповідно до технічних умов на виріб;

$F_{bow,test}$ — пружне зусилля в стиснутому елементі, визначене з урахуванням початкового вигину, визначеного на основі випробних зразків;

F_{Ed} — розрахункове значення поперечного зусилля;

$F_{Ed,i}$ — розрахункове значення поперечних зусиль, що виникають внаслідок передбаченого розподілу зосередженого або лінійного навантаження на ребра трапецієподібного профільованого листа;

$F_{e,Rd}$ — розрахункове значення кінцевого опору для точкового зварного шва;

$F_{k,ol,Ed}$ — розрахункове значення зсувних зусиль в гвинті для кріплення трапецієподібного профільованого листа внапусток;

F_{lat} — випробне навантаження для випробування елементів з обмеженням на кручення;

$F_{n,Rd}$ — розрахункове значення перерізу нетто, визначене для відповідного типу механічного кріпильного виробу або зварного шва;

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

$F_{p,Rd}$ — розрахункове значення опору продавлюванню кріпильного виробу;

$F_{rib,Ed}$ — частина розрахункового навантаження, що припадає на ребро трапецієподібного профільованого листа, під час перевірки стійкості стінки до поперечних навантажень;

F_{str} — загальне випробувальне навантаження під час випробування на міцність;

F_{supp} — реакція в зоні обпирання профільованого листа;

$F_{t,Ed}$ — розрахункове значення розтягувального зусилля в кріпильному виробі;

$F_{t,Rd}$ — розрахункове значення опору розтягуванню кріпильного виробу;

$F_{t,Rk}$ — характеристичне значення опору розтягуванню кріпильного виробу;

$F_{tb,Rd}$ — розрахункове значення опору розриванню та зминанню точкового зварного шва;

F_{unit} — одиничне навантаження, що діє на центр ваги сполучення, складеного з ефективних частин елемента жорсткості і прилеглих до них ефективних площ підкріпленої пластини;

$F_{v,Ed}$ — розрахункове значення зсувного зусилля в кріпильному виробі;

$F_{v,Rd}$ — розрахункове значення зсувного опору кріпильного елемента, визначене для відповідного типу механічного кріпильного виробу або зварного шва;

$F_{v,Rk}$ — характеристичне значення зсувного опору кріпильного виробу, визначене для відповідного типу механічного кріпильного виробу або зварного шва;

$F_{w,Rd}$ — розрахункове значення опору кутового шва або точкового дугового зварного з'єднання;

$F_{R1,}$ F_{R2} — поперечні реакції в площині полиць;

G — модуль зсуву

I — момент інерції поперечного перерізу брутто;

I' — момент інерції поперечного перерізу брутто відносно головних центральних осей y´-y´or z´-z´;

I_{eff} — момент інерції ефективного поперечного перерізу;

I_{fic} — момент інерції фіктивного ефективного поперечного перерізу для проєктування за граничним станом експлуатаційної придатності;

I_{fz} — момент інерції поперечного перерізу брутто вільної полиці включно із задіяною частиною стінки для згину навколо осі *z*-*z*;

$I_{lt,a}$ — момент інерції широкої полиці касетного профілю навколо її центральної осі, паралельної до широкої полиці;

I_{sh} — момент інерції поперечного перерізу брутто з гострими кутами;

I_{st} — момент інерції поперечного перерізу елемента жорсткості;

$I_{st,a}$ — момент інерції ефективного поперечного перерізу одинарного елемента жорсткості стінки під дією стиску, або елемента жорсткості стінки прилеглого до стиснутої полиці у стінках з двома елементами жорсткості у трапецієподібних профільованих листах, навколо його центральної осі паралельної до підкріпленого елемента;

I_T — константа кручення поперечного перерізу брутто;

I_w — константа депланації поперечного перерізу брутто;

$I_{w,eff}$ — константа депланації ефективного поперечного перерізу;

$I_{w,sh}$ — константа депланації поперечного перерізу брутто з гострими кутами;

$I(\sigma)_{eff}$ — момент інерції ефективного поперечного перерізу, обчислений для максимального напруження $\sigma \geq \sigma_{gr}$, під час проєктування за граничним станом експлуатаційної придатності;

K — еквівалентна лінійна пружинна жорсткість, що що представляє часткове обмеження повороту, забезпечене в конструкції елемента профільованими листами, касетними профілями або сендвіч-панелями;

K_a — параметр жорсткості, що враховує наявність сталевої сідлоподібної шайби під час визначення поворотної жорсткості трапецієподібного профільованого листа

K_A — жорсткість у напрямку поперечного переміщення елемента, обумовлена поворотною жорсткістю з'єднання між листовим покривом і елементом;

K_B — жорсткість у напрямку поперечного переміщення елемента,

обумовлена втратою стійкості зі зміною форми поперечного перерізу елемента;

K_{C} — жорсткість у напрямку поперечного переміщення елемента, обумовлена згинальною жорсткістю листового покриву;

K_{fz} — пружинна жорсткість стиснутих полиць касетних профілів;

$K_{\mathrm{ol,f}}$ — пружинна жорсткість, що представляє кріпильні вироби у напусткових з'єднаннях полиць трапецієподібного профільованого листа;

$K_{\mathrm{ol,w}}$ — пружинна жорсткість, що представляє кріпильні вироби у напусткових з'єднаннях стінок трапецієподібного профільованого листа;

K_{st} — пружинна жорсткість елемента кріплення у холодноформованому сталевому перерізі;

$K_{\mathrm{st,1}}$ — пружинна жорсткість елемента кріплення у першій поличці;

K_1 — залежний від категорії коефіцієнт для обчислення опору поперечним силам;

L — довжина елемента;

L_{a} — відстань між розкріплювальними стержнями. За відсутності — довжина прогону елемента;

L_{dia} — загальна довжина сталевої діафрагми у напрямку прогону профільованих листів;

L_{e} — відстань між точкою вимірювання прогину та зоною обпирання профільованих листів у випробуванні;

L_{lim} — максимальна довжина прогону профільованого листа, по якому може пройти одна людина;

$L_{\mathrm{lim,test}}$ — максимальна довжина прогону профільованого листа, по якому може пройти одна людина, визначене за результатами випробування;

L_{span} — довжина прогону профільованих листів або сендвіч-панелей;

L_{T} — довжина елемента між розкріпленнями від крутильного та/або депланаційного зміщення;

L_{test} — випробувальний прогон;

M — згинальний момент;

$M_{\text{c,Rd}}$ — розрахункове значення опору згинальному моменту поперечного перерізу;

$M_{\text{c,Rk}}$ — характеристичне значення опору згинальному моменту поперечного перерізу;

$M_{\text{c,Rd,com}}$ — розрахункове значення опору згинальному моменту поперечного перерізу із використанням моменту опору перерізу для стиснутої сторони;

$M_{\text{c,Rd,ten}}$ — розрахункове значення опору згинальному моменту поперечного перерізу із використанням моменту опору перерізу для розтягнутої сторони;

M_{d} — розрахункове значення опору згинальному моменту, отримане в результаті випробувань;

$M_{\text{d,lim}}$ — розрахункове значення моменту опору в зоні обпирання профільованого листа, отримане в результаті випробувань та відповідне довільно обраному граничному повороту θ_{lim}

M_{Ed} — розрахункове значення згинального моменту;

$M_{\text{f,Rd}}$ — розрахункове значення опору згинальному моменту поперечного перерізу, складеного тільки з ефективних площ полиць;

$M_{\text{fz,Ed}}$ — розрахункове значення бічного згинального моменту у вільній полиці елемента;

$M_{\text{lt,c,Rd}}$ — розрахункове значення опору згинальному моменту касетного профілю зі стиснутою широкою полицею;

$M_{\text{lt,t,Rd}}$ — розрахункове значення опору згинальному моменту касетного профілю з розтягнутою широкою полицею;

M_{mean} — середнє значення опорів згинальному моменту, отримане в результаті випробувань;

$M_{\text{pl,Rd}}$ — розрахункове значення опору пластичному згинальному

моменту поперечного перерізу, складеного з ефективних площ полиць і площі брутто стінки;

$M_{\mathrm{span,Ed}}$ — максимальне розрахункове значення згинального моменту у прогоні;

$M_{\mathrm{supp,Ed}}$ — розрахункове значення моменту в зоні обпирання;

$M_{\mathrm{supp,Rd}}$ — розрахункове значення опору згинальному моменту на зоні обпирання;

M_0 — значення згинального моменту, застосоване для обчислення опору спільній дії згинального моменту і поперечних сил;

$M_{0,\mathrm{fz,Ed}}$ — розрахункове значення початкового бічного згинального моменту у вільній полиці елемента без жодних пружинних опор;

$\widehat{M}_{\mathrm{c,Rd}}$— розрахункове значення опору згинальному моменту вигнутого профільованого листа без урахування впливу вигинання;

N — осьове навантаження;

$N_{\mathrm{b,Rd}}$ — розрахункове значення опору втраті стійкості для крутильної форми втрати стійкості;

$N_{\mathrm{b,Rk,ref}}$ — характеристичне значення опору втраті стійкості вузької полиці касетного профілю, обчислене з урахуванням еталонної розрахункової довжини;

$N_{\mathrm{b,Rk,1}}$— характеристичне значення опору втраті стійкості вузької полиці касетного профілю, обчислене з урахуванням відповідної розрахункової довжини;

N_{cr} — критичне пружне навантаження під час втрати стійкості для елемента;

$N_{\mathrm{cr,i}}$ — мінімальне критичне пружне навантаження під час втрати стійкості для елемента;

$N_{\mathrm{cr,T}}$ — критичне пружне навантаження під час втрати стійкості для крутильної форми втрати стійкості;

$N_{\mathrm{cr,TF}}$ — критичне пружне навантаження під час втрати стійкості для

поперечно-крутильної форми втрати стійкості;

$N_{c,Rd}$ — розрахункове значення опору поперечного перерізу для рівномірного стиску;

N_{Ed} — розрахункове значення осьового зусилля;

N_{Rd} — розрахункове значення опору поперечного перерізу осьовим зусиллям;

$N_{t,Rd}$ — розрахункове значення зусилля розтягу;

N_{test} — кількість випробувань;

P — середина кута між суміжними плоскими елементами в холодноформованому сталевому профілі;

R — радіус гофр синусоідальному профільованому листі;

R_{adj} — скориговане значення опору, отримане за результатами випробувань;

$R_{adj,i}$ — скориговане значення опору, отримане з *i*-того зразка;

$R_{adj,i,j}$ — скориговане значення опору *i*-того зразка *j*-тої серії випробувань;

$R_{adj,m,j}$ — середнє значення скоригованих опорів *j*-тої серії випробувань;

R_{d} — розрахункове значення опору, отримане в результаті випробувань;

R_{eh} — значення границі текучості, зазначене в стандарті на продукцію;

R_{k} — характеристичне значення опору, отримане за результатами випробувань;

$R_{k,j}$ — характеристичне значення опору, отримане за результатами *j*-тої серії випробувань

R_{m} — значення граничної міцності на розтяг, зазначене в стандарті на продукцію;

R_{obs} — значення опору, отримане за результатами випробувань;

$R_{obs,min}$ — мінімальне значення опору, отримане за результатами випробувань;

$R_{p0,2}$ — значення умовної границі текучості (за залишкової деформації 0,2%), зазначене в стандарті на продукцію;

R_w — сила реакції в площині полиці;

$R_{w,Rd}$ — розрахункове значення опору стінки поперечним зусиллям;

R_0 — значення поперечного зусилля, застосоване для обчислення опору спільній дії згинального моменту і поперечних сил;

S — внесок у зсувну жорсткість забезпечену профільованими листами, касетними профілями або сендвіч-панелями

S_{lt} — зсувна жорсткість діафрагми сталевого касетного профілю на одиницю довжини;

U_i — коефіцієнт використання зрощування або вузла;

$V_{b,Rd}$ — розрахункове значення опору зсуву поперечного перерізу в площині стінки;

V_{Ed} — розрахункове значення зсувного зусилля;

$V_{supp,l,Ed}$ — розрахункове значення зсувного зусилля біля зони обпирання в профільованому листі з одинарними напустками;

$V_{w,Rd}$ — розрахункове значення опору зсуву поперечного перерізу, перпендикулярного до полиць;

V_x — коефіцієнт варіації;

W — момент опору поперечного перерізу;

W_{eff} — площа ефективного поперечного перерізу з урахуванням місцевої втрати стійкості та втрати стійкості зі зміною форми перерізу;

W_{el} — пружний момент опору поперечного перерізу брутто;

W_{fz} — пружний момент опору поперечного перерізу, складеного з поперечного перерізу брутто вільної полиці елемента з додаванням задіяної частини стінки для згинання навколо осі *z*-*z*.

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

$W_{pp,eff}$ — частково пластичний момент опору ефективного перерізу, обумовлений розподілом напружень, білінійним у розтягнутій зоні, але лінійним у стиснутій;

X — точка перетину серединних ліній суміжних плоских елементів в холодноформованому сталевому профілі;

3.2.2 Рядкові латинські літери

a_{end} — відстань від внутрішнього краю кінцевої зони обпирання до кінця профільованого листа (для випробувань кінцевої зони обпирання);

a_f — відстань від кріпильних виробів на полицях профільованого листа до стінки;

a_{fp} — відстань між кріпильним виробом, що з'єднує лист з елементом та стінкою елемента

a_{ol} — довжина напустка трапецієподібного профільованого листа

a_{per} — проміжок між центрами перфораційних отворів у профільованих листах

a_{pur} — відстань між елементами;

a_s — відстань від навантаження q_{ed} до центра зсуву (виміряна в напрямку у);

$a_{w,min}$ — мінімальна відстань від центра точкового дугового зварного шва до найближчого краю сусіднього шва;

a-a — вісь, що проходить через центр ваги кріпильного елемента паралельно до прилеглих плоских елементів, які потрібно підкріпити;

b — загальна ширина полиці;

b_a — ширина полиці елемента;

b_c — ширина стиснутої ділянки, визначена за білінійним розподілом напружень;

b_{cleat} — ширина кронштейна;

b_{corr} — ширина гофра трапецієподібного профільованого листа;

$b_{\mathrm{corr,max}}$ — максимально допустима ширина гофра трапецієподібного профільованого листа;

b_{curl} — половина відстані між стінками коробчатого і омега-профілю, або ширина ділянки полиці, що виступає над стінкою, необхідна для обчислення викривлення полиці;

b_{df} — спрямлена ширина полиці, виміряна вздовж її серединної лінії з урахуванням усіх елементів жорсткості полиці;

b_{e} — частина стиснутої полиці з двома елементами жорсткості у трапецієподібному профільованому листі;

b_{eff} — ефективна ширина плоского елемента;

b_{e1} — частина ефективної ширини плоского елемента;

b_{e2} — частина ефективної ширини плоского елемента;

b_{e0} — ефективна ширина консольного елемента;

b_{f} — ширина полиці, виміряна від серединної лінії стінки;

b_{i} — ширина *i*-того плоского елемента;

$b_{\mathrm{i,e1}}$ — частина ефективної ширини *i*-того плоского елемента;

$b_{\mathrm{i,e2}}$ — частина ефективної ширини *i*-того плоского елемента;

b_{K1} — відстань від місця з'єднання стінки з полицею до центру ваги ефективного поперечного перерізу крайового елемента жорсткості полиці 1;

b_{K2} — відстань від місця з'єднання стінки з полицею до центру ваги ефективного поперечного перерізу крайового елемента жорсткості полиці 2;

b_{lt} — загальна ширина широкої полиці касетних профілів;

$b_{\mathrm{lt,eff}}$ — ефективна ширина широкої полиці касетних профілів;

b_{m} — частина стиснутої полиці трапецієподібного профільованого листа;

b_{mod} — модифікована ширина полиці елемента, з'єднаного із профільованим листом;

b_{p} — умовна плоска ширина плоских елементів;

$b_{\mathrm{p,c}}$ — умовна плоска ширина одинарного крайового елемента жорсткості (відгину);

$b_{\mathrm{p,c1}}, b_{\mathrm{pc2}}$ — умовна плоска ширина подвійного крайового відгину;

$b_{\mathrm{p,i}}$ — умовна плоска ширина плоского елемента *i* у поперечному перерізі з гострими кутами;

b_{rib} — ширина ребра трапецієподібного профільованого листа;

b_{st} — ширина елемента жорсткості полиці з трапецієподібного профільованого листа, виміряна паралельно центральній лінії полиці;

$b_{\mathrm{st,d}}$ — спрямлена ширина елемента жорсткості трапецієподібного профільованого листа, виміряна вздовж серединної лінії елемента жорсткості;

$b_{\mathrm{st,mult}}$ — ширина стиснутої полиці з кількома елементами жорсткості у трапецієподібному профільованому листі, виміряна паралельно центральній лінії стиснутої полиці;

$b_{\mathrm{st,d,mult}}$ — спрямлена ширина стиснутої полиці у трапецієподібному профільованому листі з кількома елементами жорсткості, виміряна вздовж серединної лінії елементів жорсткості;

b_{supp} — ширина зони обпирання профільованого листа під час випробування кінцевих зон обпирання;

b_{sw} — ширина сендвіч-панелі;

b_{t} — ширина розтягнутої ділянки, визначена за білінійним розподілом напружень;

$b_{\mathrm{tot,i}}$ — частини ширини полиці трапецієподібного профільованого листа;

b_{u} — ширина полиці трапецієподібного профільованого листа, прикріпленого до опорного елемента;

$b_{\mathrm{u,max}}$ — максимально допустима ширина полиці трапецієподібного профільованого листа, прикріпленого до опорного елемента;

$\overline{b}$ — актуальна товщина плоского елемента для розрахунку на місцеву втрату стійкості

b-b — вісь, що проходить через центр ваги кріпильного елемента перпендикулярно до прилеглих плоских елементів, які потрібно підкріпити;

c — ширина відгину одинарного крайового елемента жорсткості;

c_{eff} — ефективна ширина відгину одинарного крайового елемента жорсткості;

c_{eq} — еквівалентна ширина відгину (одинарного крайового елемента жорсткості), не перпендикулярного полиці;

c_{k} — відстань між двома кріпильними виробами пари в сендвіч-панелях

c_{l} — ширина відгину, виміряна від серединної лінії полиці;

c_1 — ширина внутрішнього плоского елемента подвійного крайового відгину;

$c_{1,\text{eq}}$ — еквівалентна ширина відгину (одинарного крайового елемента жорсткості), не перпендикулярного фланцю;

$c_{1,\text{eff}}$ — загальна ефективна ширина внутрішнього плоского елемента подвійного крайового відгину;

$c_{1,\text{e1}}$ — частина ефективної ширини внутрішнього плоского елемента подвійного крайового відгину;

$c_{1,\text{e2}}$ — частина ефективної ширини внутрішнього плоского елемента подвійного крайового відгину;

$c_{1,\text{l}}$ — ширина внутрішнього плоского елемента подвійного крайового відгину, виміряна між серединними лініями прилеглих елементів;

c_2 — ширина консольного плоского елемента подвійного крайового відгину;

$c_{2,\text{l}}$ — ширина консольного плоского елемента подвійного крайового відгину, виміряна між серединними лініями прилеглих елементів;

$c_{2,\mathrm{eff}}$ — ефективна ширина консольного плоского елемента подвійного крайового відгину;

d — номінальний діаметр кріпильного виробу, як правило, зовнішній діаметр різьби;

d_{as} — видимий діаметр точкового дугового зварного шва;

d_{p} — ефективний зовнішній діаметр точкового дугового зварного шва;

d_{per} — діаметр отворів у захисному покриві

$d_{\mathbf{s}}$ — діаметр точкового дугового зварного шва на рівні стику;

d_{w} — діаметр шайби або головки кріпильного виробу;

d_{o} — номінальний діаметр отвору під кріпильний виріб;

e — крок кріплення листового матеріалу до елемента:

e_{N} — зміщення центра ваги ефективного поперечного перерізу відносно центра ваги поперечного перерізу брутто:

e_{f} — ексцентриситет кріпильних виробів у листовому матеріалі;

$e_{\mathrm{lt},0}$ — відстань від центральної осі поперечного перерізу брутто касетних профілів до центральної осі вузьких полиць;

e_{u} — відстань від зварних швів на стінках касетних профілів до широких полиць;

e_{w} — ексцентриситет точок перегину стінки, відносно лінії, що з'єднує крайові точки стінки;

e_0 — дугова недосконалість;

$e_{0,\mathrm{LT}}$ — дугова недосконалість для втрати стійкості за поперечно--крутильною формою;

e_1 — відстань від кінця елемента, виміряна між центром кріпильного виробу та ближчим кінцем приєднаної частини у напрямку передавання навантаження;

e_2 — відстань від краю елемента, виміряна між центром кріпильного виробу та ближчим краєм приєднаної частини у напрямку

перпендикулярному до напрямку передавання навантаження;

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

f_{Cc} — міцність на стиск основного матеріалу сендвіч-панелей;

f_{Ct} — міцність на розтяг основного матеріалу сендвіч-панелей;

f_u — гранична міцність на розтяг матеріалу; для болтових або зварних з'єднань: гранична міцність матеріалу опорного елемента, до якого кріпиться болт або приварюється зварний шов.

f_{ub} — гранична міцність на розтяг матеріалу кріпильного виробу;

f_{uw} — гранична міцність на розтяг матеріалу зварювального електрода;

$f_{u,I}$ — для кріплень на заклепках, гвинтах або порохових дюбелях: гранична міцність на розтяг складника I безпосередньо під головкою кріпильного виробу (обтискна головка для глухих заклепок);

$f_{u,II}$ — для кріплень на заклепках, гвинтах або порохових дюбелях: гранична міцність на розтяг складника II (зазвичай це опорна конструкція);

f_y — границя текучості;

f_{ya} — середнє значення границі текучості з урахуванням зміцнення під час холодного формування;

f_{yb} — основна границя текучості (basic yield strength)

f_{ym} — середня виміряна основна границя текучості випробовуваного складника;

$f_{yb,obs}$ — експериментально виміряна основна границя текучості;

g_r — відстань від середньої точки *P* кута холодноформованого сталевого профілю до точки перетину *X* серединних ліній;

g_s — відстань від навантаженої полиці холодноформованого сталевого профілю до центра зсуву, виміряна в напрямку *z*

h — загальна висота поперечного перерізу

h_a — частина висоти підкріпленої стінки трапецієвидного профілю;

h_b — частина висоти підкріпленої стінки трапецієвидного профілю;

h_c — відстань від нейтральної осі ефективного поперечного перерізу трапецієподібного профільованого листа до осі стиснутої полиці;

h_d — спрямлена висота стінки, виміряна вздовж її серединної лінії з урахуванням усіх елементів жорсткості;

$h_{lt,u}$ — висота гофр широкої полиці касетних профілів;

$h_{st,a}$ — ширина одинарного елемента жорсткості стиснутої стінки або елемента жорсткості стінки, розташованого ближче до стиснутої полиці для стінок з двома елементами жорсткості, у трапецієподібному листі;

$h_{st,b}$ — ширина другого елемента жорсткості для стінок з двома елементами жорсткості трапецієподібного профільованого листа;

h_t — відстань між нейтральною віссю ефективного поперечного перерізу трапецієподібного профільованого листа та віссю розтягнутої полиці;

h_w — висота стінки між серединними лініями полиць;

i_{fz} — радіус інерції вільної полиці елемента;

i — радіус інерції поперечного перерізу брутто;

i_{min} — мінімальний радіус інерції поперечного перерізу брутто;

i_0 — полярний радіус інерції поперечного перерізу брутто відносно центра зсуву;

K_a — коефіцієнт для обчислення поворотної жорсткості з'єднання елемента з профільованими листами у випадку навантаження вагою;

k_{ba} — коефіцієнт, що враховує ширину елемента для розрахунку поворотної жорсткості з'єднання між профільованими листами і елементами;

$k_{b,corr}$ — коефіцієнт, що враховує ширину гофра трапецієподібного профільованого листа для розрахунку поворотної жорсткості з'єднання

між профільованими листами і елементами;

k_{bu} — коефіцієнт, що враховує поворотну жорсткість з'єднання між профільованими листами і елементами під дією підіймального навантаження;

k_{ce} — коефіцієнт, що враховує криволінійні елементи поперечного перерізу брутто;

k_{c1} — коефіцієнт, що залежить від основного матеріалу сендвіч-панелей;

k_{c2} — коефіцієнт, що залежить від основного матеріалу сендвіч-панелей;

k_{fp} — коефіцієнт, що залежить від процесу формування;

k_{h} — коефіцієнт для перетворення кручення та бічного згину елементів у еквівалентні бічні навантаження;

k_{h0} — коефіцієнт для визначення еквівалентного бічного навантаження на вільну полицю елемента;

$k_{i,sb}$ — коефіцієнт для визначення опору стінки поперечним зусиллям;

$k_{ld,i}$ — коефіцієнт для врахування розподілу поперечних зусиль у трапецієподібному профільованому листі;

k_{lf} — коефіцієнт для врахування типу навантаження на полиці поперечного перерізу;

k_{ls} — коефіцієнт для врахування навантаження на трапецієподібний профільований лист;

k_{n} — коефіцієнт для статистичного оцінювання результатів випробування;

k_{num} — коефіцієнт для врахування кількості болтів у з'єднанні;

k_{ol} — коефіцієнт для обчислення пружинної жорсткості для з'єднань у місцях виконання напустків листового матеріалу;

k_{pur} — коефіцієнт для обчислення поворотної жорсткості елемента;

k_{ss} — коефіцієнт для врахування пружинної опори елемента;

$k_{st,w}$ — коефіцієнт для визначення опору підкріпленої стінки поперечним зусиллям;

k_t — коефіцієнт для врахування товщини листового матеріалу чи елементів для розрахунку несної здатності болтів;

k_v — зсувна жорсткість кріпильного виробу сендвіч-панелей;

k_α — коефіцієнт жорсткості діафрагм сталевого касетного профілю;

$k_{\theta f}$ — коефіцієнт для врахування часткового обмеження повороту стінок полицями у трапецієподібних профільованих листах;

$k_{\theta w}$, $k_{\theta w0}$ — коефіцієнт для врахування часткового обмеження повороту стиснутої полиці стінками чи іншими прилеглими елементами трапецієподібного профільованого листа;

k_σ — коефіцієнт втрати стійкості для плоских елементів під дією поздовжніх напружень;

k_τ — коефіцієнт втрати стійкості для плоских елементів під дією зсуву;

k_1 — коефіцієнт для сендвіч-панелей;

l_a — ширина листів для випробування на елементах з обмеженнями на кручення;

l_B — довжина балок для випробування на елементах з обмеженнями на кручення;

l_{bl} — ефективна довжина опори;

l_{cr} — довжина півхвилі пружного вигину, що відповідає мінімальному навантеженню при втраті стійкосі;

$l_{cr,f}$ — довжина півхвилі вигину закріпленої стиснутої полиці трапецієподібного профільованого листа

$l_{cr,T}$ — розрахункова довжина для крутильної або згинально-крутильної форми втрати стійкості елемента;

$l_{cr,LT}$ — розрахункова довжина для поперечно--крутильної втрати

стійкості елемента;

$l_{cr,y}$, $l_{cr,z}$ — розрахункова довжина для згинальної втрати стійкості елемента;

l_{end} — відстань між вільним кінцем елемента до положення, в якому прикладено поперечне зусилля;

l_F — довжина, на яку діють поперечні зусилля;

l_{fz} — розрахункова довжина вільної полиці елемента;

l_{sb} — номінальна довжина жорсткої опори;

l_{spac} — проміжок між поперечними зусиллями, прикладеними до протилежних сторін стінки;

l_T — довжина вигину при крученні або згинально-крутильній втраті стійкості, визначена з урахуванням ступеня обмеження проти кручення і / або викривлення, наявних на кожному кінці *довжини* L_t

l_w — загальна довжина поздовжнього кутового шва;

$l_{w,e}$ — ефективна довжина лобового (поперечного) кутового шва;

$l_{w,s}$ — ефективна довжина бічного (поздовжнього) кутового шва;

$l_{w,as}$ — довжина подовженого точкового дугового зварного шва;

m — прикладений згинальний момент на одиницю ширини профільованого листа або сендвіч-панелі

n — кількість;

n_c — кількість гофр між поздовжнім краєм листа і відповідним краєм сусіднього листа;

n_f — кількість механічних кріпильних виробів в одному з'єднанні;

n_{ce} — кількість криволінійних елементів у поперечному перерізі холодноформованої сталі;

n_k — кількість пар кріпильних виробів на одну сендвіч-панель з опорою;

n_j — кількість окремих випробувань у серії випробувань*j*

n_p — кількість повних гофр з напустковим з'єднанням

профільованого листа по ширині n_c;

n_{pe} — кількість пласких елементів у поперечному перерізі холодноформованої сталі;

n_r — кількість згинів під кутом 90° із внутрішнім радіусом $r \leq 5t$ у поперечному перерізі;

n_s — кількість листів, прикріплених до опорного елемента одним і тим самим гвинтом або штифтом;

n_w — кількість точкових зварних швів в одному з'єднанні;

p — ширина гофр у синусоідальному профільованому листі;

p_{ol} — проміжок між кріпильними виробами в напустках трапецієподібного профільованого листа;

p_1 — проміжок між центрами кріпильних виробів у напрямку передавання навантаження

$p_{1,lt}$ — проміжок між центрами кріпильних виробів для касетних профілів у поздовжньому напрямку;

p_2 — проміжок між центрами кріпильних виробів у напрямку перпендикулярному до напрямка передавання навантаження;

q — власна вага покрівлі, включно з власною вагою профільованого листа:

q_{Ed} — рівномірно розподілене навантаження, що діє на елемент;

$q_{h,Ed}$ — еквівалентне бічне навантаження, що діє на вільну полицю елемента, обумовлене крученням та бічним згином;

q_{pur} — навантаження, сприйняте елементом від профільованого листа;

q_s — зсувне зусилля в кріпильному виробі, що з'єднує лист з елементом;

q_t — зростягуюче зусилля в кріпильному виробі, що з'єднує лист з елементом;

q_0 — власна вага покрівлі, включно з власною вагою

профільованого листа, помножена на коефіцієнт підсилення a_{per}

r — внутрішній радіус вигину

r_{beam} — радіус кривизни аркової балки;

$r_{ce,j}$ — внутрішній радіус вигину криволінійного елемента *j*

r_m — радіус вигину, виміряний вздовж серединних лінії холодноформованого сталевого профілю;

s — крок нарізі кріпильних виробів;

s_a — частина висоти бічної грані стінки трапецієвидного профільованого листа;

s_b — частина висоти бічної грані стінки трапецієвидного профільованого листа;

s_c — частина висоти бічної грані стінки трапецієвидного профільованого листа;

s_d — повна спрямлена висота стінки, виміряна вздовж її серединної лінії з урахуванням усіх елементів жорсткості;

$s_{eff,0}$ — основна ефективна ширина стінки трапецієвидного профільованого листа;

$s_{eff,i}$ — частина ефективної ширини стінки трапецієвидного профільованого листа;

$s_{eff,n}$ — частина висоти бічної грані стінки трапецієподібного профільованого листа, розташована поруч з центральною віссю;

s_n — частина висоти бічної грані стінки трапецієвидного профільованого листа;

s_p — висота бічної грані найширшого елемента стінки;

s_{per} — висота бічної грані перфорованої частини стінки трапецієподібного профільованого листа;

s_{pF} — висота бічної грані плоского елемента стінки, прилеглого до полиці, навантаженої поперечними силами;

$s_{st,a}$ — частина підкріплення стінки трапецієподібного

профільованого листа;

$s_{st,b}$ — частина підкріплення стінки трапецієподібного профільованого листа;

$s_{tot,i}$ — сума висот ділянок стінки трапецієподібного профільованого листа;

s_w — висота бічної грані стінки, виміряна між серединними лініями полиць, паралельних стінці;

s_x — стандартний відхил результатів випробування;

t — розрахункова товщина сталевого матеріалу;

$t_{a,eq}$ — еквівалентна товщина перфорованого профільованого листа для розрахунку характеристик перерізу для поперечного перерізу брутто;

$t_{b,eq}$ — еквівалентна товщина перфорованого профільованого листа для розрахунку характеристик перерізу для ефективного перерізу;

$t_{c,eq}$ — еквівалентна товщина перфорованого профільованого листа для розрахунку опору стінки поперечним зусиллям;

t_{cleat} — товщина кронштейна;

t_{cor} — номінальна товщина без урахування товщини цинкового та інших металевих покривів;

$t_{cor,obs}$ — експериментально визначена товщина основи;

t_{eff} — ефективна товщина ділянки консольного елемента для урахування місцевої втрати стійкості;

t_{eq} — еквівалентна товщина сталевого матеріалу;

t_{F2} — номінальна товщина внутрішнього лицьового листа сендвіч-панелей;

$t_{lt,eq}$ — еквівалентна товщина широкої полиці касетного профілю;

t_{mc} — товщина цинкових та інших металевих покривів;

t_{nom} — номінальна товщина листа після холодного формування, включно з цинковим та іншим металевим покривом, але без урахування будь-яких органічних покривів;

t_{obs} — експериментально виміряна товщина матеріалу;

t_{red} — приведена розрахункова товщина елемента жорсткості для урахування втрати стійкості зі зміною форми перерізу;

t_{sheet} — товщина сталевого профільованого листа;

t_{supp} — розрахункова товщина полиці опорного елемента;

t_w — товщина сталевої шайби;

t_I — для кріплень на заклепках, гвинтах або порохових дюбелях: товщина складника I безпосередньо під головкою кріпильного виробу (обтискна головка для глухих заклепок);

t_{II} — для кріплень на заклепках, гвинтах або порохових дюбелях: товщина складника II (зазвичай це опорна конструкція);

t_1 — для точкового зварного шва: товщина найтовстішої приєднаної деталі;

v_{curl} — максимальне переміщення полиці у бік нейтральної осі, обумовлене викривленням;

$v_{lt,Ed}$ — розрахункове значення зсувного потоку зсувних напружень в діафрагмі сталевого касетного профілю;

$v_{lt,Rd}$ — розрахункове значення опору зсуву діафрагми сталевого касетного профілю;

$v_{lt,Ed,ser}$ — потік зсувних напружень в діафрагмі сталевого касетного профілю у граничному стані експлуатаційної придатності;

$v_{lt,Rd,ser}$ — розрахункове значення опору зсуву діафрагми сталевого касетного профілю в граничному стані експлуатаційної придатності;

v_{st} — прогин елемента жорсткості під дією одинарного навантаження F_{unit};

w — ширина покриву синусоідального профільованого листа;

x — відстань вздовж елемента у напрямку x;

x_A — відстань у напрямку x від розглянутого поперечного перерізу до шарнірної опори або точки перегину;

x_B — відстань у напрямку *x* від розглянутого поперечного перерізу до шарнірної опори або точки перегину;

$x_{i,j}$ — нормалізовані значення скоригованих опорів, отримані в результаті випробувань;

x_s — відстань у напрямку *x* від розглянутого поперечного перерізу до шарнірної опори або точки перегину;

x-*x* — вісь уздовж елемента;

y — відстань у напрямку *y*, виміряна від нейтральної осі поперечного перерізу;

y-*y* — головна вісь поперечного перерізу;

y′-*y*′ — вісь, що проходить через центр ваги поперечного перерізу паралельноно полицям, або вісь, що проходить через центр ваги профільованого листа, паралельно площині профільованого листа;

y_o — координата y центра зсуву відносно центра ваги поперечного перерізу брутто;

z — відстань у напрямку *z*, виміряна від нейтральної осі поперечного перерізу;

z_c — відстань у напрямку *z*, виміряна від стиснутої полиці до нейтральної осі поперечного перерізу;

z_t — відстань у напрямку *z*, виміряна від розтягнутої полиці до нейтральної осі поперечного перерізу;

z_o — координата *y* центра зсуву відносно центра ваги поперечного перерізу брутто;

z-*z* — головна вісь поперечного перерізу;

z′-*z*′— вісь, що проходить через центр ваги поперечного перерізу паралельно стінці, або вісь, що проходить через центр ваги профільованого листа перпендикулярно площині профільованого листа.

3.2.3 Прописні грецькі літери

Δ_{tol} — без урахування допуску на товщину у %, як зазначено в стандарті на продукцію або технічному завданні на виробництво;

ΔM_{Ed} — додатковий згинальний момент, обумовлений зміщенням центра ваги ефективного поперечного перерізу відносно центра ваги поперечного перерізу брутто;

3.2.4 Рядкові грецькі літери

α — показник ступеня, використовуваний для коригування результатів випробування;

α_b — коефіцієнт для обчислення несної здатності болтів;

α_I — показник ступеня, використовуваний для обчислення дуговиої недосконалості;

α_{per} — коефіцієнт посилення навантаження з урахуванням отворів у профільованому листі;

α_r — коефіцієнт для обчислення несної здатності заклепок;

α_{sc} — коефіцієнт для обчислення несної здатності самонарізувальних гвинтів;

α_T — коефіцієнт лінійного теплового розширення;

α_y, α_z — показники ступеня, використовувані для перевірки елемента на спільну дію згину та стиску;

β — показник ступеня, використовуваний для коригування результатів випробування;

β_A — співвідношення площі ефективного поперечного перерізу до площі поперечного перерізу брутто;

β_{Lf} — понижувальний коефіцієнт для протяжних вузлів;

β_i — показник ступеня, використовуваний для обчислення дуговиої недосконалості;

β_{lt} — коефіцієнт кореляції для обчислення опору втраті стійкості касетних профілів під дією згину;

β_V — коефіцієнт для обчислення опору поперечним силам;

β_z — показник ступеня, використовуваний для перевірки елемента на спільну дію згину та стиску;

γ_{M0} — частковий коефіцієнт опору поперечних перерізів;

γ_{M1} — частковий коефіцієнт опору елементів для загальної форми втрати стійкості;

γ_{M2} — частковий коефіцієнт опору руйнуванню під дією розтягу;

$\gamma_{M,ser}$ — частковий коефіцієнт для розрахунків за граничним станом експлуатаційної придатності;

δ — прогин;

δ_e — середній прогин профільованого листа під час випробування на кінцевих зонах обпирання, виміряний на заданій від зон обпирання відстані;

δ_{el} — чистий прогин, що відповідає заданому навантаженню на висхідній частині випробувальної кривої під час випробування профільованого листа на внутрішній зоні обпирання;

δ_{lat} — поперечне переміщення верхньї полиці елемента під час випробування елементів з обмеженням на кручення;

δ_{lin} — фіктивний чистий прогин, обчислений для лінійної залежності між навантаженням та прогином профільованого листа під час випробування на внутрішній зоні обпирання;

δ_{pl} — чистий прогин,що відповідає заданому навантаженню на нисхідній частині випробувальної кривої під час випробування профільованого листа на внутрішній зоні обпирання;

δ_y, δ_z — показники ступеня, використовувані для перевірки елемента на спільну дію згину та стиску;

ε — коефіцієнт матеріалу, що залежить від границі текучості;

ε_a — коефіцієнт матеріалу, що залежить від середньої границі текучості f_{ya};

ε_{b} — коефіцієнт матеріалу, що залежить від основної границі текучості f_{yb};

$\varepsilon_{\mathrm{mp,cf}}$ — максимально допустима пластична деформація для холодноформованих конструкцій;

ζ — коефіцієнт для обчислення реакцій вшарнірно обпертих елементах;

η_{i} — коефіцієнт для обчислення розрахункової довжини вільної полиці елемента залежно від навантаження та кількості розкріплювальних стержнів;

η_{k} — коригувальний коефіцієнт, що враховує невелику кількість результатів випробування;

η_{sys} — коефіцієнт перерахування, що враховує відмінності в роботі в умовах випробувань і у фактичних умовах експлуатації;

θ — поворот

θ_{Ed} — поворот пластичного шарніра в елементі над опорою;

θ_{lim} — обмеження на поворот;

κ_{R} — коригувальний коефіцієнт для місця розташування і граничних умов елемента;

$\bar{\lambda}$— відносна гнучкість для розрахунку дугової недосконалості елемента;

$\bar{\lambda}_{\mathrm{d}}$ — відносна гнучкість для втрати стійкості зі зміною форми перерізу;

$\bar{\lambda}_{\mathrm{d,red}}$ — приведена відносна гнучкість для втрати стійкості зі зміною форми перерізу;

$\bar{\lambda}_{\mathrm{e}}$ — відносна гнучкість плоского елемента для місцевої втрати стійкості або втрати стійкост зі зміною форми перерізуі;

$\bar{\lambda}_{\mathrm{e},0}$ — граничне значення відносної гнучкості плоского елемента для місцевої втрати стійкості або втрати стійкості зі зміною форми перерізу;

$\bar{\lambda}_{\mathrm{fz}}$ — відносна гнучкість для згинальної втрати стійкості вільної полиці елемента;

$\bar{\lambda}_{\mathrm{p}}$ — відносна гнучкість для місцевої втрати стійкості плоских елементів під дією поздовжнього навантаження;

$\bar{\lambda}_{\mathrm{p,red}}$ — приведена відносна гнучкість для місцевої втрати стійкості плоских елементів під дією поздовжнього навантаження;

$\bar{\lambda}_{\mathrm{w}}$ — відносна гнучкість стінки для місцевої втрати стійкості плоских елементів під дією зсуву;

λ_1 — еталонна гнучкість для визначення відносної гнучкості;

μ — коефіцієнт використання несної здатності на дію згинального моменту;

μ_{F} — коригувальний коефіцієнт за навантаженням для випробувань на міцність;

μ_{R} — коригувальний коефіцієнт за опором для випробувань;

μ_{so} — коефіцієнт, що враховує збільшення опору згинальному моменту профільованого листа з напустками;

ν — Коефіцієнт Пуассона

ξ — коефіцієнт для обчислення зусиль для кріплення виробу до профільованого листа;

ρ — понижувальний коефіцієнт для місцевої втрати стійкості для обчислення ефективної ширини плоского елемента;

σ — поздовжнє напруження;

σ_{a} — середнє напруження у полицях обчислене на основі поперечного перерізу брутто;

$\sigma_{\mathrm{com,Ed}}$ — максимальне стискальне напруження у плоскому елементі елемента жорсткості;

$\sigma_{\mathrm{com,Ed,n,red}}$ — приведене стискальне напруження у плоскому елементі елемента жорсткост, обчислене після декількох ітераційних циклів;

$\sigma_{com,Ed,ser}$ — стискальне напруження у плоскому елементі під дією навантаження до граничного стану експлуатаційної придтності;

σ_{cr} — критичне пружне напруження при втраті стійкості поперечного перерізу, плоского елемента або збірки пластин;

$\sigma_{cr,mod}$ — модифіковане критичне пружне напруження при втраті стійкості поперечного перерізу профільованого листа з елементами жорсткості на полицях та стінці;

$\sigma_{cr,st}$ — критичне пружне напруження при втраті стійкості елемента(ів) жорсткості;

$\sigma_{cr,st,a}$ — критичне пружне напруження при втраті стійкості одинарного елемента жорсткості стінки, або елемента жорсткості, розташованого ближче до стиснутої полиці у стінках з двома елементами жорсткості у трапецієподібному профільованому листі;

$\sigma_{eff,ser}$ — максимальне стискальне напруження під дією згину у граничному стані експлуатаційної придатності, обчислене на основі характеристик ефективного поперечного перерізу;

$\sigma_{gr,ser}$ — максимальне стискальне напруження під дією згину у граничному стані експлуатаційної придатності, обчислене на основі характеристик поперечного перерізу брутто;

$\sigma_{max,Ed}$ — розрахункове значення максимального поздовжнього зусилля;

$\sigma_{M,Ed}$ — розрахункове значення поздовжнього зусилля, обумовленого згинальним моментом;

$\sigma_{N,Ed}$ — розрахункове значення поздовжнього зусилля, обумовленого осьовою силою;

$\sigma_{tot,Ed}$ — розрахункове значення загального поздовжнього зусилля, викликане усіма діями;

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

σ_1, σ_2 — значення лінійного профілю поздовжніх напружень на поздовжніх краях плоского елемента;

τ_{cr} — пружне критичне зсувне напруження поперечного перерізу або плоского елемента;

$\tau_{t,Ed}$ — розрахункове значення зсувного напруження, обумовлене рівномірним крученням за Сен-Венаном;

$\tau_{tot,Ed}$ — розрахункове значення загального зсувного напруження, обумовлене розрахунковими значеннями всіх дій, обчислених на основі поперечного перерізу брутто;

$\tau_{V,Ed}$ — розрахункове значення зсувного напруження, обумовленого поперечними зсувними зусиллями;

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

$\varphi_{\theta,t}$ — параметр, що враховує тривалість навантаження для визначення модуля пружності основи сендвіч-панелей;

ϕ — кут між двома плоскими елементами, зазвичай це кут між стінкою та полицею холодноформованого профілю або трапецієподібного профільованого листа;

ϕ_{fic} — кут між підкріпленою стінкою та полицею холодноформованого профілю відносно лінії , що з'єднує кінцеві точки підкріпленої стінки;

ϕ_{fz} — параметр для визначення понижувального коефіцієнта у разі загальної втрати стійкості;

ϕ_0 — недосконалість перекосу;

χ — понижувальний коефіцієнт для визначення опору втраті стійкості згідно з відповідною кривою втрати стійкості;

χ_d — понижувальний коефіцієнт для визначення опору втраті стійкості зі зміною форми перерізу;

$\chi_{d,n}$ — понижувальний коефіцієнт для визначення опору втраті

стійкості зі зміною форми перерізу, обчисленої після декількох ітераційних циклів;

χ_{fz} — понижувальний коефіцієнт для поперечно-крутильної форми втрати стійкості елементів, прирівняний до згинальної втрати стійкості вільної полиції;

χ_y, χ_z — понижувальний коефіцієнт для для згинальної втрати стійкості;

χ_{TF} — понижувальний коефіцієнт для для крутильно-згинальної втрати стійкості;

χ_{LT} — понижувальний коефіцієнт для поперечно--крутильної втрати стійкості;

ψ — відношення поздовжніх напружень на кінцях плоского елемента;

$\omega_{x,y}$, $\omega_{x,z}$, $\omega_{x,LT}$ — коефіцієнти інтерполяції для перевірки розрахункової міцності елементів під дією комбінованого згину та стиску.

3.3 Умовні познаки розмірів поперечного перерізу

(1) За відсутності інших вказівок, габаритні розміри холодноформованих сталевих елементів і профільованого листа, такі як загальна ширина b, загальна висота h, внутрішній радіус вигину r та інші розміри, позначені символами без підрядкових знаків, вимірюють на поверхні матеріалу, як показано на рисунку3.5.

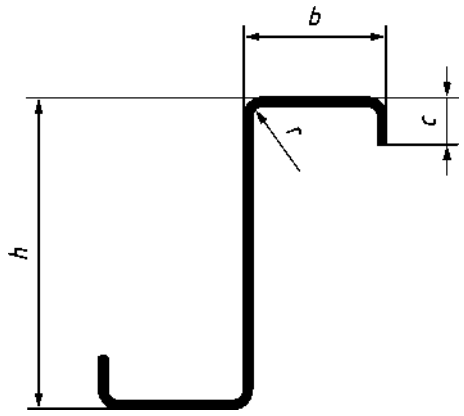


Рисунок 3.5 — Розміри типових поперечних перерізів

(2) За відсутності інших вказівок, інші розміри поперечного перерізу холодноформованих сталевих елементів і профільованого листа, позначені символами з підрядковими знаками, як наприклад b_{f}, h_{w} або s_{w}, вимірюють між серединними лініями пластин або між середніми точками кутів, якщо не вказано інше.

(3) Для похилих елементів, таких як стінка трапецієподібного профільованого листа, висоту бічної грані s_{w} вимірюють паралельно похилій лінії між точками перетину полиць і стінки.

(4) Спрямлену висоту стінки h_{d} вимірюють вздовж її серединної лінії з урахуванням усіх елементів жорсткості; Приклад наведено на рисунку 11.5.

(5) Спрямлену висоту полиці b_{df} вимірюють вздовж її серединної лінії з урахуванням усіх проміжних елементів жорсткості полиці; Приклад наведено на рисунку 8.10.

(6) Товщина t — це розрахункова товщина сталі згідно з 5.2.4(4), якщо не вказано інше.

3.4 Познаки осей елемента

(1) Умовні познаки координатних осей поперечних перерізів елементів в основному такі ж, як у EN 1993-1-1. Крім того, на рисунку 3.6 наведено умовні познаки осей для холодноформованих сталевих поперечних перерізів, що не мають двох осей симетрії.

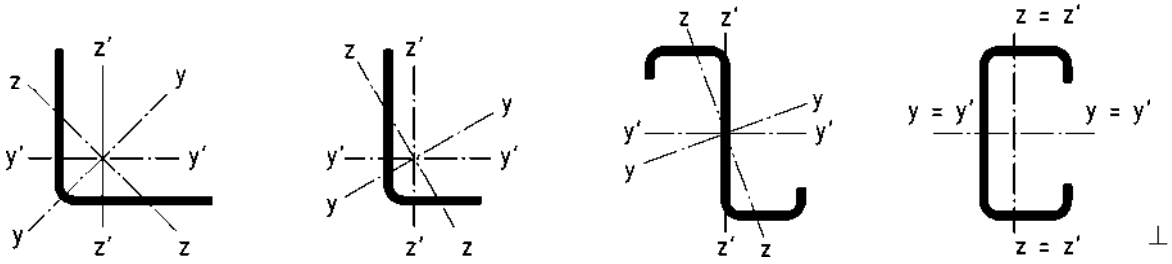


Рисунок 3.6 — Умовні познаки осей для типових холодноформованих сталевих профілів

(2) Для холодноформованих сталевих профілів, профільованого листа та касетних профілів, застосовують наступні умовні познаки осей:

—y-y головна вісь із максимальним моментом інерції;

—z-z головна вісь із мінімальним моментом інерції;

—y'-y' вісь, що проходить через центр ваги паралельно полицям або площині профільованого листа;

—z'-z' вісь, що проходить через центр ваги паралельно стінці або перпендикулярно площині профільованого листа;

Примітка. Викладені в цьому документі правила проєктування в основному стосуються характеристик перерізів відносно головних осей y-y і z-z. Однак в деяких випадках вісь згину залежить від з'єднаних конструкційних елементів і не збігається з однією з головних осей (див., наприклад, розділ 11).

4 ОСНОВИ ПРОЄКТУВАННЯ

4.1 Основні вимоги

(1) Потрібно, щоб розрахунок холодноформованих сталевих елементів і профільованих листів відповідав загальним правилам, які наведені в EN 1990 і EN 1993-1-1 (всі частини) та спеціальним проєктним положенням для сталевих конструкцій, наведеним у EN 1993-1-1.

(2) Потрібно, щоб сталеві конструкції, запроєктовані відповідно до цього стандарта, були виконані відповідно до EN 1090-4, болтові з'єднання були виконані відповідно до EN 1090-2, а будівельні матеріали та вироби потрібно застосовувати як зазначено у відповідних частинах EN 1993 або у відповідних специфікаціях на матеріали та вироби.

4.2 Особливі правила для холодноформованих елементів і профільованих листів

(1) Цей стандарт визначає правила проєктування холодноформованих елементів і профільованих листів. Загальний підхід

до проєктування, заснований на методі скінченних елементів, наведено в EN 1993-1-14.

(2) Для граничних станів за несною здатністю та за експлуатаційною придатністю потрібно приймати відповідні часткові коефіцієнти.

(3) Для перевірних розрахунків за граничними станами частковий коефіцієнт γ_{M} приймають рівним:

— для визначення опору поперечного перерізу текучості та деформуванню поперечного перерізу з урахуванням місцевої втрати стійкості та втрати стійкості зі зміною форми перерізу: γ_{M0}

— для визначення опору елементів і профільованих листів у випадку загальної втрати стійкості: γ_{M1}

— для обчислення опору перерізів нетто у місцях отворів для кріпильних виробів і з'єднань: $\gamma_{\mathrm{M2.}}$

Примітка. За відсутності вказівок у національному додатку, для будівель застосовні нижче наведені часткові коефіцієнти γ_{Mi}:

— $\gamma_{\mathrm{M0}} = 1{,}00$;

— $\gamma_{\mathrm{M1}} = 1{,}00$;

— $\gamma_{\mathrm{M2}} = 1{,}25$.

(4) Для розрахунків за граничним станом працездатності потрібно застосовувати частковий коефіцієнт $\gamma_{\mathrm{M,ser}}$.

Примітка. За відсутності вказівок у національному додатку, для будівель застосовні нижче наведені часткові коефіцієнти $\gamma_{\mathrm{M,ser}}$:

$\gamma_{\mathrm{M,ser}} = 1{,}00$.

(5) Під час проєктування потрібно розрізняти класи конструкцій залежно від ступеня внеску холодноформованих сталевих елементів, профільованих листів або сендвіч-панелей у міцність і стійкість конструкції у цілому або окремих конструкційних елементів. Ці класи конструкцій пов'язані з різними вимогами в застосовних стандартах на продукцію і виконання для холодноформованих сталевих елементів, профільованого

листа та сендвіч-панелей і їх потрібно визначати наступним чином:

— Сфери застосування, в яких холодноформовані сталеві елементи, профільовані листи або сендвіч-панелі призначені для підвищення загальної міцності і стійкості конструкції, потрібно відносити до **конструкцій класу I**;

— Сфери застосування, в яких холодноформовані сталеві елементи, профільовані листи або сендвіч-панелі призначені для підвищення міцності і стійкості окремих конструктивних елементів, потрібно відносити до **конструкцій класу II**;

— Профільовані листи або сендвіч-панелі, що забезпечують стабілізувальну підтримку прогонів або напрямних рейок, запроєктованих як частина системи кріплення основної конструкції (наприклад, стиснуті елементи, розпірки або анкерні балки), дозволено відносити до конструкцій класу II.

— Сфери застосування, в яких холодноформовані сталеві елементи, профільовані листи або сендвіч-панелі застосовують як елементи, що лише передають навантаження на конструкцію, потрібно відносити до **конструкцій класу III**. Профільовані листи або сендвіч-панелі в межах конструкцій класу III можуть мати конструкційну та неконструкційну сферу застосування.

Примітка. Допустимі області застосування неконструкційних холодноформованих сталевих листів або неконструкційних сендвіч-панелей конструкцій класу III можуть бути встановлені у Національному додатку.

EN 1090-4 та EN 1090-2 охоплюють вимоги до виготовлення конструкційних профільованих листів та холодноформованих сталевих елементів. EN 14782 поширюється на неконструкційні профільовані листи холодного формування, що належать до конструкцій класу III. EN14509-1[1] поширюється на неконструкційні сендвіч-панелі, що належать до

[1] На етапі підготовки. Етап на момент публікації: prEN 14509-1.

конструкцій класу III, а стандарт EN 14509-2[2] поширюється на конструкційні сандвіч-панелі, що належать до конструкцій класу II.

(6) Класифікація за класами конструкцій особливо актуальна для профільованого листа та сендвіч-панелей, для встановлення їх зв'язку із конструкцією у цілому, а також з їх опорними елементами.

Примітка.

Конструкції класу I: Проєктувальник конструкції передбачає її розкріплення профільованим листом.

Конструкції класу II: Проєктувальник елементів, на які безпосередньо спирається профільований лист чи сендвіч-панель, передбачає, що останні забезпечують обмеження щодо загальної втрати стійкості або згину паралельно площині профільованого листа або сендвіч-панелі.

Конструкції класу III: Проєктувальник елементів, на які безпосередньо спирається профільований лист або сендвіч-панель, припускає, що останні не забезпечують обмеження щодо загальної втрати стійкості чи згину паралельно площині профільованого листа або сендвіч-панелі.

Необхідна належна комунікація між проєктувальником елементів, на які безпосередньо спирається профільований лист або сендвіч-панель, і проєктувальником профільованого листа або сендвіч-панелей для узгодження класу конструкції і відповідних наслідків згідно зі стандартом на продукцію.

(7) додаткові вимоги до конструкцій наведено в стандарті EN 1090-4, наприклад, щодо:

— надання інформації щодо класу конструкції на компонувальних кресленнях, а також чітке його позначення на реальній конструкції;

— забезпечення мінімальної кількості кріпильних виробів між профільованим листом або сендвіч-панелями і опорним елементом, а також між окремими листами або сендвіч-панелями;

— надання інформації щодо класу конструкції в технічному завданні на проєктування, а також у керівництві з експлуатації та

[2] На етапі підготовки. Етап на момент публікації: prEN 14509-2.

технічного обслуговування.

(8) У стандарті EN 1090-4 перераховано чинники, що впливають на експлуатаційні характеристики, та які потрібно вказувати під час проєктування.

5 МАТЕРІАЛИ

5.1 Загальні положення

(1) Потрібно, щоб всі сталі, які використовують для виготовлення холодноформованих елементів і профільованих листів, були придатними для холодного формування, а за необхідності і для зварювання. Рекомендовано, щоб сталь для оцинкованих елементів та профільованих листів була придатною до цинкування.

Потрібно вважати, що сталі, чиї характеристики та хімічний склад відповідають актуальним стандартам, наведені у таблицях 5.1 і 5.2, задовольняють ці вимоги. Для інших сталей придатність для холодного формування потрібно підтвердити випробуванням на згин згідно з EN ISO 7438 або еквівалентним випробуванням. Застосування сталей, відмінних від наведених у таблицях 5.1 і 5.2, потребує відомостей щодо їх характеристик (механічні властивості та зварюваність). Потрібно, щоб їх механічні властивості відповідали умовам, наведеним в EN 1993-1-1:2022, 5.1(2).

Таблиця 5.1 — Номінальні значення основної границі текучості f_{yb} і границі міцності на розтяг f_u

Типи сталі	Стандарт	Марка	f_{yb} [Н/мм^2]	f_u [Н/мм^2]
Вироби гарячекатані з конструкційної сталі. Частина 2. Технічні умови постачання нелегованих конструкційних сталей	EN 10025-2	S 235 S 275 S 355 S 460	235 275 355 460	360 390 490 540
Гарячекатані вироби з конструкційних сталей. Частина 3. Технічні умови постачання нормалізованих/ нормалізованих прокатних зварюваних дрібнозернистих конструкційних сталей	EN 10025-3	S 275 N S 355 N S 420 N S 460 N S 275 NL S 355 NL S 420 NL S 460 NL	275 355 420 460 275 355 420 460	370 470 520 540 370 470 520 540
Гарячекатані вироби з конструкційних сталей. Частина 4. Технічні умови постачання для термомеханічних прокатних зварюваних дрібнозернистих конструкційних сталей	EN 10025-4	S 275 M S 355 M S 420 M S 460 M S 275 ML S 355 ML S 420 ML S 460 ML	275 355 420 460 275 355 420 460	360 450 500 530 360 450 500 530

(2) Номінальні значення властивостей матеріалу, наведені в 5.1 і 5.2, в проєктних розрахунках рекомендовано приймати як характеристичні значення.

(3) Вимоги цієї частини EN 1993 застосовні для розрахунків холодноформованих елементів і профільованих листів, виготовлених із сталей, що відповідають вимогам 5.2.1.

(4) Розрахункові значення наступних властивостей сталі потрібно приймати відповідно до вимог EN 1993-1 -1:

— Модуль пружності: $E = 210\,000$ [Н/мм^2] (5.1)

— Зсувний модуль пружності $G = \frac{E}{2\,(1+\nu)}$ [Н/мм^2] (5.2)

— Коефіцієнт Пуассона в пружному діапазоні: $\nu = 0{,}3$ (5.3)

— Коефіцієнт лінійного теплового розширення: $\alpha_T = 12 \cdot 10^{-6}$ [у градусах Кельвіна, дійсний для темп

ератур ≤ 100 °C] (5.4)

Таблиця 5.2 — Номінальні значення основної границі текучості f_{yb} і границі міцності на розтяг f_u

Типи сталі	Стандарт	Марка	f_{yb} [Н/мм^2]	f_u [Н/мм^2]
Холоднообтиснені профільовані листи з вуглецевої сталі конструкційної якості	ISO 4997	CR 220 CR 250 CR 320	220 250 320	300 330 400
Гарячекатаний плоский прокат із сталі з високою межею текучості для холодного формування. Частина 2. Технічні умови постачання для термомеханічного прокату	EN 10149-2	S 315 MC S 355 MC S 420 MC S 460 MC S 500 MC S 550 MC S 600 MC S 650 MC S 700 MC	315 355 420 460 500 550 600 650 [b] 700 [b]	390 430 480 520 550 600 650 700 750
Гарячекатаний плоский прокат із сталі з високою межею текучості для холодного формування. Частина 3. Технічні умови постачання нормалізованого або нормалізованого прокату	EN 10149-3	S 260 NC S 315 NC S 355 NC S 420 NC	240 [a] 295 [a] 355 [a] 400 [a]	350 [a] 410 [a] 450 [a] 510 [a]

Продовження таблиці 5.2

Типи сталі	Стандарт	Марка	f_{yb} [Н/мм^2]	f_u [Н/мм^2]
Вироби плоскі сталеві холоднокатані з високою межею текучості для холодного формування	EN 10268	HC260LA HC300LA HC340LA HC380LA HC420LA	240 280 320 350 390	340 370 400 430 460
Сталевий плоский прокат із неперервним гарячим покривом для холодного формування. Технічні умови постачання	EN 10346	S220GD+Z, +ZF, +ZA, +ZM, +AZ	220	300
		S250GD+ Z, +ZF, +ZA, +ZM, +AZ, +AS	250	330
		S280GD+ Z, +ZF, +ZA, +ZM, +AZ, +AS	280	360
		S320GD+ Z, +ZF, +ZA, +ZM, +AZ, +AS	320	390

		S350GD+ Z, +ZF, +ZA, +ZM, +AZ, +AS	350	420
Сталевий плоский прокат із неперервним гарячим покривом для холодного формування. Технічні умови постачання	EN 10346	S390GD+Z, +ZF, +ZA, +ZM, +AZ S420GD+ Z, +ZF, +ZA, +ZM, +AZ S450GD+Z, +ZF, +ZA, +ZM, +AZ	390 420 450	460 480 510
Сталевий плоский прокат із високоміцної сталі з неперервним гарячим покривом для холодного формування	EN 10346	HX260LAD+Z, +ZF, +ZA, +ZM, +AZ, +AS HX300LAD+Z, +ZF, +ZA, +ZM, +AZ, +AS HX340LAD+Z, +ZF, +ZA, +ZM, +AZ, +AS HX380LAD+Z, +ZF, +ZA, +ZM, +AZ, +AS HX420LAD+Z, +ZF, +ZA, +ZM, +AZ, +AS HX460LAD+Z, +ZF, +ZA, +ZM, +AZ, +AS HX500LAD+Z, +ZF, +ZA, +ZM, +AZ, +AS	240 [a] 280 [a] 320 [a] 360 [a] 400 [a] 435 [a] 470 [a]	330 [a] 360 [a] 390 [a] 420 [a] 450 [a] 475 [a] 500 [a,c]
Сталевий плоский прокат із низьковуглецевої сталі з неперервним гарячим покривом для холодного формування	EN 10346	DX51D+Z, +ZF, +ZA, +ZM, +AZ, +AS DX52D+Z, +ZF, +ZA, +ZM, +AZ, +AS DX53D+Z, +ZF, +ZA, +ZM, +AZ, +AS	120 [a,c] 120 [a,c] 120 [ac]	250 [a,c] 250 [a,c] 250 [a,c]

Кінець таблиці 5.2

[a] Номінальні значення, наведені у відповідному стандарті на продукцію, відповідають поперечному напрямку смуги або листа. Значення із вищенаведеної таблиці відповідають властивостям у поздовжньому напрямку (прокатування).

[b] Для товщини більше за 8 мм наведену границю текучості потрібно знизити на 20 Н/мм^2.

[c] Стандарт на продукцію не встановлює мінімальні значення границі текучості або границі міцності на розтяг. Для всіх марок сталі дозволено приймати мінімальну границю текучості рівною 120 Н/мм^2 і мінімальну границю міцності на розтяг рівною 250 Н/мм^2.

Примітка. Наведені у таблиці 5.1 матеріали відповідають гармонізованим стандартам на продукцію, а матеріали, зазначені в таблиці 5.2, відповідають стандартам на продукцію EN або ISO. Цей стандарт застосовний до матеріалів, перерахованих в обох таблицях.

5.2 Конструкційна сталь

5.2.1 *Властивості основних матеріалів*

(1) Номінальні значення основної границі текучості f_{yb} або граничної міцності на розтяг f_u рекомендовано приймати згідно одного із наступних способів:

a) прийнявши значення $f_{yb} = R_{eh}$ або $f_{yb} = R_{p0,2}$ і $f_u = R_m$ безпосередньо зі стандартів на продукцію, якщо вони застосовні до поздовжнього напрямку;

b) застосувавши значення, наведені в таблицях 5.1 та 5.2;

c) з відповідних випробувань.

(2) Якщо характеристичні значення визначають за результатами випробувань, то такі випробування рекомендовано проводити відповідно до пункту А.2.1.

(3) Дозволено припускати, що властивості сталі під дією стиску такі ж, як і під дією розтягу.

Примітка. У національному додатку може міститися Інформація щодо того, чи можуть наведені в таблицях 5.1 і 5.2 матеріали бути використані у загальному пластичному розрахунку.

(4) Властивості матеріалу за підвищених температур для розрахунку конструкцій на вогнестійкість наведені в EN 1993-1-2.

5.2.2 *Властивості матеріалу холодноформованих сталевих елементів та профільованого листа*

(1) Якщо границя текучості вказана символом f_y або f_{ya}, дозволено застосовувати середню границю текучості f_{ya} відповідно до пунктів (2) або (3), якщо виконано умови (4)-(5).

В інших випадках рекомендовано застосовувати основну границю текучості f_{yb} , див. 5.2.1 (1).

(2) Середнє значення границі текучості f_{ya} профілю після холодного формування дозволено визначати за результатами натурних випробувань.

(3) Альтернативно, середнє значення границі текучості f_{ya} може бути визначене за формулою (5.5):

$$f_{ya} = f_{yb} + \left(f_u - f_{yb}\right)\frac{k_{fp} n_r t^2}{A} \quad \text{але} \quad f_{ya} \le \frac{\left(f_u + f_{yb}\right)}{2}, \tag{5.5}$$

де

A — площа перерізу брутто;

k_{fp} — коефіцієнт, що залежить від процесу формування наступним чином:

— k_{fp} = 7 для холодного формування методом прокатування;

— k_{fp} = 5 для інших методів формування;

n_r — кількість згинів під кутом 90° з внутрішнім радіусом $r \le 5t$ (якщо згин становить неповні 90°, його потрібно враховувати пропорційно, як частки від одиниці);

t — розрахункова товщина сталі до формування, як вказано у 5.2.4(4).

(4) Середню межу текучості f_{ya}, отриману в результаті холодного формування, можна використовувати для обчислення:

— опору поперечного перерізу під дією рівномірного розтягу відповідно до пункту 8.1.2;

— опору поперечного перерізу під дією рівномірного стиску, коли $A_{eff} = A$, згідно 8.1.3;

— опору поперечного перерізу з ефективними полицями під дією згину відповідно до пункту 8.1.4;

— опору загальній втраті стійкості стиснутого в осьовому напрямку елемента за умови $A_{eff} = A$ відповідно до пунктів 8.2.2 та 8.2.3.

(5) Для визначення опору згинальному моменту поперечного перерізу з повністю ефективними полицями, поперечний переріз дозволено розділити на *m* номінальних плоских елементів, таких як стінки та полиці. Після чого для обчислення значень підвищеної границі текучості $f_{y,i}$ окремо для кожного плоского елемента i ($i = 1...m$) дозволено застосовувати формулу (5.5) за умови, що виконується умова, зазначена у формулі (5.6):

$$\frac{\sum_{i=1}^{m} A_{\mathrm{i}} f_{\mathrm{y,i}}}{\sum_{i=1}^{m} A_{\mathrm{i}}} \leq f_{\mathrm{ya}}, \qquad (5.6)$$

де

A_{i} — площа перерізу брутто *i*-того елемента ($i = 1...m$). Під час обчислення підвищеної границі текучості $f_{\mathrm{y,i}}$ за формулою (5.5) половину згинів, прилеглих до *i*-того елемента дозволено розглядати як частину площі A_{i}.

(6) Середню границю текучості f_{ya} отриману в результаті холодного формування, не рекомендо f_{ya}вано використовувати для елементів, що після формування піддавали термообробці і впливу температур вище 580°C протягом більше однієї години.

Примітка. Для отримання детальнішої інформації див. EN 1090 -2.

(7) Особливу увагу рекомендовано звернути на той факт, що деякі види термічної обробки (зокрема, відпал) можуть знизити базову границю текучості f_{yb}

Щодо зварювання холоднофор-мо-ва-них елементів див. також EN 1993-1-10.

5.2.3 *Тріщиностійкість*

(1) Див. EN 1993 -1-1 та EN 1993 -1 -10.

5.2.4 *Товщина і допуски по товщині*

(1) Положення з проєктування на основі розрахунків, наведені в цьому стандарті, застосовні до елементів і профільованих листів з $t_{\mathrm{cor}} \geq 0{,}35$ мм.

(2) Також дозволено використовувати тонший матеріал за умови, що опір несної здатності визначено розрахунком на основі випробувань.

(3) У стандарті EN 1090-4 вказано мінімальні номінальні товщини сталі для різних застосувань.

(4) Потрібно використовувати розрахункову товщину *t*, обумовлену товщиною сталевої основи t_{cor} (а не номінальну товщину t_{nom}), яку рекомендовано визначати за формулою (5.7) або (5.8):

$$t = t_{cor} \quad \text{якщо} \quad \Delta_{tol} \leq 5\ \% \tag{5.7}$$

$$t = t_{cor}\frac{100 - \Delta_{tol}}{95} \quad \text{якщо} \quad \Delta_{tol} > 5\ \% \tag{5.8}$$

де

$$t_{cor} = t_{nom} - t_{mc} \tag{5.9}$$

Δ_{tol} — від'ємний допуск на товщину у %, як зазначено в стандарті на продукцію або технічному завданні на виробництво;

t_{nom} — номінальна товщина листа, що включає цинкове та інші металеві покриви, але не включає жодних органічних покривів, див. (6);

t_{cor} — номінальна товщина без урахування товщини цинкового та інших металевих покривів;

t_{mc} — товщина металевого покриву;

Для цинкування *Z* 275 сумарну товщину покривів з обох сторін пластини можна прийняти рівною $t_{mc} = 0{,}04$ мм.

(5) Для елементів з безперервним гарячим металевим покривом і для профільованого листа, поставленого з від'ємними допусками, меншими або такими, що дорівнюють «спеціальним допускам (*S*)», зазначеним в EN 10143, дозволено використовувати розрахункову товщину відповідно до формули (5.7). Якщо від'ємний допуск перевищує «спеціальний допуск *S*», наведений у EN 10143, дозволено використовувати розрахункову товщину відповідно до формули (5.8).

(6) t_{nom} — номінальна товщина листа після холодного формування. Дозволено приймати за значення t_{nom} вихідного листа, якщо

— площа поперечного перерізу A перед холодним формуванням (що дорівнює номінальній ширині листа, помноженій на номінальну

товщину) і площа поперечного перерізу A_{calc} після холодного формування (розрахована виходячи із зазначеної форми поперечного перерізу) відрізняються не більше ніж на 2%, або

— проєктування елементів ґрунтується на основній границі текучості f_{yb}.

В іншому випадку зазначену номінальну товщину вихідного листового матеріалу t_{nom} рекомендовано понизити у відповідний спосіб.

Примітка 1. Як альтернатива, в проєктних розрахунках товщина може бути локально зменшена на згинах до досягнення розрахункового значення $A_{\mathrm{calc}} \leq 1{,}02A$ (де *A* — номінальна ширина поставленого виробником листа, помножена на номінальну товщину).

Примітка 2. У разі проєктування на основі випробувань відповідно до розділу 12, впливи, розглянуті в цих положеннях, уже неявно враховані, оскільки фактичні розміри випробних зразків і вплив виробничого процесу опосередковано включені ва результати випробувань.

5.3 Кріпильні вироби

5.3.1 *Механічні Кріпильні вироби*

5.3.1.1 *Болтові з'єднання*

(1) Рекомендовано, щоб болти, гайки та шайби відповідали вимогам EN 1993-1-8.

5.3.1.2 *Інші типи механічних кріпильних виробів*

(1) Інші типи механічних кріпильних виробів, такі як

— самонарізувальні гвинти, в тому числі різьбо-формувальні, різьбо-свердлувальні та самосвердлувальні,

— порохові дюбелі,

— глухі заклепки,

— клінчування

дозволено використовувати за умови, що вони відповідають чинному європейському стандарту на продукцію або ЕТА (*Європейське технічне*

оцінювання, European Technical Assessment; ETA), див. також EN 1090-4.

(2) Характеристичні значення опору зсуву $F_{v,Rk}$ та мінімального опору розтягу $F_{t,Rk}$ механічних кріпильних виробів дозволено приймати за стандартом EN на продукцію або за ETA.

5.3.2 *Витратні матеріали для зварювання*

(1) Рекомендовано, щоб витратні матеріали для зварювання відповідали вимогам EN 1993-1-8.

6 ДОВГОВІЧНІСТЬ

(1) Основні вимоги до довговічності викладено в EN 1993-1-1.

(2) Особливу увагу рекомендовано приділяти гальванічній корозії, у випадку контактування різних металів, див. EN 1090-4.

Вказівки щодо корозійної стійкості холодноформованих сталевих виробів див. EN 1090-4. Вказівки щодо корозійної стійкості кріпильних виробів та класу в залежності від ступеня агресивності навколишнього середовища, відповідно EN ISO 12944-2, наведено в додатку B. Кріпильні вироби, оцинковані гарячим способом, наведено в EN ISO 10684.

7 КОНСТРУКЦІЙНИЙ РОЗРАХУНОК

7.1 Конструкційне моделювання для розрахунку

(1) Потрібно щоб розрахунок ґрунтувався на розрахункових моделях конструкції, придатних для холодноформованих сталевих конструкцій, і розгляданого граничного стану, а застосований розрахунковий метод — відповідав проєктним припущенням.

(2) Метод скінченних елементів для визначення пружних критичних напружень при втраті стійкості, для перевіряння граничних станів за несною здатністю та експлуатаційною придатністю або для проведення числового моделювання рекомендовано застосовувати відповідно до

EN 1993-1-14.

Примітка. Для цілей розрахунку методом скінченних елементів максимально допустима пластична деформація для холодноформованих конструкцій становить $\varepsilon_{mp,cf} = 5\ \%$, якщо в національному додатку не вказано інше.

У випадках, коли вплив роботи вузлів на розподіл внутрішніх зусиль і моментів у границях споруди, а також загальні деформації споруди є значними (наприклад, як у випадку напівжорсткого вузла), їх слід враховувати відповідно до EN 1993-1-8.

Примітка. Розрахунок напівжорстких систем елементів, забезпечених напустками або накладками, наведено у розділі 11.1.3.3. Розрахунок профільованого листа з напустками наведено у розділі 11.3.4. Розрахунок систем регульованих стелажів для піддонів наведено в EN 15512.

7.2 Загальний розрахунок

7.2.1 *Методи загального розрахунку для розрахункових перевірок за граничним станом за несною здатністю*

(1) Рекомендовано щоб метод загального розрахунку (розрахунок першого або другого порядку з урахуванням недосконалостей) був сумісний з вимогами до перевірки поперечного перерізу та елементів, викладеними у 8.1 та 8.2.

(2) У загальному розрахунку потрібно враховувати вплив місцевої втрати стійкості та втрати стійкості зі зміною форми перерізу на жорсткість холодноформованих елементів і конструкцій. Не враховувати їх у загальному розрахунку дозволено, якщо ефективна площа поперечного перерізу кожного окремого плоского елемента, з елементами жорсткості або без них, перевищує 50% його площі перерізу брутто.

(3) У загальному пружному розрахунку холодноформованих сталевих конструкцій рекомендовано враховувати впливи другого порядку відповідно до положень EN 1993-1-1:2022, 7.2.1.

(4) Залежно від типу конструкції та методу числового моделювання, недосконалості та впливи другого порядку рекомендовано враховувати за одним із наступних підходів:

a) повністю — у загальному розрахунку;

b) частково — у загальному розрахунку і частково — перевірянням опору втраті стійкості окремих елементів відповідно до пункту 8.2;

c) перевірянням опору втраті стійкості еквівалентних елементів згідно з 8.2, із використанням відповідних розрахункових довжин залежно від форм загальної втрати стійкості конструкції.

Примітка. Відповідні скінченно-елементні методи загального розрахунку, що відповідають різним методам, наведеним у пунктах a) - в), наведені в EN 1993-1-14.

(5) Перевіряння конструкції на граничний стан за несною здатністю дозволено проводити з використанням загальних методів загального розрахунку M0, M1, M2, M3, M4, M5 і EM, як зазначено в EN 1993-1-1:2022, 7.2.2 (4) — (9), з урахуванням також крутильної та крутильно-згинальної форми втрати стійкості

(6) Застосовність розрахункових методів до холодноформованих конструкцій і відповідні проєктні перевірки граничного стану за несною здатністю, необхідні для холодноформованих сталевих конструкцій, відповідно до цього стандарта наведено в таблиці 7.1. Методи M0-M4 рекомендовані для проєктування холодноформованих сталевих конструкцій.

Примітка. Обмеження щодо використання методу EM можуть бути встановлені у національному додатку.

(7) Випадки, коли впливами другого порядку, спричиненими поперечно-крутильною втратою стійкості, можна знехтувати у загальному розрахунку і подальших перевірках, які необхідно провести, визначено в EN 1993-1-1:2022, 7.2.1 (6).

(8) Впливи другого порядку, спричинені крутильною або крутильно-згинальною втратою стійкості елементів під дією стиску рекомендовано враховувати. Якщо ж крутильній або крутильно-згинальній втраті стійкості вдалося запобігти, або вони не виникли, то у загальному розрахунку і подальших перевірках ними можна знехтувати.

7.2.2 *Недосконалості*

7.2.2.1 *Загальні положення*

(1) Якщо недосконалості, включно з залишковими напруженнями та геометричними недосконалостями холодноформованих сталевих конструкцій (такими як відсутність вертикальності, прямолінійності, площинності, нерівномірності посадки та ексцентриситету навантажень) перевищують основні допуски холодноформованих сталевих конструкцій за EN 1090-4, то їх вплив рекомендовано належним чином враховувати у конструкційному розрахунку.

(2) Еквівалентні геометричні недосконалості рекомендовано використовувати зі значеннями, що відображають сукупний вплив усіх типів недосконалостей, за винятком випадків, коли ці впливи враховано під час перевірки опору поперечного перерізу або опору втраті стійкості для елементів, див. таблицю 7.1.

(3) Загальну інформацію щодо недосконалостей наведено у EN 1993-1-1:2022, 7.3.1 (3)(4).

7.2.2.2 *Недосконалість перекосу*

(1) Недосконалості перекосу для загального розрахунку рам рекомендовано приймати за EN 1993-1-1:2022: 7.3.2, але в усіх випадках із використанням ϕ_0 = 1/200.

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

Таблиця 7.1 — Методи конструкційного розрахунку, застосовні до проєктних перевірок за граничним станом за несною здатністю холодноформованих сталевих конструкцій і елементів

Метод відповідно до EN 1993-1-1: 2022, 7.2.2	Додаткові вимоги до холодноформованих сталевих профілів	Впливи 1-го/2-го порядку для загального розрахунку	Недосконалості, які необхідно враховувати у загальному розрахунку	Розрахункова перевірка відповідно до пункту 8.1 або 8.2
M0 7.2.2(4)	Дозволено нехтувати згином у площині та згином поза площиною	впливи 1-го порядку	відсутні	8.1: Опір поперечного перерізу
M1 7.2.2(5)	Дозволено знехтувати згином у площині, заборонено нехтувати згином поза площиною (згинальною, крутильною, крутильно-згинальною чи поперечно-крутильною формами втрати стійкості)	впливи 1-го порядку	відсутні	8.1: Опір поперечного перерізу та 8.2: Перевірка на згин елемента поза площиною

Продовження таблиці 7.1

Метод відповідно до EN 1993-1-1: 2022, 7.2.2	Додаткові вимоги до холодноформованих сталевих профілів	Впливи 1-го/2-го порядку для загального розрахунку	Недосконалості, які необхідно враховувати у загальному розрахунку	Розрахункова перевірка відповідно до пункту 8.1 або 8.2
EM 7.2.2(9)	відсутні	впливи 1-го порядку	відсутні	8.1: Опір поперечного перерізу та 8.2: Перевірка на згин елемента у площині та поза площиною відповідного до 8.2 на основі відповідної розрахункової довжини еквівалентних елементів

M2 7.2.2(6)	відсутні	впливи 1-го порядку	Недосконалість перекосу	8.1: Опір поперечного перерізу та 8.2: Перевірка на згин елемента у площині та поза площиною
M3 7.2.2(7)a	відсутні	впливи 2-го порядку	Недосконалість перекосу	8.1: Опір поперечного перерізу на основі γ_{M1} та 8.2: Перевірка на згин елемента у площині та поза площиною
M4 7.22(7)b	відсутні	впливи 2-го порядку	Недосконалість перекосу та дугові недосконалості елемента у площині	8.1: Опір поперечного перерізу на основі γ_{M1} та 8.2: Перевірка на згин елемента поза площиною

Кінець таблиці 7.1

Метод відповідно до EN 1993-1-1: 2022, 7.2.2	Додаткові вимоги до холодноформованих сталевих профілів	Впливи 1-го/2-го порядку для загального розрахунку	Недосконалості, які необхідно враховувати у загальному розрахунку	Розрахункова перевірка відповідно до пункту 8.1 або 8.2
7.2.2(8)	відсутні	впливи 2-го порядку	Недосконалість перекосу та Дугові недосконалості елемента у площині та поза площиною та крутильні впливи (крутильна, крутильно-згинальна або поперечно-крутильної форма втрати стійкості)	8.1: Перевірка опору поперечного переізу із використанням γ_{M1} або Перевірка напружень, наприклад за скінченно-елементним розрахунком відповідно до EN 1993-1-14 із використанням γ_{M1}

Примітка. Під час перевіряння елемента на вигин відповідно до пунктів 8.2.5(2)—(5) проводять перевірку опору поперечного перерізу.

7.2.2.3 Еквівалентні дугові недосконалості елементів

(1) Для проведення розрахунку другого порядку, включно з недосконалостями елементів, еквівалентними дуговими недосконалостями, обумовленими згинальною та згинально-крутильною втратою стійкості e_0 дозволено визначати за формулою (7.1):

$$e_0 = \frac{M_{\mathrm{c,Rd}}}{N_{\mathrm{c,Rd}}}\left(\frac{1}{\chi} - \frac{\bar{\lambda}^2}{\gamma_{\mathrm{M1}}}\right)(1-\chi^{\alpha_{\mathrm{i}}})^{\frac{1}{\beta_{\mathrm{i}}}}\ , \qquad (7.1)$$

де

χ — понижувальний коефіцієнт згідно з відповідною кривою втрати стійкості. див. 8.2.2;

$M_{\mathrm{c,Rd}}$— розрахункове значення опору згинальному моменту поперечного перерізу навколо відповідної осі відповідно до пункту 8.1.4;

$N_{\mathrm{c,Rd}}$ — розрахункове значення опіру осьовому зусиллю відповідно до 8.1.3;

α_{i}, β_{i} — показники ступеня згідно з таблицею 7.2, що залежать від рівняння взаємодії N-M, застосовного для перевіряння опору поперечного перерізу за 8.1.8(1) чи, за вибором, за 8.1.8(4) з урахуванням 8.2.5. Потрібно щоб взаємодія N-M, вибрана в таблиці 7.2, була такою ж, як і використана у подальшій перевірці опору поперечного перерізу. Потрібно, щоб під час вибору взаємодії N-M відповідно до пункту 8.1.8 (4), показники ступеня α_{i} та β_{I} (використані у формулі 7.1), за таблицею 7.2, і використані для взаємодії N-M для перевірки поперечного перерізу, обчислені за 8.1.8(4) з урахуванням пункту 8.2.5, таблиця 8.9), були однаковими.

$\bar{\lambda}$ — відносна гнучкість елемента:

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{N_{\mathrm{c,Rk}}}{N_{\mathrm{cr}}}}\ , \qquad (7.2)$$

де

N_{cr} — критичне пружне навантаження елемента;

Для асиметричних перерізів і елементів зі змінними за знаком згинальними моментами вздовж довжини елемента треба виконати два розрахунки для кожної перевірки на втрату стійкості, відповідно до двох протилежних напрямках недосконалостей.

Таблиця 7.2 — Показники ступеня для розрахунку еквівалентної дугової недосконалості e_0 за формулою (7.1)

Втрата стійкості навколо осі	Показники ступеня $\alpha_{\mathrm{I}}, \beta_{\mathrm{i}}$		
	Застосування лінійної N-M взаємодії відповідно до 8.1.8(1)	Застосування лінійної N-M взаємодії відповідно до 8.1.8(4) згідно з таблицею 8.9 8.2.5	Застосування лінійної N-M взаємодії відповідно до 8.1.8(4) згідно з НВП до пункту 8.2.5, таблиця 8.9
Головна вісь із максимальним моментом інерції;	$\alpha_{\mathrm{i}} = 1$ $\beta_{\mathrm{i}} = 1$	$\alpha_{\mathrm{i}} = 1$ $\beta_{\mathrm{i}} = 1$	$\alpha_{\mathrm{i}} = \alpha_{\mathrm{y}}$ але $\alpha_{\mathrm{I}} \geq 1{,}0$ $\beta_{\mathrm{i}} = \beta_{\mathrm{y}}$ але $\beta_{\mathrm{I}} \geq 1{,}0$ де α_{y} та β_{y} потрібно обчислювати $\beta_{\mathrm{I}} \geq 1{,}0$ за НВП до таблиці 8.9 з: $\chi_y = 1{,}0$ і $\omega_{x,y} = 1{,}0$
Головна вісь із мінімальним моментом інерції;			$\alpha_{\mathrm{i}} = \alpha_{\mathrm{z}}$, але $\alpha_{\mathrm{I}} \geq 1{,}0$ $\beta_{\mathrm{i}} = \delta_{\mathrm{z}}$, але $\beta_{\mathrm{I}} \geq 1{,}0$ де α_{z} та δ_{z} потрібно обчислювати за НВП до таблиці 8.9 з: $\chi_z = 1{,}0$ і $\omega_{x,z} = 1{,}0$

(2) Як альтернативу (1) дозволено використовувати еквівалентні недосконалості для крутильної втрати стійкості відповідно до 7.3.3.1 EN 1993-1-1:2022.

(3) Для недосконалостей, пов'язаних з поперечно-крутильною втратою стійкості, дозволено приймати еквівалентну дугову недосконаліть $e_{0,\mathrm{LT}}$ відносно осі мінімальної жорсткості профілю за формулою (7.1), без необхідності одночасного врахування початкового скручування.

(4) Початкові дугові недосконалості рекомендовано передбачати для всіх актуальних горизонтальних напрямків, але розглядати їх потрібно для

кожного напрямку окремо.

7.2.2.4 *Недосконалості, обумовлені пружною критичною формою втрати стійкості конструкції*

(1) Як альтернативу пунктам 7.2.2.2 і 7.2.2.3, сумарну еквівалентну дугову недосконаліть дозволено обчислювати за формулою (7.1), залежно від пружної критичної форми втрати стійкості конструкції згідно з 7.3.6 EN 1993-1-1:2022, і зі значенням $\bar{\lambda}$ визначеним за 7.3.6(1) EN 1993-1-1:2022.

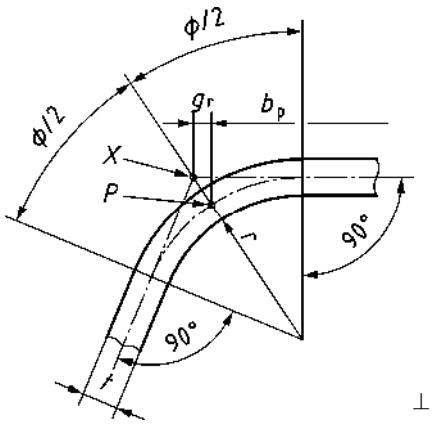
7.3 Конструкційне моделювання холодноформованих сталевих профілів

7.3.1 *Вплив закруглених кутів*

(1) Для холодноформованих сталевих профілів умовну плоску ширину b_{p} плоских елементів рекомендовано вимірювати від середніх точок сусідніх кутів, як показано у таблиці 7.3.

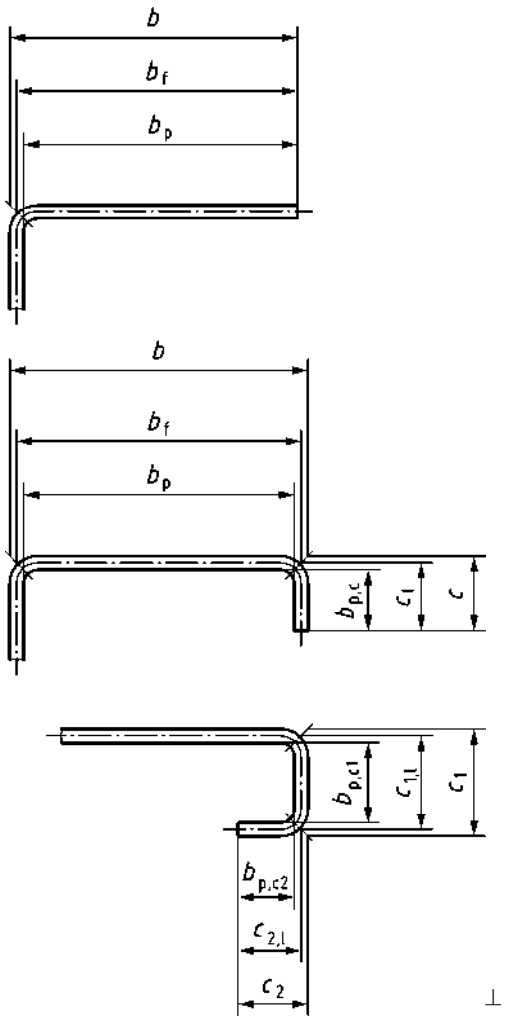
(2) Геометричні характеристики холодноформованих сталевих профілів рекомендовано визначати виходячи з номінальної геометрії поперечного перерізу.

Таблиця 7.3 — Плоска ширина b_{p} плоских елементів з урахуванням радіусів кутів

(а) середина кута або згину  	де — X — точка перетину серединних ліній; — P — середина кута; — $r_{\mathrm{m}} = r + \frac{t}{2}$ — $g_{\mathrm{r}} = r_{\mathrm{m}} \left(\tan \frac{\phi}{2} - \sin \frac{\phi}{2} \right)$

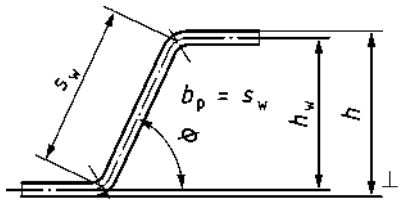
Кінець таблиці 7.3

(b) умовна плоска ширина b_p плоских елементів полиці



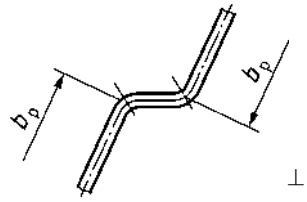
з габаритними розмірами c_1, c_2

(c) умовна плоска ширина b_p стінки

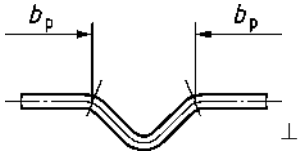


(b_p = висота бічної грані s_w)

(d) умовна плоска ширина b_p плоских елементів, прилеглих до згину



(e) умовна плоска ширина b_p плоских елементів, прилеглих до гофри (елемента жорсткості)



(3) За відсутності точніших методів визначення характеристик поперечного перерізу дозволено використовувати наступну приблизну методику. Впливом заокруглених кутів на опір поперечного перерізу дозволено знехтувати, якщо внутрішній радіус $r \le 5\ t$ і $r \le 0{,}10\ b_p$. У такому випадку припускають, що поперечний переріз складений із плоских елементів з гострими кутами, відповідно до рисунка 7.1, на якому показано, як визначають b_p. Для жорсткісних характеристик поперечного перерізу, наприклад I_y, I_z, I_w, вплив заокруглених кутів рекомендовано враховувати завжди.

а) фактичний поперечний переріз б) ідеалізований поперечний переріз

Рисунок 7.1 — Приблизний допуск на заокруглені кути

(4) Вплив заокруглених кутів на геометричні характеристики перерізу дозволено враховувати зменшенням їх значень, обчислених для еквівалентного поперечного перерізу з гострими згинами (див. рис. 7.1) за формулами (7.3) — (7.5):

$$A \sim A_{\mathrm{sh}}(1 - k_{\mathrm{ce}}) \tag{7.3}$$

$$I \sim I_{\mathrm{sh}}(1 - 2k_{\mathrm{ce}}) \tag{7.4}$$

$$I_{\mathrm{w}} \sim I_{\mathrm{w,sh}}(1 - 4k_{\mathrm{ce}}) \tag{7.5}$$

з

$$k_{\mathrm{ce}} = 0{,}43\frac{\sum_{j=1}^{n_{\mathrm{ce}}} r_{\mathrm{ce,j}}\frac{\phi_{\mathrm{j}}}{90^{\circ}}}{\sum_{i=1}^{n_{\mathrm{pe}}} b_{\mathrm{p,i}}}\ , \tag{7.6}$$

де

A — площа перерізу брутто;

A_{sh} — площа еквівалентного перерізу з гострими кутами;

$b_{\mathrm{p,i}}$ — умовна плоска ширина плоского елемента *i* в еквівалентному поперечному перерізі з гострими кутами, виміряна в точках перетину з серединними лініями сусідніх плоских елементів, див. пункт X в таблиці 7.3.a;

I — момент інерції поперечного перерізу брутто;

I_{sh} — значенн *I*для еквівалентного поперечного перерізу з гострими кутами;

I_{w} — константа депланації поперечного перерізу брутто;

$I_{w,sh}$ — значенн I_{w} для еквівалентного поперечного перерізу з гострими кутами;

ϕ_{j} — кут між двома плоскими елементами, з'єднаними криволінійним елементом *j*, в град;

n_{pe} — кількість плоских елементів;

n_{ce} — кількість криволінійних елементів;

$r_{ce,j}$ — внутрішній радіус криволінійного елемента *j*.

(5) Зменшені значення, наведені у (4) , дозволено використовувати для визначення характеристик ефективного поперечного перерізу A_{eff}, $I_{y,eff}$, $I_{z,eff}$ і $I_{w,eff}$ за умови, що умовну плоску ширину b_{p} плоских елементів виміряно між точками перетину їхніх серединних ліній.

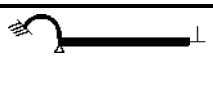
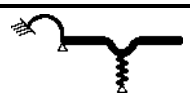
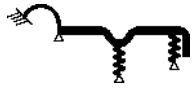
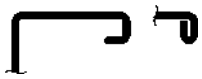
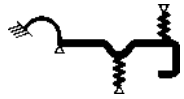
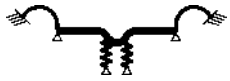
(6) Для внутрішнього радіусу $r > 0{,}04\ t\ E/f_{y}$ опір поперечного перерізу рекомендовано визначати за результатами випробувань, якщо тільки не застосовано відповідніші методи аналізу відповідно до EN 1993-1-14

7.3.2 *Моделювання для розрахунку поперечного перерізу*

(1) Якщо не використано точніші моделі відповідно до EN 1993-1-14, елементи поперечного перерізу дозволено моделювати для розрахунку, як зазначено в таблиці 7.4.

(2) Рекомендовано враховувати взаємний вплив декількох елементів жорсткості.

Таблиця 7.4 — Моделювання елементів поперечного перерізу

Тип елемента	Модель	Тип елемента	Модель
			
			
			
			

(3) Якщо не обґрунтовано інше, краї, призначені для бічного напустку листового матеріалу, не рек,еомендовано враховувати під час визначення опору і жорсткості профільованого листа. Ці краї показано пунктирними лініями на рисунку 7.2.

Рисунок 7.2 — Модель захисного покриву для визначення несної здатності та жорсткості профільованого листа

(4) Якщо відгин не перпендикулярний полиці, як показано на рисунку подвійного крайового відгину 7.3, еквівалентний розмір c_{eq} відгину рекомендовано визначати за формулою (7.7) або (7.8):

$$c_{\mathrm{eq}} = \frac{c}{(\cos\phi)^{\frac{1}{3}}} \qquad \text{якщо } c_2 = 0 \text{ (одинарний відгин)} \qquad (7.7)$$

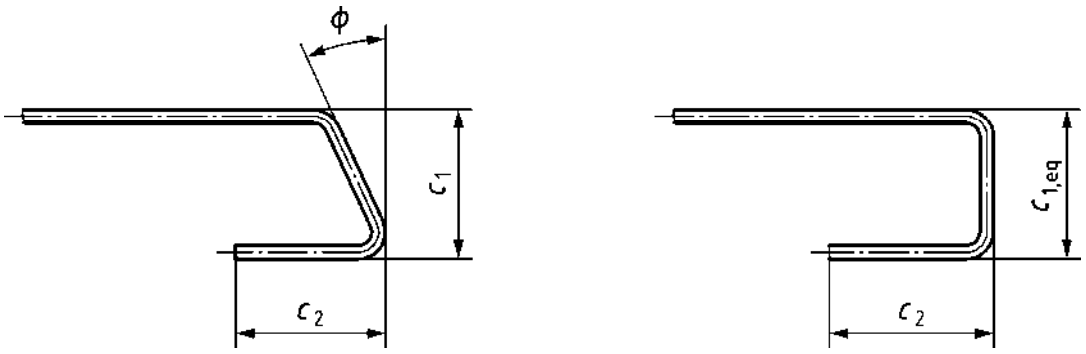
де

c **—** ширина відгину одинарного крайового елемента жорсткості, виміряна перпендикулярно полиці (див. також рисунок 7.3 для похилих подвійних відгинів).

$$c_{1,\mathrm{eq}} = c_1 \left[\frac{c_1 + 4\,c_2 \cos\phi}{\cos\phi\ (c_1 + c_2 \cos\phi)}\right]^{\frac{1}{3}}$$ Якщо c_2 > 0 (подвійний відгин) (7.8)

де

c_1, c_2 — загальні ширини складників подвійного відгину, як наведено на рисунку 7.3.



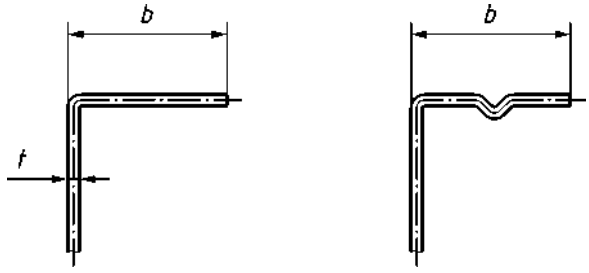
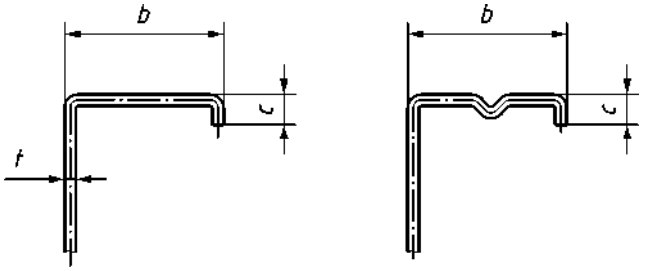
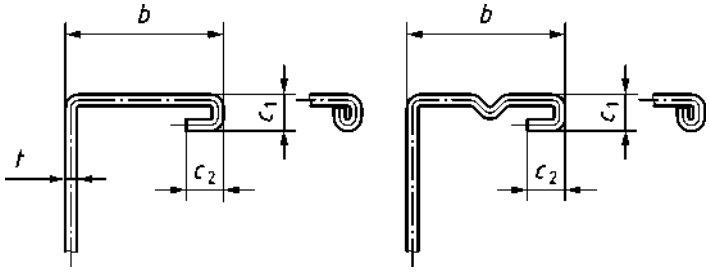
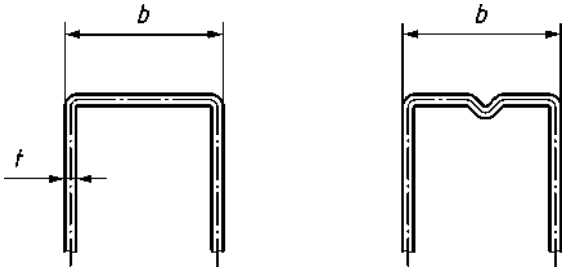
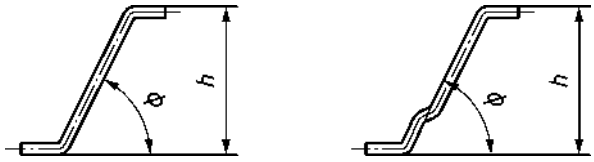
Примітка. c_1, c_2: габаритні розміри

Рисунок 7.3 — Похилий подвійний відгин

7.4 Розрахунок поперечного перерізу. Геометричні співвідношення і сфера застосування

(1) Правила проєктування за результатами розрахунку, що наведені в цьому стандарті, не рекомендовано застосовувати до поперечних перерізів, відношення ширини -до- товщини в яких виходять за границі обмежень b/t, h/t, c/t, c_1/t та c_2/t наведених в таблиці 7.5. Ці межі визначають діапазони, для яких накопичено достатній досвід, підтверджений випробуваннями. Також дозволено застосовувати поперечні перерізи з більшими за вищевказані відношеннями ширини до товщини, за умови, що їх несна здатність для граничних станів за несною здатністю і експлуатаційною придатністю перевірена випробуваннями і/або розрахунками, підтвердженими відповідною кількістю випробувань.

Таблиця 7.5 — Максимальні співвідношення ширини до товщини

Елемент поперечного перерізу	Максимальне значення
	$b/t \le 50$
	$b/t \le 60$ $c/t \le 50$
	$b/t \le 90$ $c_1/t \le 60$ $c_2/t \le 50$ з c_1, c_2: габаритні розміри
	$b/t \le 500$
	$45° \le \phi \le 90°$ $h/t \le 500 \sin\phi$

(2) Для забезпечення необхідної жорсткості та попередження передчасної втрати стійкості самим елементом жорсткості, розміри крайових елементів жорсткості рекомендовано приймати в таких границях, визначених за формулами (7.9) — (7.11):

$$0{,}2 \le c/b \le 0{,}6 \qquad (7.9)$$

$$0{,}2 \le c_1/b \le 0{,}6 \qquad (7.10)$$

$$0{,}1 \le c_2/b \le 0{,}3 \qquad (7.11),$$

де розміри b, c, c_1 та c_2 такі, як зазначено у таблиці 7.5.

якщо $c/b < 0{,}2$ або $c_1/b < 0{,}2$ чи $c_2/b < 0{,}1$, то у проєктних розрахунках відгином рекомендовано нехтувати ($c = 0$ або $c_1 = c_2 = 0$).

(3) Якщо геометричні характеристики ефективного поперечного перерізу визначено за результатами випробувань або за випробуваннями із подальшим моделюванням методом скінченних елементів, обмеження, зазначені в пунктах (1) та (2), не застосовують.

Примітка. Щодо застосування методу скінченних елементів див. EN 1993-1-14.

7.5 Розрахунок поперечного перерізу. Викривлення полиць

(1) Впливом викривлення полиць на несну здатність можна знехтувати, якщо максимальне переміщення, обумовлене викривленням складає менше ніж 5% висоти поперечного перерізу профілю. У разі, якщо викривлення, спричинене, наприклад, скороченням плеча для ефективних частин полиць чи можливим поперечним згином стінки, більше, рекомендовано враховувати його вплив на несну здатність.

Як для елементів, так і для профільованого листа впливом викривлення полиці на опір дозволено знехтувати за умови, що $b/t \leq 250\ h/b$ (див. рисунок 7.4).

Примітка 1. Для викривлення полиць характерна кривина всередину у напрямку до нейтральної площини, що може виникати, наприклад, у широких полицях елемента під дією згину, або у полицях аркової балки зі стиснутою. увігнутою стороною.

Примітка 2. Для касетних профілів вплив викривлення полиць враховано в пункті 11.2.2.2.

(2) Розрахунок максимального переміщення, обумовленого викривленням може бути виконаний за формулами (7.12) та (7.13). Формули застосовні до стиснутих і до розтягнутих полиць, як з поздовжніми елементами жорсткості так і без них, але без близько розташованих поперечних елементів жорсткості на полицях:

Для елемента, який до прикладання навантаження був прямолінійним

(див. рисунок 7.4):

$$v_{\mathrm{curl}} = 2\frac{\sigma_{\mathrm{a}}^2}{E^2}\frac{b_{\mathrm{curl}}^4}{t^2 z} \tag{7.12}$$

Для аркової балки:

$$v_{\mathrm{curl}} = 2\frac{\sigma_{\mathrm{a}}}{E}\frac{b_{\mathrm{curl}}^4}{t^2 r_{\mathrm{beam}}}, \tag{7.13}$$

де

v_{curl} — максимальне переміщення полиці у бік нейтральної осі, обумовлене викривленням див. рисунок 7.4;

b_{curl} — половина відстані між стінками коробчатого і омега-профілю, або ширина ділянки полиці, що виступає над стінкою, див. рисунок 7.4;

t — товщина полиці;

z — відстань від полиці до нейтральної осі поперечного перерізу брутто, див. рисунок 7.4;

r_{beam} — радіус кривини аркової балки;

σ_{a} — середнє напруження у полицях обчислене на основі поперечного перерізу брутто. Якщо напруження було попередньо обчислене на основі ефективного поперечного перерізу, середнє напруження дозволено обчислювати множенням напруження в ефективному поперечному перерізі на відношення площі ефективних частин до повної площі полиці.

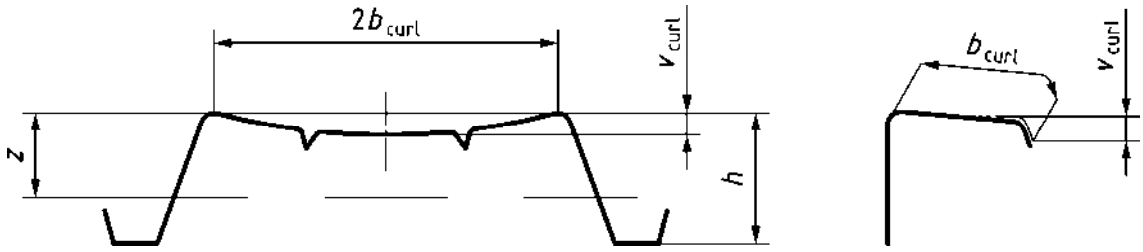


Рисунок 7.4 — Викривлення полиці

7.6 Розрахунок поперечного перерізу. Місцева втрата стійкості і втрата стійкості зі зміною форми перерізу

7.6.1 *Загальні положення*

(1) Для визначення несної здатності та жорсткості холодноформованих сталевих елементів і профільованого листа рекомендовано враховувати вплив місцевої втрати стійкості та втрати стійкості зі зміною форми перерізу.

(2) Вплив місцевої втрати стійкості рекомендовано враховувати згідно (6), (7) та 7.6.2 із використанням геометричних характеристик ефективного поперечного перерізу, обчислених на основі ефективної ширини, див. також EN 1993-1-5.

(3) Під час визначення опору місцевій втраті стійкості, границю текучості f_y для обчислення ефективної ширини стиснутих елементів згідно з EN 1993-1-5, рекомендовано приймати рівною f_{yb}.

Примітка. Опір поперечного перерізу місцевій втраті стійкості розглянуто в розділі 8.1.

(4) Для оцінювання експлуатаційної придатності ефективну ширину стиснутого елементу рекомендовано визначати за стискальним напруженням $\sigma_{com,Ed,ser}$ в елементі під дією навантаження до граничного стану експлуатаційної придатності;

(5) Вплив втрати стійкості зі зміною форми перерізу рекомендовано враховувати у випадках, подібних показаним на рисунках 7.5(a)-(e), Втрату стійкості зі зміною форми перерізу елементів з крайовими або проміжними елементами жорсткості рекомендовано враховувати відповідно до (6), (7) та 7.6.3.

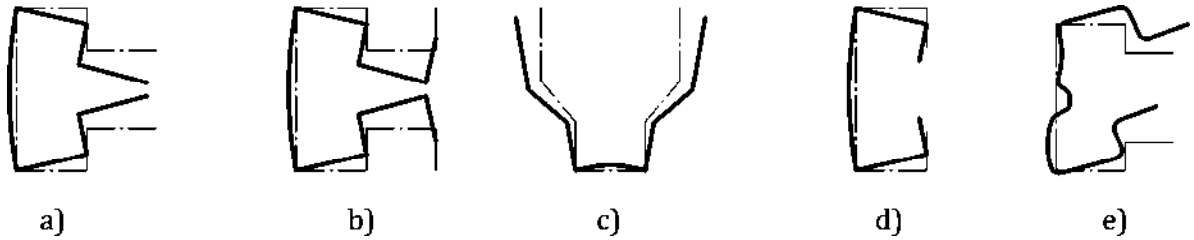


Рисунок 7.5 — Приклади форм втрати стійкості зі зміною форми перерізу

(6) Вплив місцевої втрати стійкості та втрати стійкості зі зміною

форми перерізу рекомендовано визначати лінійним (7.6.1(7)) або нелінійним розрахунком на стійкість (див. EN 1993-1-14) із застосуванням числових методів, за результатами випробувань зразків (коротких) колон (див. додаток А), або за спрощеними методиками, наведеними у 7.6.2 та EN 1993-1-5 для місцевої втрати стійкості, а також у 7.6.3.1 для втрати стійкості зі зміною форми перерізу.

(7) За умови, що навантаження пружної втрати стійкості обчислено лінійним розрахунком на втрату стійкості, дозволено застосовувати наступну методику:

a) Для півхвиль довжиною до номінальної довжини елементу, визначити критичне пружне навантаження під час втрати стійкості і встановити відповідну форму втрати стійкості, як показано на рисунку 7.6.

b) Відповідно до 7.6.2 розрахуйте ефективну ширину для елементів поперечного перерізу, що зазнають місцевої втрати стійкості, на основі мінімального пружного навантаження для місцевої втрати стійкості, див. рисунок 7.7.

c) Відповідно до 7.6.3.3 або 7.6.3.4 обчисліть приведену товщину всіх крайових і проміжних елементів жорсткості або інших елементів поперечного перерізу, які можуть зазнавати втрати стійкості зі зміною форми перерізу, обумовленої мінімальним навантаженням втрати стійкості зі зміною форми перерізу, див. рисунок 7.7).

d) Обчисліть загальний опір втраті стійкості відповідно до пункту 8.2 (щодо згинальної, крутильної, крутильно-згинальної та поперечно-крутильної форми втрати стійкості) для відповідної розрахункової довжини на основі ефективного поперечного перерізу, отриманого з пунктів b) і c).

(8) Наступну розрахункову методику рекомендовано застосовувати для визначення геометричних характеристик ефективного поперечного перерізу, обумовлених як місцевою втратою стійкості так і втратою стійкості зі зміною форми перерізу:

a) Ефективна площа A_{eff}:

Ефективну площу A_{eff} рекомендовано визначати за припущення, що на поперечний переріз діють тільки рівномірні напруження, обумовлені осьовим стиском, із урахуванням місцевої втрати стійкості відповідно до 7.6.2 і втрати стійкості зі зміною форми перерізу елементів з елементами жорсткості відповідно до 7.6.3. Для моносиметричних або асиметричних поперечних перерізів можливі зміщення e_{Ny} та e_{Nz} центра ваги ефективного поперечного перерізу відносно центра ваги поперечного перерізу брутто можуть призвести до виникнення додаткових згинальних моментів, які рекомендовано враховувати для визначення опору поперечного перерізу (див. 8.1 і рисунок 8.1) та опір елемента втраті стійкості (див. 8.2).

b) Ефективний момент опору W_{eff}:

Ефективний момент опору W_{eff} рекомендовано визначати припускаючи, що на поперечний переріз діє тільки згин. Застосовується наступна методика:

1) Ефективну площу стиснутих елементів поперечного перерізу (наприклад, полиці C- або Z-подібного профілю при згинанні відносно головної осі) дозволено визначати з урахуванням місцевої втрати стійкості відповідно до 7.6.2 і втрати стійкості зі зміною форми перерізу підкріплених елементів відповідно до 7.6.3, використовуючи коефіцієнт напружень, заснований на поперечному перерізі брутто.

2) Ефективну площу елементів поперечного перерізу під дією лінійно-змінного напруження (наприклад, стінки C-або Z-подібного профілю при згинанні відносно головної осі), дозволено визначати з урахуванням місцевої втрати стійкості відповідно до 7.6.2 і втрати стійкості зі зміною форми перерізу підкріплених елементів відповідно до 7.6.3, використовуючи коефіцієнт напружень ψ заснований на поперечному перерізі, складеному з ефективних площ рівномірно стиснутих елементів (наприклад, полиць), обчислених на попередньому етапі a), і площі поперечного перерізу брутто елементів під дією лінійнозмінного напруження (наприклад, стінки).

3) Якщо ефективний осьовий момент опору поперечного перерізу W_{eff}, який було розраховано на основі максимального напруження в поперечному перерізі, дорівнює основній границі текучості f_{yb}, ефективний поперечний переріз дозволено уточнити повторним розрахунком розподілу напружень на основі ефективного поперечного перерізу, отриманого на попередньому етапі. У випадку уточнення рекомендовано використовувати не менше двох ітерацій.

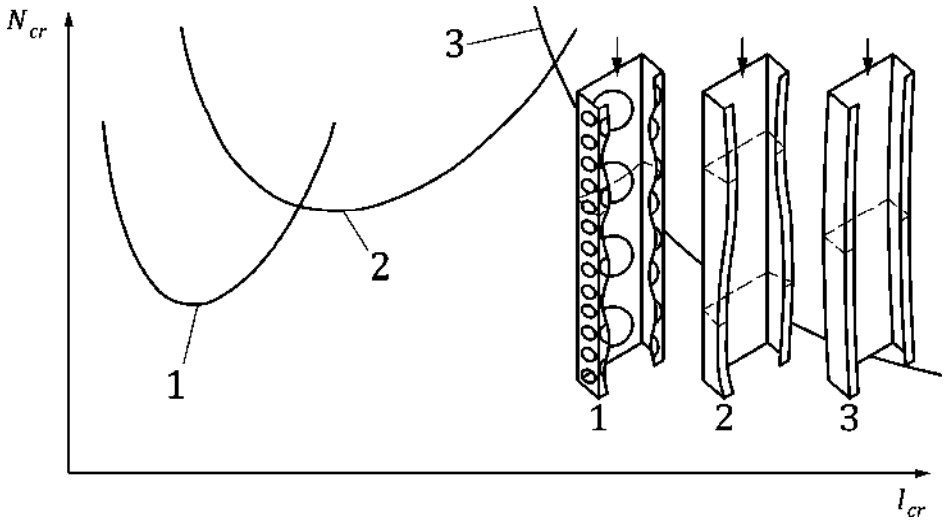
Якщо ефективні геометричні характеристики перерізу було обчислено на основі максимального напруження $\sigma_{\text{com,Ed}}$ у поперечному перерізі, меншому за f_{yb} (див. 7.6.2(5) і 7.6.3.2(2)), ефективний поперечний переріз рекомендовано уточнити перерахувавши розподіл напружень на основі ефективного поперечного перерізу, обчисленого на попередніх етапах. Мінімальна кількість ітерацій — дві.

(9) Як альтернативу пункту 7.6.1(8) під час перевірки опору поперечного перерізу відповідно до пункту 8.1 дозволено визначити один ефективний поперечний переріз, припускаючи, за умови, що на поперечний переріз одночасно діє комбінований рівномірний стиск або розтяг, обумовлений осьовим зусиллям N_{Ed} та згинальні напруження, обумовлені згинальним моментом M_{Ed}. Можливі зміщення e_{Ny} і e_{Nz} центра ваги ефективного поперечного перерізу щодо центра ваги поперечного перерізу брутто можуть призвести до виникнення додаткових згинальних моментів, які рекомендовано враховувати. Це вимагає ітерацій.

Під час перевірки опору елемента вигину відповідно до пункту 8.2, альтернативну методику використовувати не потрібно.

(10) Для визначення навантажень пружної втрати стійкості дозволено використовувати числові методи, зазначені у 7.6.1(7), наприклад, метод скінченних елементів (МСК), метод скінченних смуг (*Finite Strip Methods; FSM*) або узагальнена теорія балок (*Generalized Beam Theory; GBT*), засновані на лінійному пружному біфуркаційному розрахунку (*linear elastic bifurcation analysis; LBA*).

Примітка. Скінченно-елементний розрахунок сталевих конструкцій наведено в EN 1993-1-14.



Умовні позначки:

l_{cr} — довжина півхвилі;

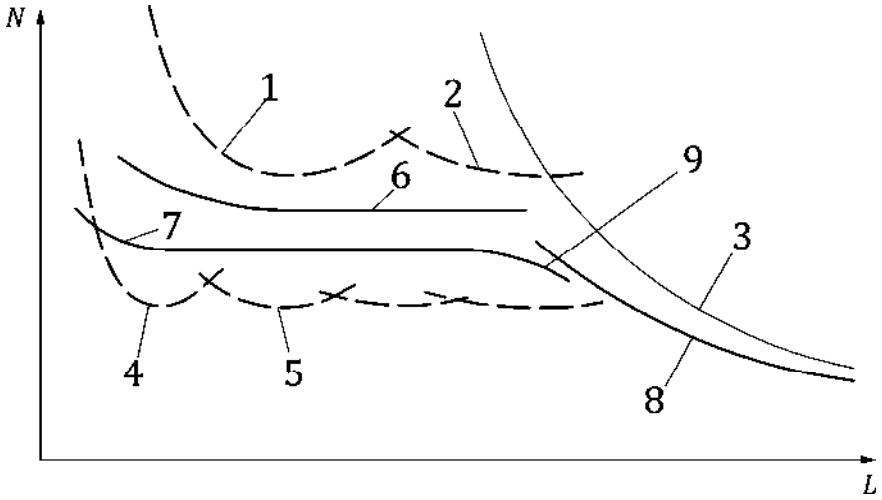
N_{cr} — напруження при втраті стійкості;

1 — місцева втрата стійкості;

2 — втрата стійкості зі зміною форми перерізу;

3 — загальна втрата стійкості

Рисунок 7.6 — Приклади пружного критичного навантаження для різних форм втрати стійкості, як функція півхвилі;



Умовні познаки:

L — довжина елемента;

N — навантаження

1—2 — пружна втрата стійкості зі зміною форми перерізу, представлена у вигляді гірляндних кривих зі збільшенням кількості поздовжніх півхвиль;

3 — пружна загальна втрата стійкості;

4-5 — пружна місцева втрата стійкості, представлена у вигляді гірляндних кривих зі збільшенням кількості поздовжніх півхвиль;

6 — опір втраті стійкості зі зміною форми перерізу;

7 — опір місцевій втраті стійкості;

8 — загальна втрата стійкості;

9 — можлива місцево-загальна пов'язана втрата стійкості;

Рисунок 7.7 — Приклади пружного навантаження під час втрати стійкості і опір втраті стійкості як функція від довжини елемента;

7.6.2 *Плоскі елементи без елементів жорсткості*

(1) Ефективну ширину непідкріплених елементів рекомендовано визначати за EN 1993-1-5, використовуючи умовну плоску ширину b_{p} для $\overline{b}$ і визначаючи понижувальні коефіцієнти для місцевої втрати стійкості пластини на основі гнучкості пластини $\bar{\lambda}_p$ і основної границі текучості f_{yb}.

(2) Умовну плоску ширину b_{p} плоского елемента рекомендовано визначати відповідно до таблиці 7.3. Якщо плоский елемент є похилою площиною, то рекомендовано приймати висоту бічної грані.

(3) Для консольних елементів дозволено застосовувати змішаний метод ефективної ширини/ефективної товщини, який рекомендовано виконувати відповідно до вимог додатку С.

(4) Під час застосування методу, передбаченого в EN 1993-1-5, дозволено використовувати наступну методику:

Ефективну площу рівномірно стиснутих плоских елементів у поперечному перерізі під дією лінійнозмінного напруження (наприклад, полиця С-подібного профілю при згинанні відносно головної осі), дозволено визначати за таблицями 6.1 і 6.2 стандарту EN 1993-1-5:2024 з використанням коефіцієнта напружень ψ, обумовленого характеристиками поперечного перерізу брутто.

Ефективну площу плоских елементів під дією лінійнозмінного напруження (наприклад, стінки С-подібного профілю у випадку згинання відносно головної осі), дозволено визначати за таблицями 6.1 і 6.2 стандарту EN 1993-1-5: 2024, з використанням коефіцієнта напружень ψ, заснованого на поперечному перерізі, складеному з ефективних площ рівномірно стиснутих плоских елементів та поперечному перерізі брутто плоских елементів під дією лінійнозмінного напруження.

Примітка. Ітеративний розрахунок ефективного поперечного перерізу наведено в 7.6.1(8).

Спрощений метод, наведений у 7.6.4, дозволено використовувати для стінок з трапецієподібного профільованого листа під дією лінійно змінних напружень.

(5) Відповідно до EN 1993-1-5: 2024, 6.4.1(6), гнучкість пластини $\bar{\lambda}_{\mathrm{p}}$ дозволено замінити на $\bar{\lambda}_{\mathrm{p,red}}$, що залежить від напруження стиску $\sigma_{\mathrm{com,Ed}}$ (меншого за основну границю текучості $f_{\mathrm{yb}}/\gamma_{\mathrm{M0}}$) за формулою (7.14):

$$\bar{\lambda}_{\mathrm{p,red}} = \bar{\lambda}_{\mathrm{p}} \sqrt{\frac{\sigma_{\mathrm{com,Ed}}}{f_{\mathrm{yb}}/\gamma_{\mathrm{M0}}}}, \qquad (7.14)$$

де

$\sigma_{com,Ed}$ — розрахункове значення стискального напруження у відповідному плоскому елементі, визначене як сума всіх одночасних напружень, кожне з яких обчислене на основі ефективного поперечного перерізу для цього конкретного виду навантаження.

Примітка. У цьому стандарті $\sigma_{com,Ed}$ може використовуватися як для перевірки опору поперечного перерізу, враховуючи як місцеву втрату стійкості так і втрату стійкості зі зміною форми перерізу, а також для перевірки стійкості елемента, що дозволяє точніше визначення $\sigma_{com,Ed}$ порівняно з EN 1993-1-5.

Це потребує ітеративного розрахунку ефективного поперечного перерізу згідно 7.6.1(8).

(6) Якщо розрахунок заснований на $\sigma_{com,Ed}$, рекомендовано слідувати наступній методиці:

Ефективну площу кожного відповідного елемента поперечного перерізу рекомендовано обчислювати на основі стискального напруження $\sigma_{com,Ed}$ визначеного для цього конкретного елемента у 7.6.2, 7.6.3.2, 7.6.3.3 і 7.6.3.4.

Опір поперечного перерізу і опір втраті стійкості елементів рекомендовано визначати за 8.1 і 8.2, згідно з якими

— всі відповідні опори поперечних перерізів рекомендовано розраховувати на основі одного і того ж значення максимального стискального напруження $\sigma_{com,Ed,max}$ в ефективному поперечному перерізі і

— максимальне стискальне напруження $\sigma_{com,Ed,max}$ замінює f_{yb} and f_{ya} у 8.1 та 8.2, де це доцільно. Значення опорів втраті стійкості рекомендовано розраховувати на основі кривих втрати стійкості, наведених для f_{yb}.

7.6.3 *Плоскі елементи з крайовими або проміжними елементами жорсткості*

7.6.3.1 *Конструкційне моделювання для розрахунку втрати*

стійкості зі зміною форми перерізу

(1) Проєктування стиснутих плоских елементів з крайовими або проміжними елементами жорсткості рекомендовано виконувати на основі припущення, що підкріплений елемент разом з елементами жорсткості працює як стиснутий із безперервним частковим розкріпленням, із пружинною жорсткістю, що залежить від граничних умов і згинальної жорсткості прилеглих плоских елементів.

(2) Пружинну жорсткість елементів жорсткості рекомендовано визначати прикладанням одиничного навантаження F_{unit} (на одиницю довжини), як показано в таблиці 7.6. Пружинну жорсткість K_{st} на одиницю довжини дозволено визначати за формулою (7.15):

$$K_{\mathrm{st}} = \frac{F_{\mathrm{unit}}}{v_{\mathrm{st}}}, \tag{7.15}$$

де

F_{unit} — одиничне навантаження (на одиницю довжини), що діє на центр ваги сполучення, складеного з ефективних частин елемента жорсткості і прилеглих до них ефективних площ підкріпленої пластини, див таблицю 7.6;;

v_{st} — прогин елемента жорсткості під дією одиничного навантаження F_{unit}.

(3) Під час визначення значень поворотної жорсткості пружини C_{θ}, $C_{\theta,1}$ та $C_{\theta,2}$ на основі геометрії поперечного перерізу (див. таблицю 7.6 (a)) рекомендовано враховувати можливий вплив інших елементів жорсткості, наявних у тому ж елементі або в інших елементах стиснутого поперечного перерізу.

(4) Для крайового елемента жорсткості прогинv_{st} рекомендовано визначати за формулою (7.16):

$$v_{\mathrm{st}} = \theta b_{\mathrm{p}} + \frac{F_{\mathrm{unit}}\, b_{\mathrm{K1}}^{3}}{3} \cdot \frac{12(1-\nu^{2})}{E t^{3}} \tag{7.16}$$

$$\theta = \frac{F_{\text{unit}} b_{\text{K1}}}{C_{\theta}}$$

(5) Для крайових елементів жорсткості C- та Z-подібних профілів з відгинами C_{θ} рекомендовано визначати з урахуванням одиничних навантажень F_{unit}, прикладених як показано в таблиці 7.6 (c). Це дає формулу (7.17) для обчислення пружинної жорсткості $K_{\text{st,1}}$ елемента жорсткості на полиці 1:

$$K_{\text{st,1}} = \frac{E t^3}{4(1-\nu^2)} \cdot \frac{1}{b_{\text{K1}}^2 \, h_{\text{w}} + b_{\text{K1}}^3 + 0{,}5 \, b_{\text{K1}} \, b_{\text{K2}} \, h_{\text{w}} k_{\text{lf}}}, \qquad (7.17)$$

де

b_{K1} — відстань від місця з'єднання стінки з полицею до центра ваги ефективного поперечного перерізу крайового елемента жорсткості (включно з ефективною частиною b_{e2} полиці 1, див. таблицю 7.6 (a);

b_{K2} — відстань від місця з'єднання стінки з полицею до центра ваги ефективного поперечного перерізу крайового елемента жорсткості (включно з ефективною частиною полиці), полиці 2);

h_{w} — висота стінки виміряна між серединними лініями полиць;

k_{lf} — коефіцієнт, що враховує тип навантаження на фланці, з:

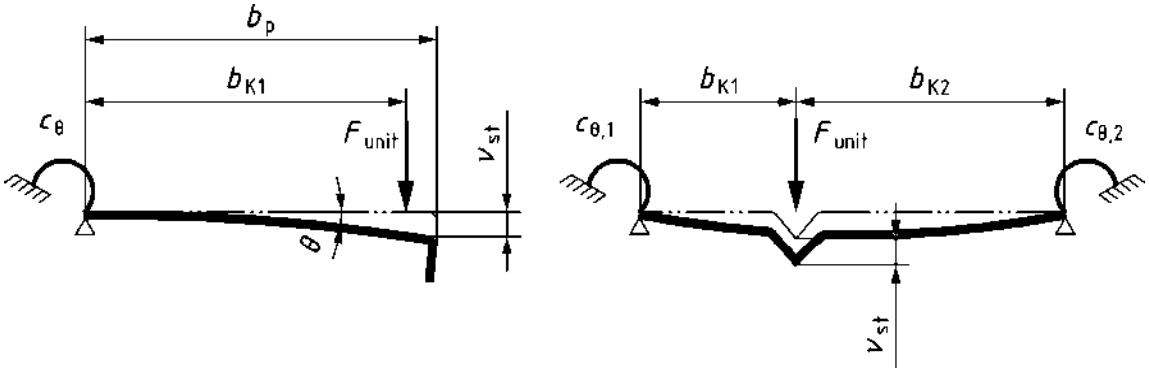
$k_{\text{lf}} = 0$ якщо полиця 2 розтягнута (наприклад, для елемента, зігнутого навколо осі *y-y*);

$k_{lf} = \frac{A_{\text{st2}}}{A_{\text{st1}}}$якщо полиця 2 стиснута (наприклад, для колони при осьовому стисненні);

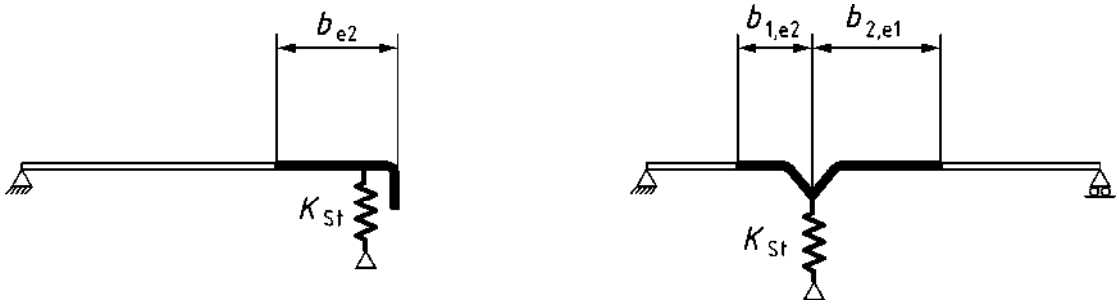
k_{lf}= 1 для стиснутого симетричного перерізу.

A_{st1}, A_{st2} — ефективні площі крайових елементів жорсткості (включно з ефективною частиною полиці b_{e2}, див. таблицю7.6 (b) для полиць 1 і 2 відповідно).

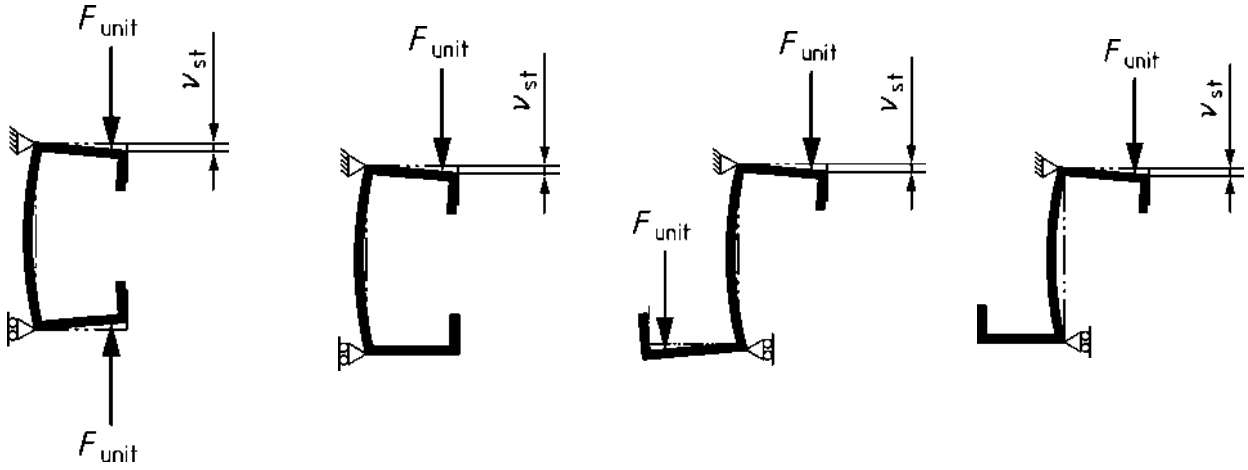
Таблиця 7.6 — Визначення пружинної жорсткості



(a) Реальна система



(b) Еквівалентна система



Осьовий стиск або згин навколо другої головної осі | Згинання відносно головної осі | Осьовий стиск | Згин навколо першої або другої головної осі

(c) Приклад обчислення v_{st} для C- та Z- подібних профілів

(6) Як консервативну альтернативу значення поворотної жорсткості пружини проміжного елемента жорсткості, $C_{\theta,1}$ та $C_{\theta,2}$ дозволено приймати рівними нулю, а прогин v_{st} лрзволено обчислювати за формулою (7.18):

$$v_{st} = \frac{F_{unit}\, b_{K1}^2\, b_{K2}^2}{3(b_{K1} + b_{K2})} \cdot \frac{12(1-\nu^2)}{Et^3}, \qquad (7.18)$$

де

F_{unit} — одиничне навантаження (на одиницю довжини), зазначене в (2);

b_{K1}, b_{K2} — відстані, зазначені в (5), див. таблицю 7.6.

7.6.3.2 *Опір втраті стійкості зі зміною форми перерізу*

(1) Понижувальний коефіцієнт χ_{d} для визначення опору втраті стійкості зі зміною форми перерізу рекомендовано обчислювати за відносною гнучкістю $\bar{\lambda}_{\text{d}}$, як наведено у формулах (7.19) — (7.21):

$$\chi_{\text{d}} = 1{,}0 \quad \text{якщо} \quad \bar{\lambda}_{\text{d}} \leq 0{,}65 \tag{7.19}$$

$$\chi_{\text{d}} = 1{,}47 - 0{,}723\,\bar{\lambda}_{\text{d}} \quad \text{якщо} \quad 0{,}65 \leq \bar{\lambda}_{\text{d}} < 1{,}38 \tag{7.20}$$

$$\chi_{\text{d}} = \frac{0{,}66}{\bar{\lambda}_{\text{d}}} \quad \text{якщо} \quad \bar{\lambda}_{\text{d}} \geq 1{,}38 \tag{7.21}$$

з

$$\bar{\lambda}_{\text{d}} = \sqrt{\frac{f_{\text{yb}}}{\sigma_{\text{cr,st}}}}, \tag{7.22}$$

де

$\sigma_{\text{cr,st}}$ — критичне пружне напруження при втраті стійкості елемента (елементів) жорсткості, визначене відповідно до 7.6.3.3, 7.6.3.4 або 7.6.4.2.

(2) Відносну гнучкість $\bar{\lambda}_{\text{d}}$згідно з формулою (7.22) дозволено замінити на величину $\bar{\lambda}_{\text{d,red}}$, обумовлену стискальним напруженням $\sigma_{\text{com,Ed}}$, застосувавши формулу (7.23):

$$\bar{\lambda}_{\text{d,red}} = \bar{\lambda}_{\text{d}} \sqrt{\frac{\sigma_{\text{com,Ed}}}{f_{\text{yb}}/\gamma_{\text{M0}}}}, \tag{7.23}$$

де

$\sigma_{\text{com,Ed}}$ — максимальне розрахункове значення стискального напруження в центрі ваги елемента жорсткості, обчислене на основі відповідного ефективного поперечного перерізу відповідно до 7.6.2(5).

Це потребує ітеративного розрахунку ефективного поперечного

перерізу згідно 7.6.1(8).

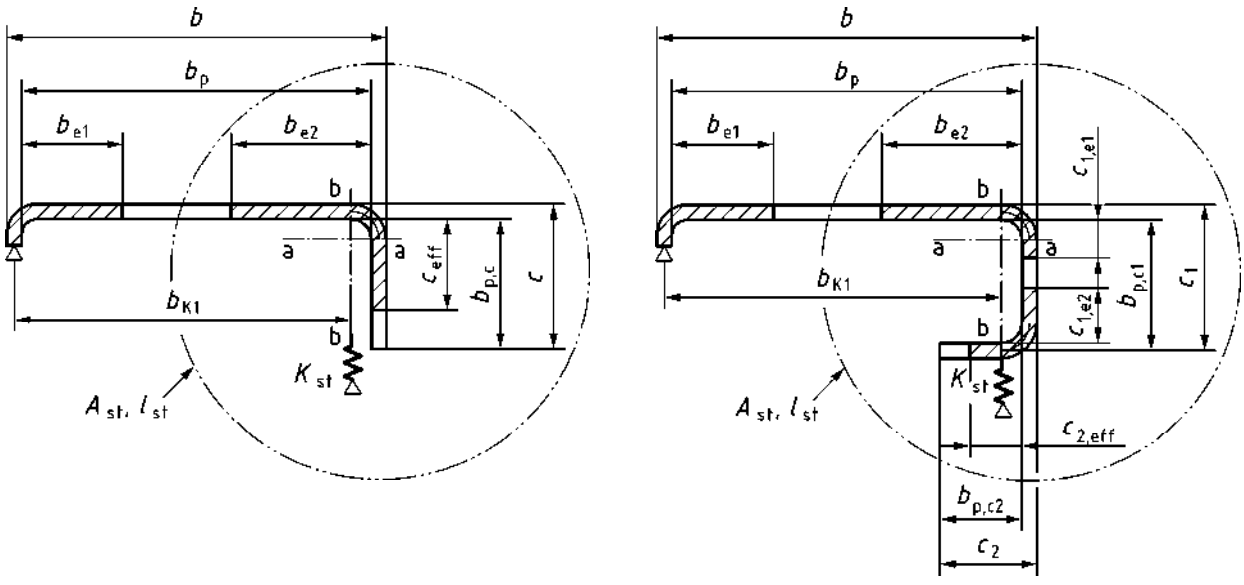
(3) Для виконання розрахунку, заснованого на $\sigma_{\mathrm{com,Ed}}$, рекомендовано дотримуватися методики, передбаченої в 7.6.2(6).

(4) Як альтернативу, пружне критичне напруження втрати стійкості $\sigma_{\mathrm{cr,st}}$ дозволено визначати пружним розрахунком першого порядку на втрату стійкості з використанням числових методів (див.7.6.1 (7) та (10)).

(5) Для плоского елемента з крайовими і проміжними елементами жорсткості та за відсутності точнішого метода розрахунку, впливом проміжних елементів жорсткості можна знехтувати.

7.6.3.3 *Плоскі елементи з крайовими елементами жорсткості. Взаємодія місцевої втрати стійкості та втрати стійкості зі зміною форми перерізу*

(1) Наведену нижче методику дозволено застосовувати до крайового відгину, якщо кут між відгином і плоским елементом знаходиться в межах від 45° до 135° і виконано вимоги 7.4.



a) одинарний крайовий відгин (елемент жорсткості з одинарним відгином)

b) подвійний крайовий відгин (елемент жорсткості з подвійним відгином)

Рисунок 7.8 — Крайові елементи жорсткості

(2) Поперечний переріз крайового елемента жорсткості рекомендовано розглядати як такий, що містить ефективні ділянки

елемента жорсткості (тобто ефективні ділянки елемента c, або елементів c_1 та c_2, як показано на рис. 7.8), і прилеглу ефективну ділянку плоского елемента $b_{\mathrm{p.}}$

(3) Методику, наведену у таблиці 7.7 рекомендовано виконувати у наступній послідовності:

Етап 1: **Місцева втрата стійкості плоских елементів**

Визначення початкового ефективного поперечного перерізу елемента жорсткості з обчисленням значень ефективної ширини, на основі припущення, що елемент жорсткості забезпечує повне обмеження, див (4) та (5);

Етап 2: **Втрата стійкості зі зміною форми перерізу**

Визначення понижувального коефіцієнта для втрати стійкості зі зміною форми перерізу з використанням початкового ефективного поперечного перерізу елемента жорсткості, за наявності неперервного пружинного розкріплення, див. (6), (7), (8) та (9);

Етап 3: Уточнення ефективного поперечного перерізу крайових елементів жорсткості (не обов'язково);

Цей етап є необов'язковим і його дозволено пропустити. Уточнення ітерацією значення понижувального коефіцієнта для втрати стійкості зі зміною форми перерізу наведено у (10);

Етап 4: **Прийняття ефективного поперечного перерізу крайового елемента жорсткості,** див. (11)

(4) Початкові значення ефективної ширини b_{e1} та b_{e2} плоского елемента, показані на рисунку 7.8, рекомендовано визначати за 7.6.2, припускаючи, що плоский елемент b_{p} має дві опорні ділянки, див. таблицю 6.1 в EN 1993-1-5:2024.

(5) Початкові значення ефективної ширини крайового елемента жорсткості, показані на рисунку 7.8, рекомендовано обчислювати наступним чином:

а) для одинарного крайового відгину (див. рисунок 7.8 а):

$$c_{\mathrm{eff}} = \rho\, b_{\mathrm{p,c}}\,, \qquad (7.24)$$

де

ρ — понижувальний коефіцієнт для місцевої втрати стійкості, обчислений за 7.6.2, за винятком того, що значення коефіцієнта втрати стійкості k_σ рекомендовано обчислювати так:

$$k_\sigma = 0{,}5 \qquad \text{Якщо} \quad b_{\mathrm{p,c}}/b_{\mathrm{p}} \le 0{,}35 \qquad (7.25)$$

$$k_\sigma = 0{,}5 + 0{,}83\sqrt[3]{\left(\frac{b_{\mathrm{p,c}}}{b_{\mathrm{p}}} - 0{,}35\right)^2} \qquad \text{якщо} \quad 0{,}35 < b_{\mathrm{p,c}}/b_{\mathrm{p}} \le 0{,}6 \qquad (7.26)$$

b) для подвійного крайового відгину (див. рисунок 7.8 b):

$$c_{1,\mathrm{eff}} = \rho\, b_{\mathrm{p,c1}}\,, \qquad (7.27)$$

де

ρ — понижувальний коефіцієнт для місцевої втрати стійкості, обчислений за 7.6.2, з використанням коефіцієнта втрати стійкості k_σ для елемента, обпертого в двох місцях, обчисленого за таблицею 6.1 у EN 1993-1-5:2024;

та:

$$c_{2,\mathrm{eff}} = \rho\, b_{\mathrm{p,c2}}\,, \qquad (7.28)$$

де

ρ — понижувальний коефіцієнт для місцевої втрати стійкості, обчислений за 7.6.2, з використанням коефіцієнта втрати стійкості k_σ для консольного елемента, обчисленого за таблицею 6.2 EN 1993-1-5:2024.

(6) Для розрахунку площі A_{st} і моменту інерції I_{st} ефективного поперечного перерізу крайового елемента жорсткості, заокруглені кути потрібно враховувати за тими ж принципами, що були використані для обчислення ефективного поперечного перерізу відповідно до 7.3.1, див. рисунок 7.8.

(7) Критичне пружне напруження під час втрати стійкості $\sigma_{\mathrm{cr,st}}$ крайового елемента жорсткості рекомендовано визначати за формулою

(7.29):

$$\sigma_{\mathrm{cr,st}} = \frac{2\sqrt{K_{\mathrm{st}}\, E\, I_{\mathrm{st}}}}{A_{\mathrm{st}}}, \qquad (7.29)$$

де

K_{st} — пружинна жорсткість крайового елемента жорсткості на одиницю довжини, див. 7.6.3.1(2);

I_{st} — момент інерції ефективного поперечного перерізу крайового елемента жорсткості навколо осі, яка проходить через її центр ваги a-a, див. рисунок 7.8.

(8)) Як альтернативу, пружне критичне напруження втрати стійкості $\sigma_{\mathrm{cr,st}}$ дозволено визначати з використанням пружного розрахунку першого порядку на втрату стійкості числовими методами (див.7.6.1 (7) та (10)).

(9) Понижувальний коефіцієнт χ_{d} для опору втраті стійкості зі зміною форми перерізу крайового елемента жорсткості рекомендовано обчислювати за 7.6.3.2 на основі $\sigma_{\mathrm{cr,st}}$.

(10) Необов'язково, за умови, що $\chi_{\mathrm{d}} < 1$, ефективний поперечний переріз крайового елемента жорсткості дозволено уточнювати ітерацією, повторюючи алгоритм, описаний в етапі 1 таблиці 7.7, зі зміненими значеннями ρ, заснованими на зменшеному напруженні, визначеному за формулою (7.30):

$$\sigma_{\mathrm{com,Ed,n,red}} = \chi_{\mathrm{d,(n-1)}} f_{\mathrm{yb}} / \gamma_{\mathrm{M0}}, \qquad (7.30)$$

де

n — номер ітераційного циклу.

Це призводить до зменшення гнучкості пластини для всіх плоских елементів, що складають елемент жорсткості, заданий у формулі (7.31):

$$\bar{\lambda}_{\mathrm{p,n,red}} = \bar{\lambda}_{\mathrm{p}} \sqrt{\chi_{\mathrm{d\ (n-1)}}} \qquad (7.31)$$

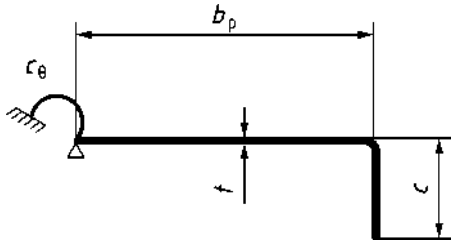
Якщо розрахунок місцевої втрати стійкості зі зміною форми перерізу відповідно до пунктів 7.6.2 і 7.6.3.2 заснований на стискальному напруженні $\sigma_{\mathrm{com,Ed}}$, то f_{yb} у формулі (7.30) рекомендовано замінити на $\sigma_{\mathrm{com,Ed}}$.

(11) Приведену товщину t_{red} всіх частин крайового елемента

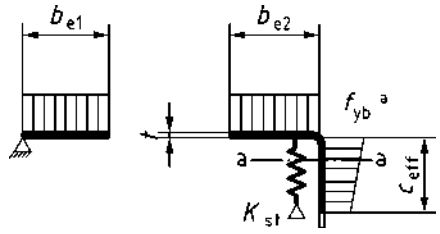
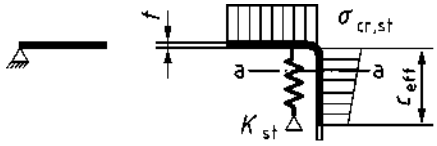
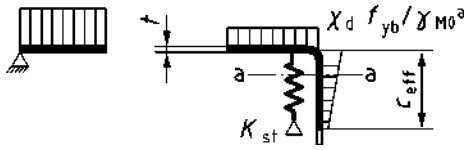
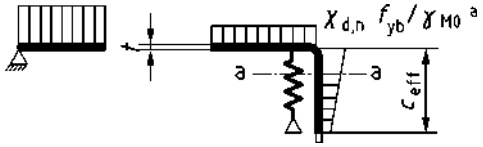
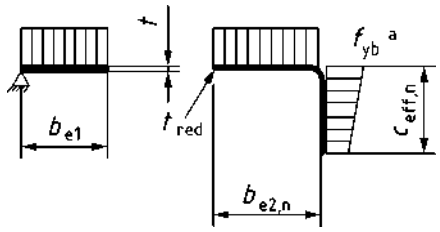
жорсткості (тобто для одинарного крайового відгину: $b_{e2,n}$, $c_{eff,n}$; для подвійного крайового відгину $b_{e2,n}$, $c_{1,e1,n}$, $c_{1,e2,n}$, $c_{2,eff,n}$) рекомендовано приймати за формулою (7.32):

$$t_{red} = \chi_d \cdot t \qquad (7.32)$$

Таблиця 7.7 — Опір стисненню полиці з крайовим елементом жорсткості відповідно до (3)

	**Поперечний переріз брутто та граничні умови відповідно до (1) та (2)**

Кінець таблиці 7.7

	**Етап 1: Місцева втрата стійкості плоских елементів** Обчислення ефективного поперечного перерізу (b_{e1}, b_{e2}, c_{eff}) відповідно до (4) та (5) для $K_{st} = \infty$
  Ітерація 1	**Етап 2**: **Втрата стійкості зі зміною форми перерізу** a) Обчислення критичного пружного напруження при втрати стійкості $\sigma_{cr,st}$ відповідно до (6), (7) або (8), на основі площі ефективного поперечного перерізу крайового елемента жорсткості A_{st}, визначеної на етапі 1 b) Обчислення понижувального коефіцієнта χ_d для втрати стійкості зі зміною форми перерізу відповідно до (9), на основі $\sigma_{cr,st}$
 Ітерація n	**Етап 3: Уточнення ефективного поперечного перерізу крайового елемента жорсткості (не обов'язково);** Опціонально, за умови, що χ_d <1, повторення етапу 1, із повторним обчисленням ефективної ширини крайового елемента жорсткості (b_{e2}, c_{eff}) з урахуванням зменшеного стискального напруження $\sigma_{com,Ed,n,red}$ відповідно до (10), з використанням χ_d із попередньої ітерації і продовженням до $\chi_{d,n} \approx \chi_{d,(n-1)}$, але $\chi_{d,n} \leq \chi_{d,(n-1)}$.
	**Етап 3: Уточнення ефективного поперечного перерізу крайового елемента жорсткості;** Обчислення приведеної товщини t_{red} крайового елемента жорсткості (b_{e2}, c_{eff}) на основі $\chi_{d,n}$ відповідно до (11)
[a] Якщо розрахунок місцевої втрати стійкості зі зміною форми перерізу відповідно до пунктів 7.6.2 і 7.6.3.2 заснований на стискальному напруженні $\sigma_{com,Ed}$, то f_{yb} рекомендовано замінити на $\sigma_{com,Ed}$.	

7.6.3.4 *Плоскі елементи з проміжними елементами жорсткості. Взаємодія місцевої втрати стійкості та втрати стійкості зі зміною форми перерізу*

(1) Наведену нижче методику дозволено застосовувати до одного або двох однакових проміжних елементів жорсткості, утворених гофрами або складками, за умови, що ефективна ширина всіх плоских елементів обчислена відповідно до 7.6.2.

(2) Поперечний переріз проміжного елемента жорсткості рекомендовано розглядати як такий, що містить сам елемент жорсткості та прилеглі ефективні ділянки $b_{1e,1}$ та $b_{2,e1}$ підкріплених плоских елементів, як показано на рисунку 7.9.

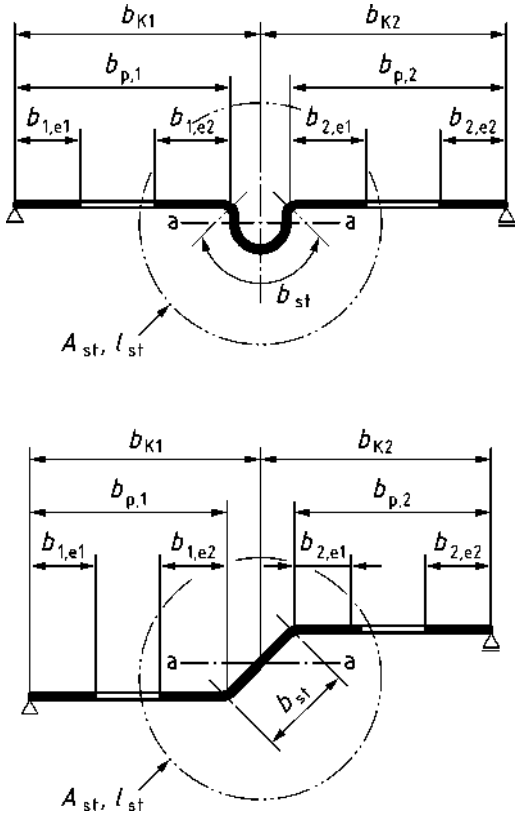


Рисунок 7.9 — Проміжні елементи жорсткості

(3) Методику, наведену у таблиці 7.8 рекомендовано виконувати у наступній послідовності:

Етап 1: **Місцева втрата стійкості плоских елементів**

Визначення початкового ефективного поперечного перерізу елемента жорсткості з обчисленням значень ефективної ширини, на основі припущення, що елемент жорсткості забезпечує повне обмеження, див (4);

Етап 2: **Втрата стійкості зі зміною форми перерізу**

Визначення понижувального коефіцієнта для втрати стійкості зі

зміною форми перерізу з використанням початкового ефективного поперечного перерізу елемента жорсткості, за наявності неперервного пружинного розкріплення, див. (5), (6), (7) та (8);

Етап 3: Уточнення ефективного поперечного перерізу проміжних елементів жорсткості (не обов'язково);

Цей етап є необов'язковим і його дозволено пропустити. Уточнення значення понижувального коефіцієнта для втрати стійкості зі зміною форми перерізу ітерацією наведено у (9);

Етап 4: **Прийняття ефективного поперечного перерізу проміжного елемента жорсткості,** див. (10)

(4) Початкові значення ефективної ширини $b_{1,e2}$ та $b_{2,e1}$, показані на рисунку 7.9, рекомендовано визначати за 7.6.2, припускаючи, що плоскі елементи $b_{p,1}$ та $b_{p,2}$ мають дві опорні ділянки, див. таблицю 6.1 в EN 1993-1-5:2024.

(6) Для розрахунку площі A_{st} і моменту інерції I_{st} ефективного поперечного перерізу проміжного елемента жорсткості, заокруглені кути потрібно враховувати за тими ж принципами, що були використані для обчислення ефективного поперечного перерізу відповідно до 7.3.1, див. рисунок 7.9.

(6) Критичне пружне напруження під час втрати стійкості $\sigma_{cr,st}$ проміжного елемента жорсткості рекомендовано визначати за формулою (7.33):

$$\sigma_{cr,st} = \frac{2\sqrt{K_{st}\, E\, I_{st}}}{A_{st}}, \qquad (7.33)$$

де

K_{st} — пружинна жорсткість проміжного елемента жорсткості на одиницю довжини, див. 7.6.3.1(2);

I_{st} — момент інерції ефективного поперечного перерізу проміжного елемента жорсткості навколо осі, яка проходить через її центр ваги a-a, див. рисунок 7.9.

(7) Як альтернативу, пружне критичне напруження втрати стійкості $\sigma_{\mathrm{cr,st}}$ дозволено визначати пружним розрахунком першого порядку на втрату стійкості з використанням числових методів (див. 7.6.1(7)(10).

(8) Понижувальний коефіцієнт χ_{d} для опору втраті стійкості зі зміною форми перерізу проміжного елемента жорсткості рекомендовано обчислювати за 7.6.3.2 на основі $\sigma_{\mathrm{cr,st}}$.

(9) Необов'язково, за умови, що $\chi_{\mathrm{d}} < 1$, ефективний поперечний переріз проміжного елемента жорсткості дозволено уточнювати ітерацією, повторюючи алгоритм, описаний в етапі 1 таблиці 7.8, зі зміненими значеннями ρ, заснованими на зменшеному напруженні, визначеному за формулою (7.34):

$$\sigma_{\mathrm{com,Ed,n,red}} = \chi_{\mathrm{d,(n-1)}} f_{\mathrm{yb}} / \gamma_{\mathrm{M0}} , \qquad (7.34)$$

Де

n — номер ітераційного циклу.

Це призводить до зменшення гнучкості пластини для всіх плоских елементів, що складають елемент жорсткості, заданий у формулі (7.35):

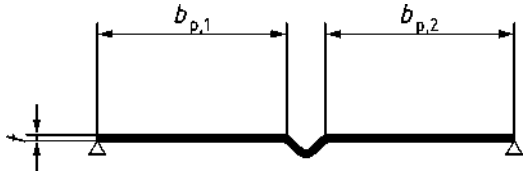
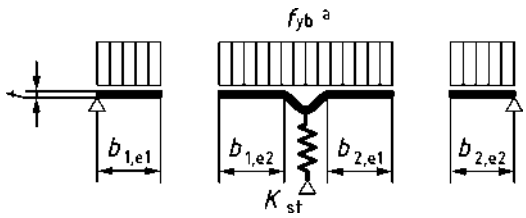
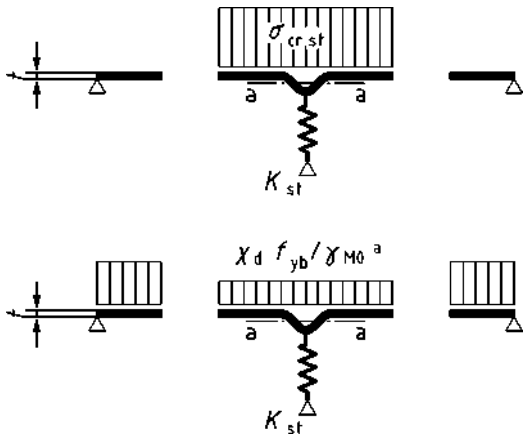
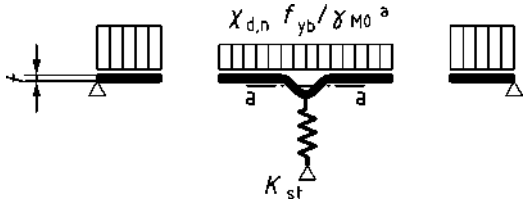
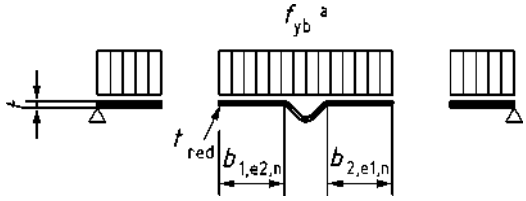
$$\bar{\lambda}_{\mathrm{p,n,red}} = \bar{\lambda}_{\mathrm{p}} \sqrt{\chi_{\mathrm{d\ (n-1)}}} \qquad (7.35)$$

Якщо розрахунок місцевої втрати стійкості зі зміною форми перерізу відповідно до 7.6.2 і 7.6.3.2 заснований на стискальному напруженні $\sigma_{\mathrm{com,Ed}}$, то f_{yb} у формулі (7.34) рекомендовано замінити на $\sigma_{\mathrm{com,Ed}}$.

(10) Приведену товщину t_{red} усіх частин проміжного елемента жорсткості ($b_{1,\mathrm{e2,n}}$, $b_{2,\mathrm{e1,n}}$, b_{st}) рекомендовано приймати за формулою (7.36):

$$t_{\mathrm{red}} = \chi_{\mathrm{d}} \cdot t \qquad (7.36)$$

Таблиця 7.8 — Опір стисненню плоского елемента з проміжним елементом жорсткості відповідно до (3)

	**Поперечний переріз брутто та граничні умови відповідно до (1) та (2)**
	**Етап 1: Місцева втрата стійкості плоских елементів** Обчислення ефективного поперечного перерізу (b_{1e1}, b_{1e2}, b_{2e1}, b_{2e2}) згідно (4) для $K_{st} = \infty$
 Ітерація 1	**Етап 2**: **Втрата стійкості зі зміною форми перерізу** a) Обчислення критичного пружного напруження при втрати стійкості $\sigma_{cr,st}$ відповідно до (5), (6) або (7), на основі площі ефективного поперечного перерізу проміжного елемента жорсткості A_{st}, визначеної на етапі 1 b) Обчислення понижувального коефіцієнта χ_d для втрати стійкості зі зміною форми перерізу відповідно до (8), на основі $\sigma_{cr,st}$
 Ітерація n	**Етап 3: Уточнення ефективного поперечного перерізу проміжного елемента жорсткості (не обов'язково);** Опціонально, за умови, що $\chi_d < 1$, повторення етапу 1, із повторним обчисленням ефективної ширини проміжного елемента жорсткості ($b_{1,e2}$, $b_{2,e1}$) з урахуванням зменшеного стискального напруження $\sigma_{com,Ed,n,red}$ відповідно до (9), з використанням χ_d із попередньої ітерації і продовженням до $\chi_{d,n} \approx \chi_{d,(n-1)}$, але $\chi_{d,n} \leq \chi_{d,(n-1)}$.
	**Крок 4: Уточнення ефективного поперечного перерізу проміжного елемента жорсткості;** Обчислення приведеної товщини t_{red} проміжного елемента жорсткості (b_{1e2}, b_{2e1}) на основі $\chi_{d,n}$ відповідно до (10)
a Якщо розрахунок місцевої втрати стійкості зі зміною форми перерізу відповідно до пунктів 7.6.2 і 7.6.3.2 заснований на стискальному напруженні $\sigma_{com,Ed}$, то f_{yb} рекомендовано замінити на $\sigma_{com,Ed}$.	

7.6.4 *Спеціальні положення для трапецієподібних профільованих листів*

7.6.4.1 *Загальні положення*

(1) Положення 7.6.4 рекомендовано застосовувати до трапецієподібного профільованого листа разом з загальною методикою 7.6.3.4 для полиць з проміжними елементами жорсткості.

(2) Взаємний вплив втрати стійкості проміжних елементів жорсткості полиць та стінок рекомендовано враховувати за методикою 7.6.4.4.

Полиці з проміжними елементами жорсткості

(1) Для полиці з проміжним елементом жорсткості, під дією рівномірного стиску, ефективний поперечний переріз рекомендовано приймати складеним із двох прилеглих до елементу жорсткості смуг, шириною $0{,}5b_{\mathrm{eff}}$ (для обчислення A_{st}) або $20t$ (для обчислення I_{st}), див. таблицю 7.9.

Якщо складові плоскі елементи великого *U*-подібного елемента жорсткості не працюють в повній мірі, то елемент жорсткості рекомендовано вважати єдиним елементом жорсткості з приведеною шириною відповідно до таблиці 7.9.

Примітка. Ширина елемента жорсткості, застосована для обчислення моменту інерції I_{st} відповідно до таблиці 7.9, може бути більшою за ширину полиці.

(2) Для одного центрального елемента жорсткості полиці критичне напруження при втраті стійкості $\sigma_{\mathrm{cr,st}}$ рекомендовано обчислювати за формулою (7.37):

$$\sigma_{\mathrm{cr,st}} = \frac{4{,}2\ k_{\theta \mathrm{w}} E}{A_{\mathrm{st}}} \sqrt{\frac{I_{\mathrm{st}}\ t^3}{4b_{\mathrm{p}}^2\left(2b_{\mathrm{p}} + 3b_{\mathrm{st,d}}\right)}}, \qquad (7.37)$$

де

b_{p} — умовна плоска ширина плоского елемента, як показано в таблиці 7.9;

$b_{\mathrm{st,d}}$ — спрямлена ширина елемента жорсткості, виміряна вздовж серединної лінії елемента жорсткості, див. таблицю 7.9;

A_{st}, I_{st} — площа поперечного перерізу та момент інерції ефективного поперечного перерізу елемента жорсткості відповідно до таблиці 7.9;

$k_{\theta \mathrm{w}}$ — коефіцієнт, що враховує часткове обмеження повороту підкріпленої полиці стінками або іншими прилеглими елементами, див. (5) і (6). Для розрахунку ефективного поперечного перерізу при осьовому стисненні: $k_{\theta \mathrm{w}} = 1{,}0$.

Формулу (7.37) дозволено використовувати для широкої гофри за умови, що плоска частина елемента жорсткості зменшена через втрату стійкості пластини, а b_{p} у формулі (7.37) замінено на більше значення із b_{p} і $0{,}25(3b_{\mathrm{p}}+b_{\mathrm{st}})$, див. таблицю 7.9. Аналогічний метод дозволено використати для полиць з двома або більше широкими гофрами.

(3) Для двох симетрично розташованих крайових елементів жорсткості полиці, критичне пружне напруження при втраті стійкості $\sigma_{\mathrm{cr,st}}$ рекомендовано обчислювати за формулою (7.38):

$$\sigma_{\mathrm{cr,st}} = \frac{4{,}2\ k_{\theta \mathrm{w}} E}{A_{\mathrm{st}}} \sqrt{\frac{I_{\mathrm{st}}\, t^3}{8 b_{\mathrm{tot,2}}^2 \left(3b_{\mathrm{tot,1}} - 4b_{\mathrm{tot,2}}\right)}} \qquad (7.38)$$

з

$$b_{\mathrm{tot,1}} = 2b_{\mathrm{p,1}} + b_{\mathrm{p,2}} + 2b_{\mathrm{st,d}} \qquad (7.39)$$

$$b_{\mathrm{tot,2}} = b_{\mathrm{p,1}} + 0{,}5\ b_{\mathrm{st}}\ , \qquad (7.40)$$

де

$b_{\mathrm{p,1}}$ — умовна плоска ширина зовнішнього плоского елемента, як показано в таблиці 7.9;

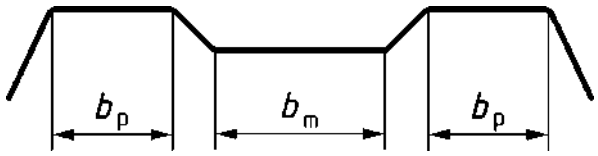
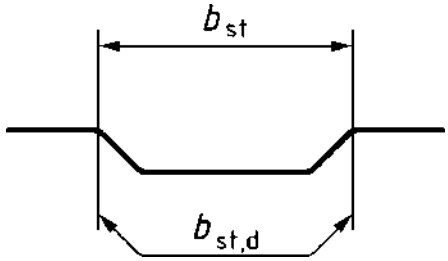
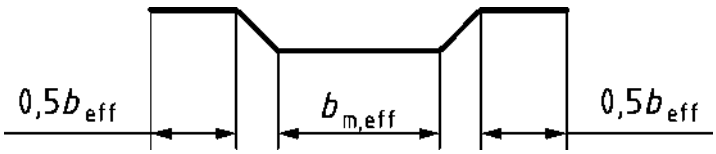
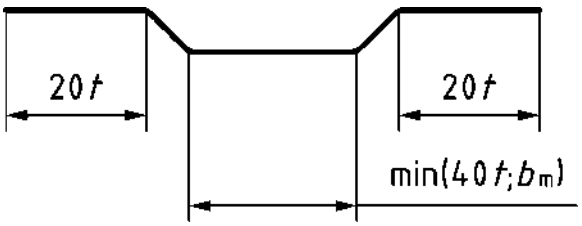
$b_{\mathrm{p,2}}$— умовна плоска ширина центрального плоского елемента, як показано в таблиці 7.9;

b_{st} — загальна ширина елемента жорсткості, виміряна паралельно серединній лінії стиснутої полиці, див. таблицю 7.9;

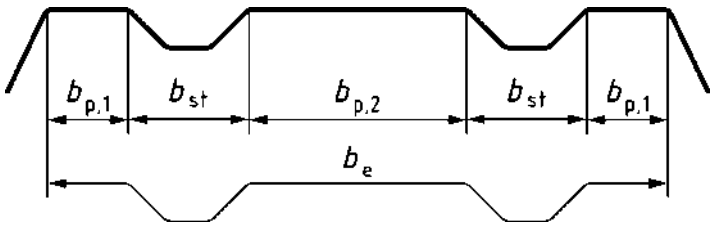
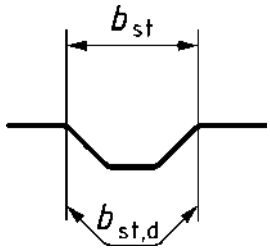
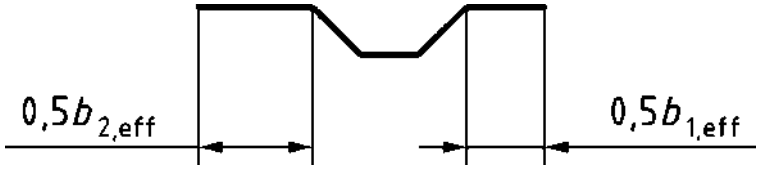
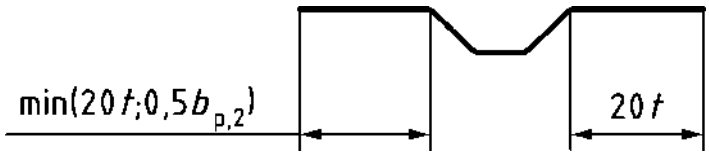
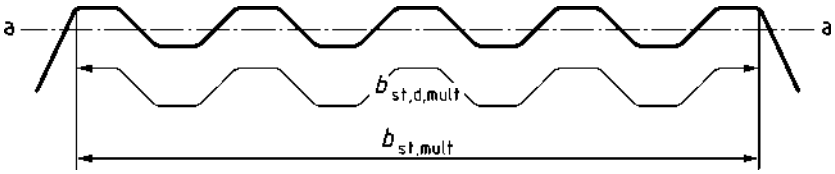
$b_{st,d}$ — спрямлена ширина елемента жорсткості, виміряна вздовж серединної лінії елемента жорсткості, див. таблицю 7.9;

A_{st}, I_{st} — площа поперечного перерізу та момент інерції ефективного поперечного перерізу елемента жорсткості відповідно до таблиці 7.9.

Таблиця 7.9 — Стиснута полиця з одним, двома або декількома елементами жорсткості

Стиснута полиця з одним або двома елементами жорсткості	
	один елемент жорсткості
(a) Геометричні характеристики	
(b) Ширина елемента жорсткості b_{st}	
(c) Поперечний переріз для обчислення ефективної площі A_{st}	
(d) Поперечний переріз для обчислення ефективного моменту інерції I_{st}	

Кінець таблиці 7.9

	два елемента жорсткості
(a) Геометричні характеристики	
(b) Ширина елемента жорсткості b_{st}	
(c) Поперечний переріз для обчислення ефективної площі A_{st}	
(d) Поперечний переріз для обчислення - ефективного моменту інерції I_{st}	
Стиснута полиця з декількома елементами жорсткості	
(a) Геометричні характеристики та вісь центру ваги a-a (b) спрямлена ширина полиці $b_{st,d,mult}$	

(4) Для полиці з трьома або більше однаковими елементами жорсткості, корисну площа всієї полиці рекомендовано обчислювати за формулою (7.41):

$$A_{\mathrm{eff}} = \rho\, b_{\mathrm{st,d,mult}}\, t\,, \qquad (7.41)$$

де

ρ — понижувальний коефіцієнт для місцевої втрати стійкості відповідно до EN 1993-1-5:2024, 6.4.1 (1)—(5), з використанням відносної гнучкості, $\overline{\lambda}_{\mathrm{p}}$ заснованої на пружному напруженні втрати стійкості $\sigma_{\mathrm{cr,st}}$.

з

$$\sigma_{\mathrm{cr,st}} = 1{,}8\,E\,\sqrt{\frac{I_{\mathrm{st}}\,t}{b_{\mathrm{st,mult}}^{2}\,b_{\mathrm{st,d,mult}}^{3}}} + 3{,}6\,\frac{E\,t^{2}}{b_{\mathrm{st,mult}}^{2}}, \qquad (7.42)$$

де

I_{st} — сума моментів інерції елементів жорсткості навколо осі a-a, що проходить через центр ваги ефективного поперечного перерізу елементів жорсткості, за виключенням впливу пластинчастих елементів, паралельних осі a-a, на їх власну вісь, що проходить через центр ваги, див. таблицю 7.9;

$b_{\mathrm{st,mult}}$ — загальна ширина стиснутої полиці з кількома елементами жорсткості, виміряна паралельно серединній лінії стиснутої полиці, див. таблицю 7.9;

$b_{\mathrm{st,d,mult}}$ — спрямлена ширина стиснутої полиці з кількома елементами жорсткості, виміряна вздовж серединної лінії елементів жорсткості, див. таблицю 7.9.

(5) Значення $k_{\theta \mathrm{w}}$ дозволено обчислювати на основі напівхвилі вигину $l_{\mathrm{cr,f}}$ стиснутої полиці за формулами (7.43) і (7.44):

$$k_{\theta \mathrm{w}} = k_{\theta \mathrm{wo}} \qquad \text{якщо } l_{\mathrm{cr,f}}/s_{\mathrm{w}} \geq 2 \qquad (7.43)$$

$$k_{\theta \mathrm{w}} = k_{\theta \mathrm{wo}} - (k_{\theta \mathrm{wo}} - 1)\left[\frac{2\,l_{\mathrm{cr,f}}}{s_{\mathrm{w}}} - \left(\frac{l_{\mathrm{cr,f}}}{s_{\mathrm{w}}}\right)^{2}\right] \qquad \text{якщо } l_{\mathrm{cr,f}}/s_{\mathrm{w}} < 2 \qquad (7.44)$$

де

s_{w} — висота бічної грані стінки, див. таблицю 7.3(c);

$l_{\mathrm{cr,f}}$ — напівхвиля вигину стиснутої полиці відповідно до (7);

$k_{\theta \mathrm{w}}$, $k_{\theta \mathrm{w0}}$ — коефіцієнти, що враховують місцеву втрату стійкості стінок трапецієподібного профільованого листа, див. (7).

(6) Як альтернативу, коефіцієнт обмеження повороту $k_{\theta \mathrm{w}}$ дозволено консервативно прийняти рівним 1,0, що відповідає умові шарнірних з'єднань.

(7) Значення $l_{\mathrm{cr,f}}$ та $k_{\theta \mathrm{w0}}$ дозволено визначати наступним чином:

а) опис стиснутої полиці з одним проміжним елементом жорсткості

наведено в таблиці 7.9:

$$l_{\mathrm{cr,f}} = 3{,}07 \sqrt[4]{\frac{I_{\mathrm{st}}\, b_{\mathrm{p}}^2 \left(2b_{\mathrm{p}} + 3b_{\mathrm{st,d}}\right)}{t^3}} \tag{7.45}$$

$$k_{\theta \mathrm{wo}} = \sqrt{\frac{s_{\mathrm{w}} + 2b_{\mathrm{tot,3}}}{s_{\mathrm{w}} + 0{,}5b_{\mathrm{tot,3}}}} \tag{7.46}$$

з

$$b_{\mathrm{tot,3}} = 2b_{\mathrm{p}} + b_{\mathrm{st,d}} \tag{7.47}$$

b) опис стиснутої полиці з двома проміжними елементом жорсткості наведено в таблиці 7.9:

$$l_{\mathrm{cr,f}} = 3{,}65 \sqrt[4]{\frac{I_{\mathrm{st}}\, b_{\mathrm{tot,2}}^2 \left(3b_{\mathrm{tot,1}} - 4b_{\mathrm{tot,2}}\right)}{t^3}} \tag{7.48}$$

$$k_{\theta \mathrm{wo}} = \sqrt{\frac{\left(2b_{\mathrm{tot,1}} + s_{\mathrm{w}}\right)\left(3b_{\mathrm{tot,1}} - 4b_{\mathrm{tot,2}}\right)}{b_{\mathrm{tot,2}}\left(4b_{\mathrm{tot,1}} - 6b_{\mathrm{tot,2}}\right) + s_{\mathrm{w}}\left(3b_{\mathrm{tot,1}} - 4b_{\mathrm{tot,2}}\right)}}, \tag{7.49}$$

де

$b_{\mathrm{tot,1}}$, $b_{\mathrm{tot,2}}$ — ділянки ширини відповідно до (3).

(9) Якщо стінки не підкріплені елементами жорсткості, значення понижувального коефіцієнта χ_{d} рекомендовано визначати за методикою 7.6.3.2, використовуючи $\sigma_{\mathrm{cr,st}}$.

(9) Якщо стінки підкріплені проміжними елементи жорсткості, понижувальний коефіцієнт зменшення χ_{d} рекомендовано обчислювати за методикою 7.6.3.2, але з використанням модифікованого пружного критичного напруження при втраті стійкості $\sigma_{\mathrm{cr,mod}}$, наведеного в 7.6.4.4.

(10) Відповідно до загальних розрахункових положень 7.6.3.4 щодо взаємодії плоских елементів з проміжними елементами жорсткості під час місцевої втрати стійкості зі зміною форми перерізу, проєктування полиць з одним або двома проміжними елементами жорсткості призводить до зменшення товщини t_{red} всіх частин проміжних елементів жорсткості (див. таблицю 7.9 c) відповідно до формули (7.50):

$$t_{\mathrm{red}} = \chi_{\mathrm{d}} \cdot t \qquad (7.50)$$

(11) Характеристики поперечного перерізу елементів жорсткості в граничних станах експлуатаційної придатності рекомендовано розраховувати на основі розрахункової товщини t.

7.6.4.3 *Стінки з двома і менше елементами жорсткості*

(1) Ефективний поперечний переріз стиснутої зони стінки (або іншої частини поперечного перерізу під дією лінійно-змінного напруження) з двома і менше проміжними елементами жорсткості рекомендовано вважати складеним із приведених ефективних площ $A_{\mathrm{st,red}}$ проміжних елементів жорсткості, смуги, що прилягає до стиснутої полиці і смуги, що прилягає до осі центру ваги ефективного поперечного перерізу, як показано на рисунку 7.10.

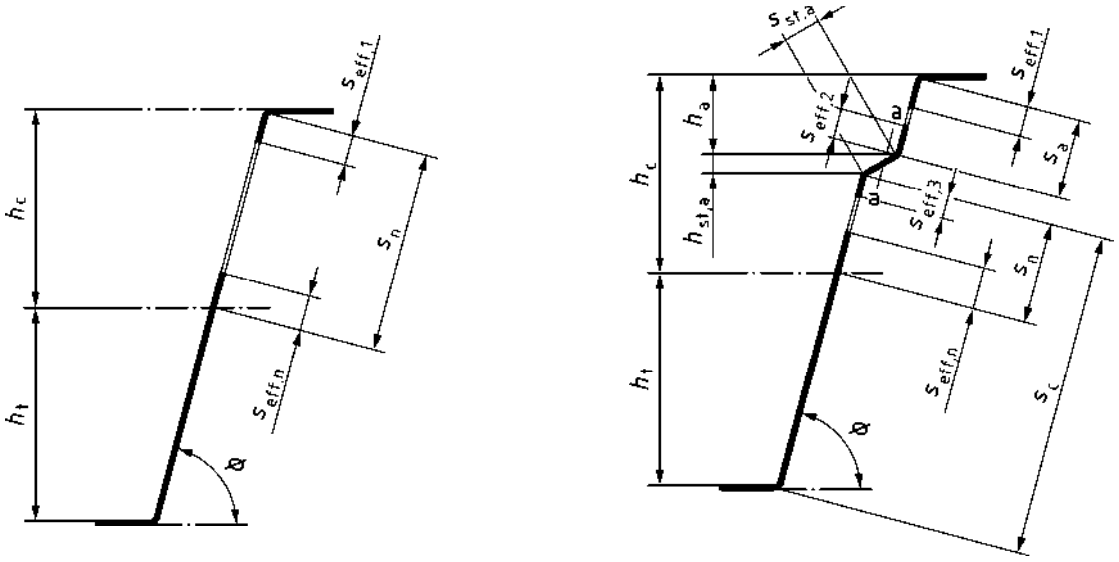
(2) Ефективний поперечний переріз стінки, який показано на рис. 7.10, рекомендовано складати з:

a) смуги шириною $s_{\mathrm{eff,1}}$, що прилягає до стиснутої полиці;

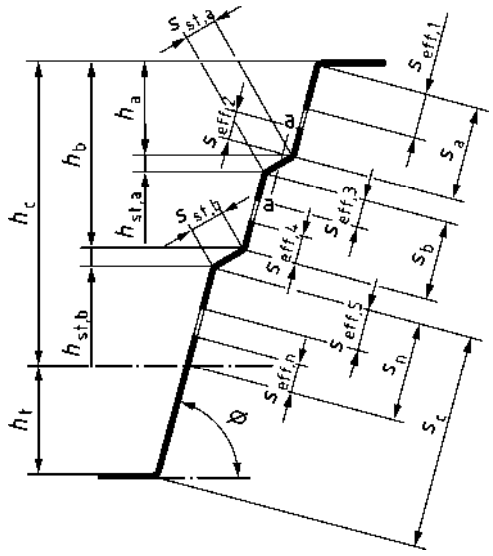
b) приведеної ефективної площі $A_{\mathrm{st,red}}$ кожного елемента жорсткості стінки, числом не більше двох;

c) смуги шириною $s_{\mathrm{eff,n}}$, що прилягає до осі центру ваги ефективного перерізу;

d) розтягнутої частини стінки.



(a) без елемента жорсткості (b) один елемент жорсткості



(c) два елемента жорсткості

Рисунок7.10 — Ефективні поперечні перерізи стінок трапецієподібного профільованого листа

(3) Ефективні площі елементів жорсткості стінки рекомендовано обчислювати за формулами (7.51) і (7.52):

a) для одинарного елемента жорсткості або для елемента жорсткості, розташованого ближче до стиснутої полиці:

$$A_{\mathrm{st,a}} = t\left(s_{\mathrm{eff},2} + s_{\mathrm{eff},3} + s_{\mathrm{st,a}}\right) \tag{7.51}$$

b) для другого елемента жорсткості:

$$A_{\mathrm{st,b}} = t\left(s_{\mathrm{eff},4} + s_{\mathrm{eff},5} + s_{\mathrm{st,b}}\right), \tag{7.52}$$

де

$s_{\mathrm{eff},1}$ до $s_{\mathrm{eff,n}}$, $s_{\mathrm{st,a}}$ та $s_{\mathrm{st,b}}$ — розміри, наведені на рисунку 7.10.

(4) Початкове положення ефективної осі центру ваги рекомендовано визначати, враховуючи ефективні поперечні перерізи полиць і поперечний переріз стінок брутто. Основну ефективну ширину $s_{\mathrm{eff},0}$ рекомендовано обчислювати за формулою (7.53):

$$s_{\mathrm{eff},0} = 0{,}76\, t \sqrt{\frac{E}{f_{\mathrm{yb}}\,\overline{\gamma}_{\mathrm{M0}}}}, \tag{7.53}$$

Де

f_{yb}, E — властивості сталі, див. 5.1.

(5) Якщо стінка не повністю ефективна, розміри від $s_{\mathrm{eff},1}$ до $s_{\mathrm{eff,n}}$ рекомендовано визначати за формулами (7.54)—(7.59) наступним чином:

$$s_{\mathrm{eff},1} = s_{\mathrm{eff},0} \tag{7.54}$$

$$s_{\mathrm{eff},2} = s_{\mathrm{eff},0}\left(1 + 0{,}5\,\frac{h_{\mathrm{a}}}{h_{\mathrm{c}}}\right) \tag{7.55}$$

$$s_{\mathrm{eff},3} = s_{\mathrm{eff},0}\left(1 + 0{,}5\,\frac{\left(h_{\mathrm{a}} + h_{\mathrm{st,a}}\right)}{h_{\mathrm{c}}}\right) \tag{7.56}$$

$$s_{\mathrm{eff},4} = s_{\mathrm{eff},0}\left(1 + 0{,}5\,\frac{h_{\mathrm{b}}}{h_{\mathrm{c}}}\right) \tag{7.57}$$

$$s_{\mathrm{eff},5} = s_{\mathrm{eff},0}\left(1 + 0{,}5\,\frac{\left(h_{\mathrm{b}} + h_{\mathrm{st,b}}\right)}{h_{\mathrm{c}}}\right) \tag{7.58}$$

$$s_{\mathrm{eff,n}} = 1{,}5\,s_{\mathrm{eff},0}\,, \tag{7.59}$$

де

h_{c} — відстань від нейтральної осі ефективного поперечного перерізу трапецієподібного профільованого листа до серединної лінії стиснутого фланця, див. рисунок 7.10;

h_{a}, h_{b}, $h_{\mathrm{st,a}}$ та $h_{\mathrm{st,b}}$ — розміри, наведені на рисунку 7.10;

(6) Розміри від $s_{\mathrm{eff},1}$ до $s_{\mathrm{eff,n}}$ спочатку рекомендовано визначати згідно з (5) і, якщо відповідний розгляданий плоский елемент є повністю ефективним, корегуються за формулами (7.60) — (7.69):

a) якщо у непідкріпленій стінці $s_{\mathrm{eff},1} + s_{\mathrm{eff,n}} \geq s_{\mathrm{n}}$, то уся стінка є ефективною, і корегування відбувається наступним чином:

$$s_{\mathrm{eff},1} = 0{,}4\,s_{\mathrm{n}} \tag{7.60}$$

$$s_{\mathrm{eff,n}} = 0{,}6\,s_{\mathrm{n}} \tag{7.61}$$

b) якщо у підкріпленій стінці $s_{\mathrm{eff},1} + s_{\mathrm{eff},2} \geq s_{\mathrm{a}}$, то повна ширина s_{a} є ефективною, і корегування відбувається наступним чином:

$$s_{\mathrm{eff},1} = s_{\mathrm{a}}\,\frac{1}{\left(2 + 0{,}5\,\frac{h_{\mathrm{a}}}{h_{\mathrm{c}}}\right)} \tag{7.62}$$

$$s_{\mathrm{eff},2} = s_{\mathrm{a}} \frac{\left(1 + 0{,}5\frac{h_{\mathrm{a}}}{h_{\mathrm{c}}}\right)}{\left(2 + 0{,}5\ \frac{h_{\mathrm{a}}}{h_{\mathrm{c}}}\right)} \tag{7.63}$$

c) якщо у стінці з одним елементом жорсткості $s_{\mathrm{eff},3} + s_{\mathrm{eff,n}} \geq s_{\mathrm{n}}$ то повна ширина s_{n} є ефективною, і корегування відбувається наступним чином:

$$s_{\mathrm{eff},3} = s_{\mathrm{n}} \frac{\left(1 + 0{,}5\ \frac{(h_{\mathrm{a}} + h_{\mathrm{st,a}})}{h_{\mathrm{c}}}\right)}{\left(2{,}5 + 0{,}5\ \frac{(h_{\mathrm{a}} + h_{\mathrm{st,a}})}{h_{\mathrm{c}}}\right)} \tag{7.64}$$

$$s_{\mathrm{eff,n}} = s_{\mathrm{n}} \frac{1{,}5}{\left(2{,}5 + 0{,}5\ \frac{(h_{\mathrm{a}} + h_{\mathrm{st,a}})}{h_{\mathrm{c}}}\right)} \tag{7.65}$$

d) якщо у стінці з двома елементами жорсткості $s_{\mathrm{eff},3} + s_{\mathrm{eff},4} \geq s_{\mathrm{b}}$ то повна ширина s_{b} є ефективною, і корегування відбувається наступним чином:

$$s_{\mathrm{eff},3} = s_{\mathrm{b}} \frac{\left(1 + 0{,}5\ \frac{(h_{\mathrm{a}} + h_{\mathrm{st,a}})}{h_{\mathrm{c}}}\right)}{\left(2 + 0{,}5\ \frac{(h_{\mathrm{a}} + h_{\mathrm{st,a}} + h_{\mathrm{b}})}{h_{\mathrm{c}}}\right)} \tag{7.66}$$

$$s_{\mathrm{eff},4} = s_{\mathrm{b}} \frac{\left(1 + 0{,}5\ \frac{h_{\mathrm{b}}}{h_{\mathrm{c}}}\right)}{\left(2 + 0{,}5\ \frac{(h_{\mathrm{a}} + h_{\mathrm{st,a}} + h_{\mathrm{b}})}{h_{\mathrm{c}}}\right)} \tag{7.67}$$

якщо $s_{\mathrm{eff},5} + s_{\mathrm{eff,n}} \geq s_{\mathrm{n}}$ то повна ширина s_{n} є ефективною, і корегування відбувається наступним чином:

$$s_{\mathrm{eff},5} = s_{\mathrm{n}} \frac{\left(1 + 0{,}5\ \frac{(h_{\mathrm{b}} + h_{\mathrm{st,b}})}{h_{\mathrm{c}}}\right)}{\left(2{,}5 + 0{,}5\ \frac{(h_{\mathrm{b}} + h_{\mathrm{st,b}})}{h_{\mathrm{c}}}\right)} \tag{7.68}$$

$$s_{\mathrm{eff,n}} = s_{\mathrm{n}} \frac{1{,}5}{\left(2{,}5 + \frac{0{,}5\ (h_{\mathrm{b}} + h_{\mathrm{st,b}})}{h_{\mathrm{c}}}\right)} \tag{7.69}$$

(7) Для одинарного елемента жорсткості, а в стінці з двома елементами жорсткості, для елемента жорсткості, ближчого до стиснутої полиці, критичне пружне напруження втрати стійкості $\sigma_{\mathrm{cr,st,a}}$ рекомендовано

визначати за формулою (7.70):

$$\sigma_{\mathrm{cr,st,a}} = \frac{1{,}05\ k_{\theta\mathrm{f}}\, E}{A_{\mathrm{st,a}}\ s_{\mathrm{tot},2}\left(s_{\mathrm{tot},1} - s_{\mathrm{tot},2}\right)} \sqrt{I_{\mathrm{st,a}}\ t^3\ s_{\mathrm{tot},1}}\,, \qquad (7.70)$$

де $s_{\mathrm{tot},1}$ задано наступним чином:

для одинарного елемента жорсткості:

$$\mathbf{s}_{\mathrm{tot},1} = 0{,}9\left(s_{\mathrm{a}} + s_{\mathrm{st,a}} + s_{\mathrm{c}}\right) \qquad (7.71)$$

для елемента жорсткості, ближчого до стиснутої полиці у стінці з двома елементами жорсткості:

$$s_{\mathrm{tot},1} = s_{\mathrm{a}} + s_{\mathrm{st,a}} + s_{\mathrm{b}} + 0{,}5\left(s_{\mathrm{st,b}} + s_{\mathrm{c}}\right) \qquad (7.72)$$

$$s_{\mathrm{tot},2} = s_{\mathrm{tot},1} - s_{\mathrm{a}} - 0{,}5\ s_{\mathrm{st,a}} \qquad (7.73)$$

і де

$k_{\theta\mathrm{f}}$ — коефіцієнт, для врахування часткового обмеження повороту стінки полицями; див. (8);

$I_{\mathrm{st,a}}$ — момент інерції ефективного поперечного перерізу, складеного з ширини згину $s_{\mathrm{st,a}}$ і двох прилеглих смуг, кожна шириною $20t$, навколо його осі центру ваги, паралельної плоским елементам стінки, див. таблицю 7.10. Для обчислення $I_{\mathrm{st,a}}$ можливу відмінність нахилів плоских елементів стінки по обидва боки від елемента жорсткості, дозволено не враховувати;

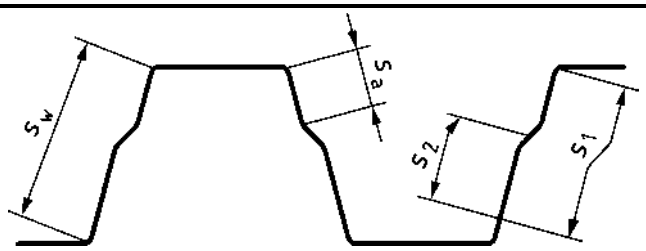
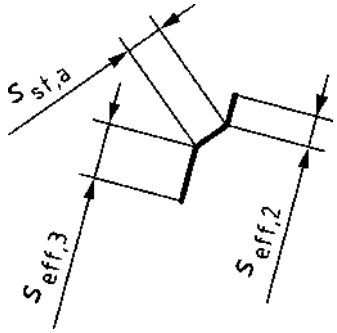
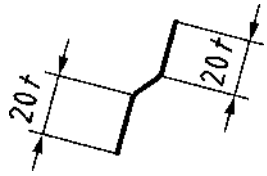
s_{c} — як наведено на рисунку 7.10;

$A_{\mathrm{st,a}}$ — визначено у (3).

Примітка. Ширину елемента жорсткості, для обчислення моменту інерції $I_{\mathrm{st,a}}$ відповідно до таблиці 7.10, дозволено приймати більше висоти стінки.

(8) У разі відсутності детальнішого дослідження коефіцієнт обмеження повороту $k_{\theta\mathrm{f}}$ дозволено приймати рівним 1,0, як для шарнірного з’єднання.

Таблиця 7.10 — Елементи жорсткості стінки трапецієподібного профільованого листа

(a) Геометричні характеристики	
(b) Поперечний переріз для обчислення ефективної площі $A_{\mathrm{st,a}}$	
(c) Поперечний переріз для обчислення ефективного моменту інерції $I_{\mathrm{st,a}}$	

(9) Якщо полиці не підкріплені елементами жорсткості, значення понижувального коефіцієнта χ_{d} рекомендовано визначати за методикою 7.6.3.2, використовуючи $\sigma_{\mathrm{cr,st}}$.

(10) Якщо полиці також підкріплені, понижувальний коефіцієнт зменшення χ_{d} рекомендовано обчислювати за методикою 7.6.3.2, але з використанням модифікованого пружного критичного напруження при втраті стійкості $\sigma_{\mathrm{cr,mod}}$, наведеного в 7.6.4.4.

(11) Для стиснутого одинарного елемента жорсткості стінки або для елемента жорсткості стінки, розташованого ближче до стиснутої полиці в стінках з двома елементами жорсткості, приведену ефективну площу $A_{\mathrm{st,a,red}}$ рекомендовано визначати за формулою (7.74):

$$A_{\mathrm{st,a,red}} = \frac{\chi_{\mathrm{d}}\, A_{\mathrm{st,a}}}{1 - \left(h_{\mathrm{a}} + 0{,}5\, h_{\mathrm{st,a}}\right)/h_{\mathrm{c}}}, \qquad \text{але } A_{\mathrm{st,a,red}} \le A_{\mathrm{st,a}} \qquad (7.74)$$

(12) для одинарного розтягнутого елемента жорсткості приведену ефективну площу $A_{\mathrm{st,a,red}}$ рекомендовано приймати рівною $A_{\mathrm{st,a}}$.

(13) Для стінок із двома елементами $A_{\mathrm{st,a,red}}$ жорсткості, приведену ефективну площу $A_{\mathrm{st,b,red}}$ другого елемента жорсткості рекомендовано приймати рівною $A_{\mathrm{st,b}}$.

(14) Під час визначення геометричних характеристик ефективного перерізу, приведену ефективну площу $A_{st,a,red}$ рекомендовано визначати за приведеною товщиною $t_{red} = \chi_d t$ для всіх елементів, що складають $A_{st,a}$.

(15) Характеристики ефективного перерізу елементів жорсткості в граничних станах експлуатаційної придатності рекомендовано розраховувати на основі розрахункової товщини t.

Опціонально, характеристики ефективного перерізу стінки трапецієподібного профільованого листа в граничних станах експлуатаційної придатності дозволено ітераційно корегувати, виходячи зі встановленого попередньою ітерацією положення осі центру ваги ефективного поперечного перерізу стінок і ефективних поперечних перерізів полиць визначених з урахуванням приведеної товщини t_{red} для всіх елементів, що складають площі елементів жорсткості полиць A_{st}. Ітерацію рекомендовано проводити на основі збільшеної ефективної ширини $s_{eff,0}$, визначеної за формулою (7.75):

$$s_{eff,0} = 0{,}95\, t \sqrt{\frac{E}{\sigma_{com,Ed,ser} \cdot \gamma_{M0}}}, \qquad (7.75)$$

Де

$\sigma_{com,Ed,ser}$ — стискальне напруження в центрі ваги елемента жорсткості, обчислене на основі ефективного поперечного перерізу під дією навантаження до граничного стану експлуатаційної придатності; Як спрощення дозволено застосовувати припущення $\sigma_{com,Ed,ser} = f_{yb}/1{,}5$.

7.6.4.4 Профільовані листи з елементами жорсткості на полицях і стінках

(1) Для профільованих листів з проміжними елементами жорсткості на полицях і стінках, див. рисунок 7.11, взаємодію між втратою стійкості зі зміною форми перерізу елементів жорсткості полиць і стінок рекомендовано враховувати використанням модифікованого критичного

пружного напруження втрати стійкості $\sigma_{\mathrm{cr,mod}}$ для обох типів елементів жорсткості, визначеного за формулою (7.76):

$$\sigma_{\mathrm{cr,mod}} = \frac{\sigma_{\mathrm{cr,st}}}{\sqrt[4]{1 + \left(k_{\mathrm{ls}} \frac{\sigma_{\mathrm{cr,st}}}{\sigma_{\mathrm{cr,st,a}}}\right)^4}}, \tag{7.76}$$

де

$\sigma_{\mathrm{cr,st}}$ — критичне пружне напруження втрати стійкості для проміжного елемента жорсткості для полиці з одинарним елементом згідно з 7.6.4.2(2) і для полиці з двома елементами жорсткості згідно з 7.6.4.2(3);

$\sigma_{\mathrm{cr,st,a}}$ — критичне пружне напруження при втраті стійкості одинарного елемента жорсткості стінки, або елемента жорсткості, розташованого ближче до стиснутої полиці у стінках з двома елементами жорсткості, див. 7.6.4.3(7);

A_{st} — площа ефективного поперечного перерізу проміжного елемента жорсткості полиці;

$A_{\mathrm{st,a}}$ — площа ефективного поперечного перерізу проміжного елемента жорсткості полиці, див 7.6.4.3(3);

k_{ls} — коефіцієнт, що враховує тип навантаження на трапецієподібний профільований лист наступним чином:

$k_{\mathrm{ls}} = 1 - (h_{\mathrm{a}} + 0{,}5\ h_{\mathrm{st,a}})/h_{\mathrm{c}}$ — для профільованого листа під дією згину;

$k_{\mathrm{ls}} = 1$ — для профільованого листа під дією осьового стиску; (7.77)

де:

h_{a}, $h_{\mathrm{st,a}}$ і h_{c} — розміри, наведені на рисунку 7.10.

(2) Характеристики ефективного поперечного перерізу елементів жорсткості в граничних станах експлуатаційної придатності рекомендовано розраховувати на основі розрахункової товщини *t*.

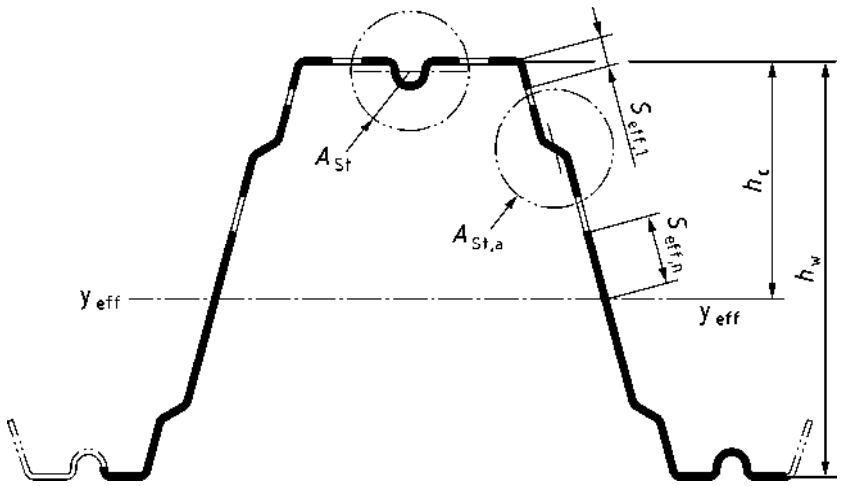


Рисунок 7.11 — Трапецієподібний профільований лист з елементами жорсткості на стінках і полицях

7.6.5 Спеціальні положення для синусоїдальних і подібних профільованих листів

(1) Для синусоїдального та подібних профільованих листів потрібно враховувати втрату стійкості оболонки відповідно до EN 1993-1-6. Перевірку дозволено виконувати для еквівалентного поперечного перерізу круглого циліндра під дією згину, вписаного в гофру. Рекомендовано приймати допустимий клас якості С.

(2) Під дією розподілених навантажень втрату стійкості оболонки можна не враховувати, і якщо виконано умову, зазначену у формулі (7.78) або (7.80), дозволено використовувати опір згинальному моменту поперечного перерізу брутто:

Для опору пружному згинальному моменту з початковою податливістю волокон під дією екстремального стиску:

$$\frac{2 \cdot R}{t} \leq 90 \cdot \varepsilon_{\mathrm{b}}^2 \qquad (7.78)$$

з

$$\varepsilon_{\mathrm{b}} = \sqrt{\frac{235}{f_{\mathrm{yb}}}} \qquad (7.79)$$

для опору пластичному згинального моменту:

$$\frac{2 \cdot R}{t} \leq 70 \cdot \varepsilon_{\mathrm{a}}^2 \qquad (7.80)$$

з

$$\varepsilon_{\mathrm{a}} = \sqrt{\frac{235}{f_{\mathrm{ya}}}} \qquad (7.81)$$

де

R та t — розміри, наведені на рисунку 7.12.

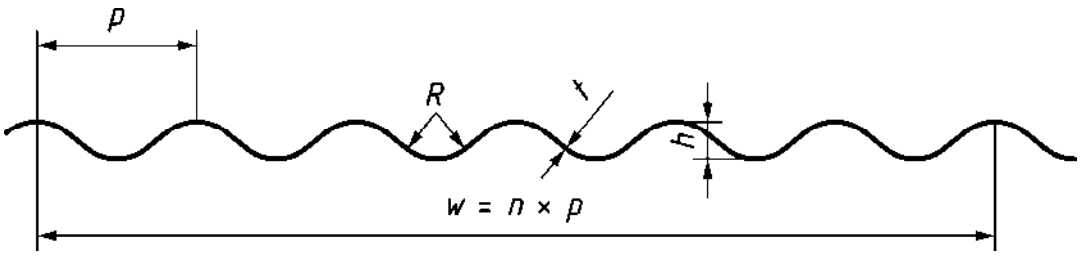


Рисунок 7.12 — Синусоїдальний та подібні профільовані листи

(3) Для профільованого листа, що піддається розподіленому навантаженню, з поперечними перерізами, в яких напруження при екстремальному стисненні волокна, за умови розподілу пружних напружень, може досягати границі текучості, для розрахунку моменту інерції і модуля пружності перетину можуть бути використані спрощені формули (7.82) і (7.83):

$$I_{\mathrm{y}} = 0{,}13\ t\ h^2 \qquad (7.82)$$

$$W_{\mathrm{y}} = 0{,}26\ t\ h \qquad (7.83)$$

— за умови, що поперечний переріз задовольняє наступним критеріям:

$t \geq 0{,}55$ мм

18 мм $\leq h \leq 46$ мм

76 мм $\leq p \leq 150$ мм

7.7 Розрахунок поперечного перерізу. Місцева втрата стійкості між кріпильними виробами

(1) Місцеву втрату стійкості між кріпильними виробами рекомендовано перевіряти на елементах, складених із пластин та

механічних кріпильних виробів, див. таблицю 5.3 стандарту EN 1993-1-8:2024.

8 ГРАНИЧНІ СТАНИ ЗА НЕСНОЮ ЗДАТНІСТЮ

8.1 Опір поперечних перерізів

8.1.1 *Загальні положення*

(1) Опори поперечного перерізу рекомендовано визначати відповідно до 8.1. Вплив місцевої втрати стійкості та втрати стійкості зі зміною форми перерізу рекомендовано враховувати, використовуючи характеристики перерізу ефективного поперечного перерізу, визначені відповідно до 7.6.

(2) Загальний опір елементів втраті стійкості рекомендовано перевіряти відповідно до 8.2.

Для елементів, схильних до втрати стійкості зі зміною форми поперечного перерізу, рекомендовано враховувати можливий поперечний згин полиць та стійкість вільних стиснутих полиць, див. 11.1.

(4) Для визначення опору поперечного перерізу або опору втраті стійкості для заданого типу навантаження замість проєктування за результатами розрахунку дозволено використовувати проєктування за результатами випробувань.

Примітка. Проєктування за результатами випробувань, особливо корисне для поперечних перерізів, складених з пластинчастих елементів із відносно високою гнучкістю, наприклад, коли необхідно визначити вплив непружної роботи, деформацію стінки або запізнення зсуву.

8.1.2 *Осьовий розтяг*

(1) Потрібно щоб розрахункове значення зусилля розтягу N_{Ed} у кожному поперечному перерізі задовольняло критеріям, зазначеним у формулі (8.1):

$$\frac{N_{\mathrm{Ed}}}{N_{\mathrm{t,Rd}}} \leq 1\,, \qquad (8.1)$$

де

$N_{\mathrm{t,Rd}}$ — розрахункове значення опору розтягу відповідно до (2).

(2) Розрахункове значення опору поперечного перерізу рівномірному розтягу $N_{\mathrm{t,Rd}}$ рекомендовано розраховувати за формулою (8.2):

$$N_{\mathrm{t,Rd}} = \frac{A\, f_{\mathrm{ya}}}{\gamma_{\mathrm{M0}}}\,, \qquad \text{але } N_{\mathrm{t,Rd}} \leq F_{\mathrm{n,Rd}}\,, \quad (8.2)$$

де

A — площа перерізу брутто;

$F_{\mathrm{n,Rd}}$ — опір поперечного перерізу нетто, визначений відповідно до 10.3 для відповідного типу механічних кріпильних виробів;

f_{ya} — середня границя текучості, див. 5.2.2.

(3) Розрахункове значення опору рівномірному розтягу кутика, приєднаного через одну полицю, або інших типів профілів, з'єднаних через консольні елементи, рекомендовано визначати відповідно до вимог 5.11, EN 1993 -1-8:2024.

8.1.2 *Осьовий стиск*

(1) Потрібно щоб розрахункове значення зусилля стиску N_{Ed} у кожному поперечному перерізі задовольняло критеріям, зазначеним у формулі (8.3):

$$\frac{N_{\mathrm{Ed}}}{N_{\mathrm{c,Rd}}} \leq 1\,, \qquad (8.3)$$

де

$N_{\mathrm{c,Rd}}$ — розрахункове значення опору поперечного перерізу рівномірному стиску відповідно до (2).

(2) Розрахункове значення опору поперечного перерізу рівномірному стиску $N_{\mathrm{c,Rd}}$ рекомендовано визначати наступним чином:

Якщо $A_{\mathrm{eff}} < A$:

$$N_{c,Rd} = \frac{A_{eff}\, f_{yb}}{\gamma_{M0}} \qquad (8.4)$$

Якщо $A_{\text{eff}} = A$:

$$N_{c,Rd} = \frac{A\left(f_{yb} + 4\left(f_{ya} - f_{yb}\right)\left(1 - \left(\bar{\lambda}_e/\bar{\lambda}_{e0}\right)_{max}\right)\right)}{\gamma_{M0}} \leq \frac{A\, f_{ya}}{\gamma_{M0}}\,, \qquad (8.5)$$

,

де

A_{eff} — площа ефективного поперечного перерізу, що враховує місцеву втрату стійкості і втрату стійкості зі зміною форми перерізу відповідно до 7.6, за умови рівномірного стискального напруження,, що дорівнює f_{yb}, а для трапецієподібного профільованого листа — площа ефективного поперечного перерізу з використанням основної ефективної ширини $s_{\text{eff,0}}$ для всіх ефективних частин стінки між елементами жорсткості;

A — площа перерізу брутто;

f_{ya} — середня границя текучості, див. 5.2.2;

f_{yb} — основна границя текучості, див. 5.2.2;

$(\bar{\lambda}_{\text{e}}/\bar{\lambda}_{\text{e0}})_{\max}$— найбільше значення коефіцієнта гнучкості $\bar{\lambda}_{\text{e}}/\bar{\lambda}_{\text{e0}}$ для всіх плоских елементів, що складають поперечний переріз. Значення гнучкості $\bar{\lambda}_{\text{e}}$ і $\bar{\lambda}_{\text{e0}}$ рекомендовано визначати наступним чином, в залежності від типу плоского елемента:

для внутрішніх стиснутих елементів:

$\bar{\lambda}_{\text{e}} = \bar{\lambda}_{\text{p}}$ і $\bar{\lambda}_{\text{e0}} = 0{,}673$ див. 7.6.2; (8.6)

для консольних стиснутих елементів:

$\bar{\lambda}_{\text{e}} = \bar{\lambda}_{\text{p}}$ і $\bar{\lambda}_{\text{e0}} = 0{,}748$ див. 7.6.2; (8.7)

для елементів з крайовими або проміжними елементами жорсткості:

$\bar{\lambda}_{\text{e}} = \bar{\lambda}_{\text{d}}$ і $\bar{\lambda}_{\text{e0}} = 0{,}65$ див. 7.6.3; (8.8)

(3) Дозволено припустити, що осьове зусилля в елементі діє в центрі

ваги його поперечного перерізу брутто.

Примітка. Подальший розрахунок може дати більш точний розподіл внутрішніх сил.

(4) Розрахункове значення опору стиску поперечного перерізу, розраховане з використанням 8.1.3 (2), являє собою опір осьовому навантаженню, що діє в центрі ваги ефективного поперечного перерізу. Якщо центр ваги ефективного поперечного перерізу не збігається з центром ваги поперечного перерізу брутто, то додаткові згинальні моменти, викликані зміщеннями центру ваги e_{Ny} та e_{Nz} (див. рисунок 8.1) рекомендовано враховувати, використовуючи формули взаємодії, наведені в 8.1.8. Якщо зсув нейтральної осі сприятливо впливає на опір поперечного перерізу, цим зміщенням рекомендовано нехтувати, але лише в тому випадку, якщо зміщення було обчислене з урахуванням границі текучості, а не з урахуванням фактичних стискальних напружень під дією навантажень.

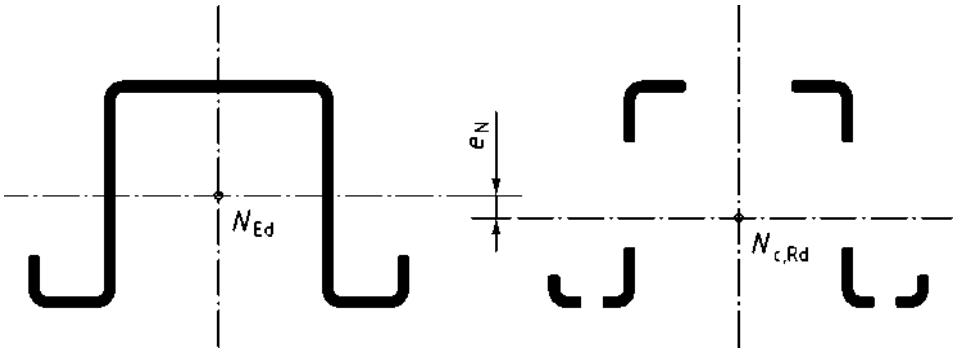


Рисунок 8.1 — Ефективний стиснутий поперечний переріз

8.1.4 *Згин*

8.1.4.1 *Пружний і пружно-пластичний опір з початковою текучістю на стиснутій полиці.*

(1) Потрібно щоб розрахункове значення згинального моменту M_{Ed} у кожному поперечному перерізі задовольняло критеріям, зазначеним у формулі (8.9):

$$\frac{M_{\mathrm{Ed}}}{M_{\mathrm{c,Rd}}} \leq 1\,, \qquad (8.9)$$

де

$M_{c,Rd}$ — розрахункове значення опору згинальному моменту поперечного перерізу під дією згину відповідно до (2).

(2) Розрахункове значення опору згинальному моменту $M_{c,Rd}$ поперечного перерізу під дією згину навколо однієї головної осі рекомендовано визначати наступним чином (див. рисунок 8.2):

якщо $W_{eff} < W_{el}$

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{eff}\, f_{yb}}{\gamma_{M0}} \tag{8.10}$$

якщо $W_{eff} = W_{el}$ і умови, наведені у (3) задоволені:

$$M_{c,Rd} = \frac{\left(W_{el}\, f_{yb} + 3\left(W_{pl} f_{ya} - W_{el} f_{yb}\right)\left(1 - \left(\bar{\lambda}_e/\bar{\lambda}_{e0}\right)_{max}\right)\right)}{\gamma_{M0}} \leq \frac{W_{pl}\, f_{ya}}{\gamma_{M0}}, \tag{8.11}$$

де

W_{eff} — пружний момент опору ефективного поперечного перерізу, що враховує місцеву втрату стійкості та втрату стійкості зі зміною форми перерізу, вигин відповідно до 7.6, див. також (5);

W_{el} — пружний момент опору поперечного перерізу брутто;

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

f_{ya} — середня границя текучості, див. 5.2.2;

f_{yb} — основна границя текучості, див. 5.2.2;

$(\bar{\lambda}_e/\bar{\lambda}_{e0})_{max}$ — найбільше значення коефіцієнта гнучкості $\bar{\lambda}_e/\bar{\lambda}_{e0}$ для всіх плоских елементів, що складають поперечний переріз. Значення відносної гнучкості $\bar{\lambda}_e$ і $\bar{\lambda}_{e0}$ рекомендовано визначати наступним чином, в залежності від типу плоского елемента:

а) Для плоских елементів з елементами жорсткості або без них, за винятком трапецієподібного профільованого листа:

для внутрішніх стиснутих елементів:

$$\bar{\lambda}_e = \bar{\lambda}_p \text{ and } \bar{\lambda}_{e0} = 0{,}5 + \sqrt{0{,}25 - 0{,}055\,(3+\psi)}\,, \tag{8.12}$$

де

Ψ — коефіцієнт напруження, див. 7.6.2;

для консольних стиснутих елементів:

$$\bar{\lambda}_{\mathrm{e}} = \bar{\lambda}_{\mathrm{p}} \text{ і } \bar{\lambda}_{\mathrm{e0}} = 0{,}748 \text{ див. 7.6.2;} \tag{8.13}$$

для елементів з крайовими або проміжними елементами жорсткості:

$$\bar{\lambda}_{\mathrm{e}} = \bar{\lambda}_{\mathrm{d}} \text{ і } \bar{\lambda}_{\mathrm{e0}} = 0{,}65, \text{ див. 7.6.3;} \tag{8.14}$$

b) Для стінок із трапецієподібного профільованого листа, відповідно до 7.6.4.3:

для стінок із трапецієподібного профільованого листа без елементів жорсткості у стиснутій зоні:

$$\frac{\bar{\lambda}_{\mathrm{e}}}{\bar{\lambda}_{\mathrm{e0}}} = \frac{s_{\mathrm{n}}}{s_{\mathrm{eff},1} + s_{\mathrm{eff,n}}} \tag{8.15}$$

для стінок із трапецієподібного профільованого листа з одним або двома проміжними елементами жорсткості в зоні стиску:

$$\bar{\lambda}_{\mathrm{e}} = \bar{\lambda}_{\mathrm{d}} \text{ і } \bar{\lambda}_{\mathrm{e0}} = 0{,}65 \text{ див. 7.6.2;} \tag{8.16}$$

де

$$\frac{\bar{\lambda}_{\mathrm{e}}}{\bar{\lambda}_{\mathrm{e0}}} = \frac{s_{\mathrm{n}}}{s_{\mathrm{eff},1} + s_{\mathrm{eff},2}}$$ для трапецієподібного профільованого листа на ділянці стінки між стиснутою полицею і першим елементом жорсткості; (8.17)

$$\frac{\bar{\lambda}_{\mathrm{e}}}{\bar{\lambda}_{\mathrm{e0}}} = \frac{s_{\mathrm{n}}}{s_{\mathrm{eff},3} + s_{\mathrm{eff,n}}}$$ для ділянок стінки між нейтральною віссю і елементом жорсткості стінки з одним елементом жорсткості в стиснутій зоні; (8.18)

$$\frac{\bar{\lambda}_{\mathrm{e}}}{\bar{\lambda}_{\mathrm{e0}}} = \frac{s_{\mathrm{n}}}{s_{\mathrm{eff},3} + s_{\mathrm{eff},4}}$$ для ділянки стінки між двома елементами жорсткості; (8.19)

$$\frac{\bar{\lambda}_{\mathrm{e}}}{\bar{\lambda}_{\mathrm{e0}}} = \frac{s_{\mathrm{n}}}{s_{\mathrm{eff,5}} + s_{\mathrm{eff,n}}} \qquad (8.20)$$

для ділянки стінки прилеглої до нейтральної осі стінки з двома елементами жорсткості в стиснутій зоні;

де

s_{n} — довжина, наведена на рисунку 7.10;

від $s_{\mathrm{eff,1}}$ до $s_{\mathrm{eff,n}}$ — задані формулами (7.54) — (7.59) і наведені на рисунку 7.10.

Примітка. Опір згинальному моменту, обчислений за формулою (8.11), позначають на графіку як функцію від відносної гнучкості, показану на рисунку 8.2.

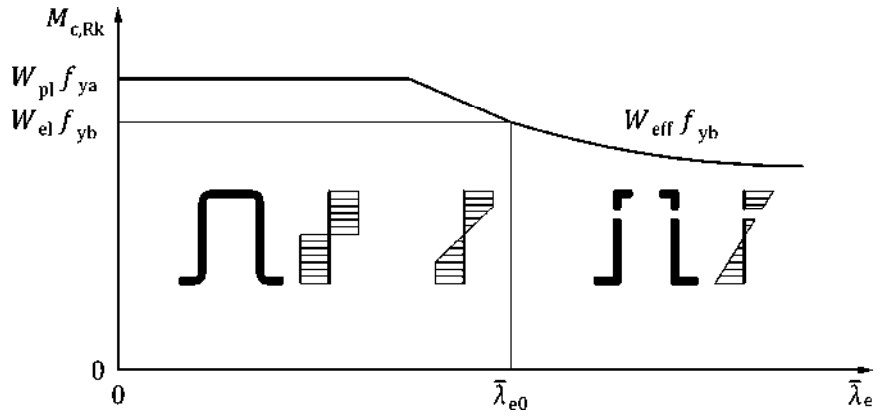


Рисунок 8.2 — Залежність опору згинальному моменту від гнучкості

(3) Формулу (8.11) дозволено застосовувати за умови одночасного виконання наступних умов:

a) Згинальний момент діє тільки відносно однієї з головних осей поперечного перерізу;

b) На елемент не діє кручення та загальна втрата стійкості;

c) Кут ϕ між стінкою та полицею (див. рисунок 8.5) більший ніж 60°.

(4) Якщо $W_{\mathrm{eff}} = W_{\mathrm{el}}$ та вимоги (3)b чи (3)c не виконано, розрахункове значення опору згинальному моменту поперечного перерізу під дією згину навколо однієї головної осі може бути визначено за формулою (8.21):

$$M_{\mathrm{c,Rd}} = \frac{W_{\mathrm{el}} f_{\mathrm{ya}}}{\gamma_{\mathrm{M0}}} \qquad (8.21)$$

(5) Момент опору перерізу W_{eff} рекомендовано розраховувати на

основі ефективного поперечного перерізу, на який діє тільки згинальний момент навколо відповідної головної осі, з максимальним напруженням $\sigma_{\max,\mathrm{Ed}}$ рівним $f_{\mathrm{yb}}/\gamma_{\mathrm{M0}}$, з урахуванням ефектів місцевої втрати стійкості та втрати стійкості зі зміною форми перерізу, як зазначено в 7.6. Там, де це має значення, рекомендовано враховувати наслідки запізнення зсуву.

(6) Коефіцієнт напруження $\psi = \sigma_2/\sigma_1$, застосовний для визначення ефективних ділянок стінки, дозволено обчислювати з урахуванням ефективної площі полиці, що працює на стиск, а також площі поперечного перерізу брутто стінки, як показано на рисунку 8.3.

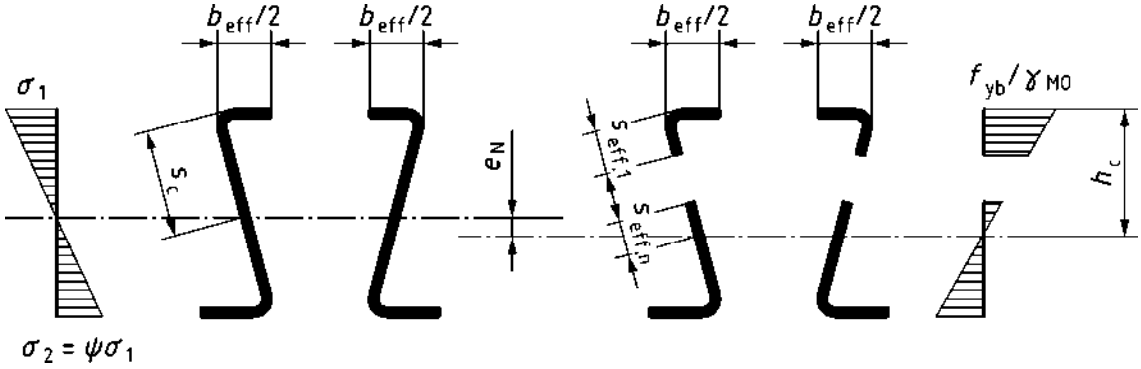


Рисунок 8.3 — Приклад ефективного поперечного перерізу, що забезпечує опір згинальним моментам

(7) Якщо початковий розвиток текучості відбувається в стиснутому краї поперечного перерізу, значення W_{eff} рекомендовано визначати з урахуванням лінійного розподілу напружень у поперечному перерізі.

(8) Для двохосьового згину дозволено виконати критерій, наведений у формулі (8.22):

$$\frac{M_{\mathrm{y,Ed}}}{M_{\mathrm{cy,Rd}}} + \frac{M_{\mathrm{z,Ed}}}{M_{\mathrm{cz,Rd}}} \leq 1\,, \qquad (8.22)$$

де

$M_{\mathrm{y,Ed}}$ — розрахункове значення згинального моменту навколо головної осі з максимальним моментом інерції.

$M_{\mathrm{z,Ed}}$ — розрахункове значення згинального моменту навколо головної осі з мінімальним моментом інерції;

$M_{\mathrm{cy,Rd}}$ — розрахункове значення опору згинальному моменту поперечного перерізу, під дією тільки згинального моменту навколо осі *y-y*;

$M_{\mathrm{cz,Rd}}$ — розрахункове значення опору згинальному моменту поперечного перерізу, під дією тільки згинального моменту навколо осі z-z.

(9) Перерозподіл згинальних моментів всередині елемента внаслідок пластичності на внутрішніх зонах обпирання дозволено враховувати у загальному розрахунку , за умови виконання наступних умов:

Будь-який опір залишковому згинальному моменту на внутрішніх зонах обпирання, що перевищує нульове значення, потрібно підтвердити результатами випробувань відповідно до пункту 12.

Потрібно дотримуватися положень для граничних станів експлуатаційної придатності, наведених в 9.2.

Пружний і пружно-пластичний опір з початковою текучістю на розтягнутій полиці.

(1) Розрахункове пружне значення опору згинальному моменту $M_{\mathrm{c,Rd}}$ дозволено визначати відповідно до формули (8.10), тоді як ефективний поперечний переріз визначають на основі максимального розрахункового значення стискального напруження $\sigma_{\mathrm{com,Ed}}$ на стиснутій стороні, див. 7.6.

(2) За умови, що згинальний момент прикладено лише до однієї головної осі поперечного перерізу, і за умови, що початковий розвиток текучості відбувається в розтягнутому краї, запас пластичності в зоні розтягу дозволено використовувати без будь-якого обмеження деформації до тих пір, поки максимальне напруження стиску $\sigma_{com,\mathrm{Ed}}$ не досягне $f_{\mathrm{yb}}/\gamma_{\mathrm{M0}}$. Положення 8.1.4.2, (2) — (4), застосовні тільки в разі чистого згину. Для комбінованого осьового навантаження і згину рекомендовано застосовувати 8.1.7 або 8.1.8.

(3) Частково пластичний момент опору перерізу ефективного поперечного перерізу $W_{\mathrm{pp,eff}}$ рекомендовано обчислювати на основі

розподілу напружень,— білінійного у розтягнутій зоні та лінійного у стиснутій.

(4) За відсутності детальнішого розрахунку ефективну ширину b_{eff} елемента, під дією лінійнозмінного напруження, дозволено обчислювати відповідно до 7.6.2, при цьому b_{c} визначають за білінійним розподілом напружень, як показано на рисунку 8.4, і за припущення, що $\psi = -1$.

(5) Застосовний 8.1.4.1(9).

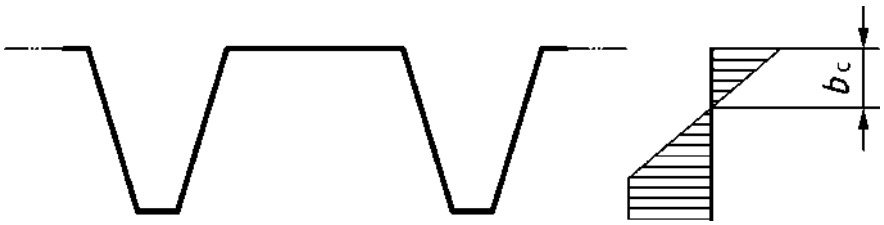


Рисунок 8.4 — Висота стиснутої зони для визначення ефективної ширини

8.1.4.3 *Наслідки запізнення зсуву*

(1) Впливи запізнення зсуву рекомендовано враховувати відповідно до EN 1993-1-5.

(2) Впливами запізнення зсуву для профільованих листів і елементів, що задовольняють обмеженням за розмірами, зазначеним в 7.4, можна знехтувати.

Примітка. Вплив запізнення зсуву в касетних профілях враховано в 11.2.2.2.

8.1.4.4 *Спеціальні положення для вигнутих профільованих листів і профілів*

(1) Вигнутий профільований лист або елементи дозволено проєктувати з урахуванням впливу вигинання.

(2) Вигнутий профільований лист, запроєктований без урахування впливу вигинання потрібно використовувати тільки в межах розрахункових товщин і радіусів кривизни, зазначених у таблиці 8.1.

Таблиця 8.1 — Діапазон допустимих значень конструкції вигнутого листового матеріалу без урахування ефекту вигину

Тип профіля	Розрахункова товщина, (мм)	Радіус кривизни *R*, (m)
Трапецієподібний профіль	0,59	$5{,}6 \le R \le 32{,}9$
	0,96	$6{,}4 \le R \le 25{,}8$
Синусоїдальний або подібний йому профільований лист	0,59	$4{,}3 \le R \le 11{,}5$
	0,96	$3{,}8 \le R \le 17{,}2$
Для проміжних значень розрахункової товщини границі радіуса кривизни *R* дозволено визначати інтерполяцією.		

(3) Розрахункове значення опору згинальному моменту вигнутого профільованого листа без урахування ефекту вигинання дозволено визначати на основі розрахункового значення опору згинальному моменту відповідного плоского (тобто не вигнутого) профільованого листа за формулою (8.23):

$$\widehat{M}_{\mathrm{c,Rd}} = 0{,}9 \cdot M_{\mathrm{c,Rd}}\,, \qquad (8.23)$$

де

$\widehat{M}_{\mathrm{c,Rd}}$— розрахункове значення опору згинальному моменту вигнутого профільованого листа без урахування впливу вигинання;

$M_{\mathrm{c,Rd}}$ — розрахункове значення опору згинальному моменту вигнутого відповідного плоского листа;

8.1.5 *Зсув*

(1) Потрібно щоб розрахункове значення зусилля стиску V_{Ed} у кожному поперечному перерізі задовольняло критеріям, зазначеним у формулі (8.24):

$$\frac{V_{\mathrm{Ed}}}{V_{\mathrm{b,Rd}}} \le 1\,, \qquad (8.24)$$

де

$V_{\mathrm{b,Rd}}$ — розрахункове значення опору зсуву поперечного перерізу в

площині стінки відповідно (2).

(2) Розрахункове значення опору зсуву $V_{\mathrm{b,Rd}}$ в площині стінки рекомендовано визначати за формулою (8.25):

$$V_{\mathrm{b,Rd}} = \frac{\frac{h_{\mathrm{w}}}{\sin\phi}\, t\, f_{\mathrm{bv}}}{\gamma_{\mathrm{M0}}}\,, \tag{8.25}$$

де

f_{bv} — міцність на зсув з урахуванням втрати стійкості під час зсуву, відповідно до таблиці 8.2;

h_{w} — висота стінки виміряна між серединними лініями полиць, див. Таблицю 7.3(c);

ϕ — кут нахилу стінки відносно полиць, див. рисунок 8.5.

Розрахункове значення опору зсуву перпендикулярно полицям рекомендовано визначати за формулою (8.26):

$$V_{\mathrm{w,Rd}} = V_{\mathrm{b,Rd}} \sin\phi \tag{8.26}$$

Таблиця 8.2 — Міцність під час зсувної втрати стійкості f_{bv}

Відносна гнучкість стінки	Стінка без підкріплення на опорній ділянці	Стінка з підкріпленням у зоні обпирання [a]
$\bar{\lambda}_{\mathrm{w}} \le 0{,}83$	$0{,}58\, f_{\mathrm{yb}}$	$0{,}58\, f_{\mathrm{yb}}$
$0{,}83 < \bar{\lambda}_{\mathrm{w}} < 1{,}4$	$\frac{0{,}48\, f_{\mathrm{yb}}}{\bar{\lambda}_{\mathrm{w}}}$	$\frac{0{,}48\, f_{\mathrm{yb}}}{\bar{\lambda}_{\mathrm{w}}}$
$\bar{\lambda}_{\mathrm{w}} \ge 1{,}4$	$\frac{0{,}67\, f_{\mathrm{yb}}}{\bar{\lambda}_{\mathrm{w}}^2}$	$\frac{0{,}48\, f_{\mathrm{yb}}}{\bar{\lambda}_{\mathrm{w}}}$

[a] Елементи жорсткості у зоні обпирання, такі як кронштейни, розташовані так, щоб запобігти втраті стійкості зі зміною форми перерізу стінки і сприймати опорні реакції.

(3) Відносну гнучкість стінки $\bar{\lambda}_{\mathrm{w}}$ рекомендовано визначати наступним чином:

Для стінок без поздовжніх елементів жорсткості:

$$\bar{\lambda}_{\mathrm{w}} = 0{,}346\, \frac{s_{\mathrm{w}}}{t} \sqrt{\frac{f_{\mathrm{yb}}}{E}} \tag{8.27}$$

Для стінок з поздовжніми елементами жорсткості див. рисунок 8.5:

$$\bar{\lambda}_{\mathrm{w}} = 0{,}346\,\frac{s_{\mathrm{d}}}{t}\sqrt{\frac{5{,}34\,f_{\mathrm{yb}}}{k_{\tau}\,E}} \quad \text{, але} \quad \bar{\lambda}_{\mathrm{w}} \geq 0{,}346\,\frac{s_{\mathrm{p}}}{t}\sqrt{\frac{f_{\mathrm{yb}}}{E}} \qquad (8.28)$$

із

$$k_{\tau} = 5{,}34 + \frac{2{,}10}{t}\left(\frac{\sum I_{\mathrm{st}}}{s_{\mathrm{d}}}\right)^{1/3} \qquad (8.29)$$

, де

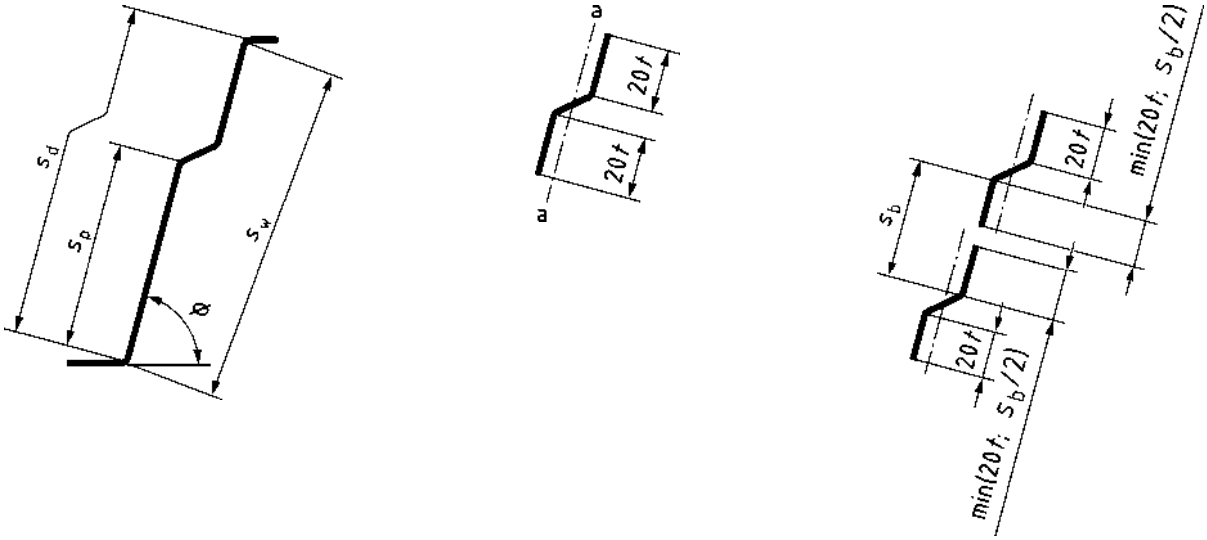
I_{st} — момент інерції окремого поздовжнього елемента жорсткості, визначений в 7.6.4.3 (7), відносно осі a-a, як показано на рисунку 8.5;

s_{d} — повна спрямлена висота бічної грані стінки, як показано на рисунку 8.5;

s_{p} — висоти бічної грані найширшого плоского елемента стінки, як показано на рисунку 8.5;

s_{w} — висоти бічної грані стінки, як показано на рисунку 8.5, визначена відстанню між середніми точками кутів, див. таблицю 7.3(c).

time



(a) Геометричні характеристики

(b) стінка з одним елементом жорсткості

(c) стінка з двома елементами жорсткості

Рисунок 8.5 — Стінка, підкріплена у поздовжньому напрямку

8.1.6 *Опір поперечним навантаженням*

8.1.6.1 *Загальні положення*

(1) Щоб запобігти зім'яттю або пошкодженню стінки, що зазнає впливу опорної реакції або іншої прикладеної через полицю поперечної сили, потрібно, щоб розрахункове значення поперечної сили F_{Ed} відповідало критерію, зазначеному у формулі (8.30):

$$\frac{F_{\mathrm{Ed}}}{R_{\mathrm{w,Rd}}} \leq 1\,, \qquad (8.30)$$

де

$R_{\mathrm{w,Rd}}$ — розрахункове значення опору поперечним зусиллям у стінці.

(2) Розрахункове значення опору стінки поперечним зусиллям $R_{\mathrm{w,Rd}}$ рекомендовано обчислювати наступним чином:

a) для непідкріпленої стінки:

— для поперечного перерізу з однією стінкою: див. 8.1.6.2;

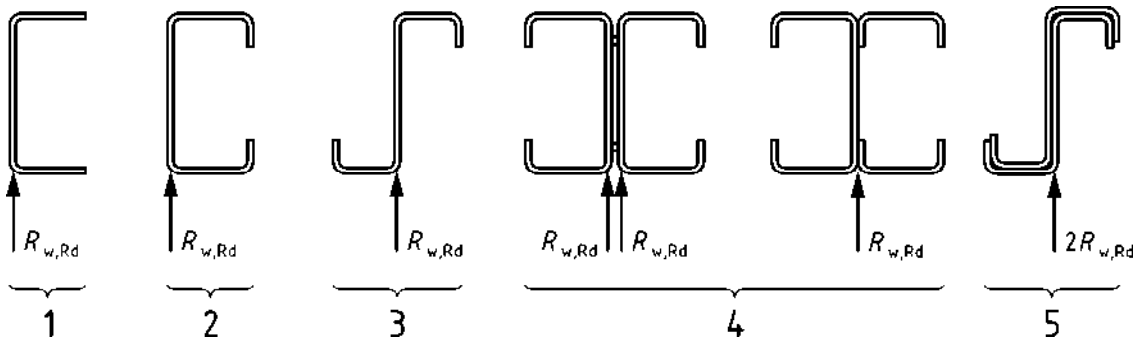
— для будь-яких інших випадків, включно з профільованими листами: див. 8.1.6.3;

b) для підкріпленої стінки: див. 8.1.6.4.

(3) Якщо загальне навантаження або опорна реакція прикладені тільки через прикріплений до стінки кронштейн, то враховувати опір стінки поперечному зусиллю немає необхідності.

8.1.6.2 *Поперечні перерізи з однією стінкою без елементів жорсткості*

(1) Розрахункове значення опору стінки поперечним зусиллям для поперечних перерізів з однією стінкою без елементів жорсткості, показаних на рисунку 8.6д, може бути обчислене згідно з вказівками (6), якщо переріз відповідає критеріям, наведеним у таблиці 8.3.



Умовні позначки:

1 — Непідкріплений С-подібний профіль;

2 — Підкріплений С-подібний профіль;

3 — Підкріплений Z-подібний профіль;

4 — Складені двотаври;

5 — Зчеплювані Z-подібні профілі (дозволено кріпильні елементи між двома стінками на кінцях напустків)

Рисунок 8.6 — Поперечний переріз з однією стінкою — сфера застосування 8.1.6.2

Таблиця 8.3 — Проєктування поперечних перерізів з однією стінкою — сфера застосування

(1) Непідкріплені С-подібні профілі (див. рисунок 8.6)					
Кріплення до опорної ділянки	t [мм]	f_y [Н/мм^2]	r/t	l_{sb}/t	h/t
прикріплено	0,6—6,0	250—600	≤ 4	≤ 100	≤ 200
Не прикріплено	1,0—6,0	250—600	≤ 4	≤ 100	≤ 200
(1) Підкріплені С-подібні профілі (див. рисунок 8.6)					
Кріплення до опорної ділянки	t [мм]	f_y [Н/мм^2]	r/t	l_{sb}/t	h/t
прикріплено	0,6—3,1	160—600	≤ 10	≤ 170	≤ 270
Не прикріплено	0,6—3,1	160—600	≤ 5	≤ 170	≤ 270
(3) Підкріплені Z-подібні профілі (див. рисунок 8.6)					
Кріплення до опорної ділянки	t [мм]	f_y [Н/мм^2]	r/t	l_{sb}/t	h/t
прикріплено	1,0—3,0	320—500	≤ 10	≤ 100	≤ 200
Не прикріплено	1,5—3,0	320—500	≤ 5	≤ 100	≤ 200

Кінець таблиці 8.3

(4) Складені двотаврові профілі (див. рисунок 8.6)					
Кріплення до опорної ділянки	t [мм]	f_y [Н/мм^2]	r/t	l_{sb}/t	h/t
прикріплено	1,0—4,0	200—450	≤ 5	≤ 100	≤ 270
Не прикріплено	1,0—4,0	200—450	≤ 5	≤ 100	≤ 270
(3) Зчеплювані Z-подібні профілі (див. рисунок 8.6)					
Кріплення до опорної ділянки	t [мм]	f_y [Н/мм^2]	r/t	l_{sb}/t	h/t
прикріплено	1,0—3,0	320—500	≤ 10	≤ 100	≤ 200
Не прикріплено	1,0—3,0	320—500	≤ 10	≤ 100	≤ 200

(2) Рекомендовано, щоб номінальна довжина жорсткої опори відповідала загальним обмеженням $l_{sb} \le 200$ мм. Цей підхід дозволено застосовувати для більшої довжини жорсткого обпирання, але l_{sb} рекомендовано зменшити до 200 мм.

Якщо зона обпирання складена з одинарного холодноформованого сталевого елемента з поперечним перерізом із однією стінкою, то за відсутності детального розрахунку ефективна несна довжина опорної ділянки може бути визначена відповідно до пункту 8.1.6.3 (5).

(3) Цей підхід дозволено застосовувати для більших значень *t* або f_{yb}, але значення рекомендовано зменшити до максимальних значень, наведених у таблиці 8.3.

(4) В елементах з двотаврового профілю, виконаних з двох швелерів або з аналогічних профілів, в яких два складника з'єднані стінками, з'єднання рекомендовано розташовувати настільки близько до полиць елемента, наскільки це практично можливо.

(5) Якщо передбачено кронштейн достатньої жорсткості, коефіцієнти k_{lsb}, наведені для складених двотаврових профілів, дозволено використовувати як для C-подібних, так і для Z-подібних профілів із (додатково) підкріпленими або непідкріпленими полицями, за умови, що номінальна довжина жорсткої опори l_{sb} прийнята за мінімальне значення довжини жорсткої опори і ширина кронштейна обчислена за формулою (8.31), див. рисунок 8.7:

$$l_{\mathrm{sb}} = \min\{b_{\mathrm{f}};\, b_{\mathrm{cleat}}\} \le 200 \text{ мм}, \qquad (8.31)$$

де

b_{f} — реальна довжина жорсткої опори, зазвичай рівна ширині полиці, див. рисунок 8.7;

b_{cleat} — ширина кронштейна;

Достатню жорсткість кронштейна дозволено прийняти, якщо виконано критерій, зазначений у формулі (8.32):

$$t_{\mathrm{cleat}} \ge t \sqrt[3]{\frac{2h}{l_{\mathrm{sb}}}} \qquad (8.32)$$

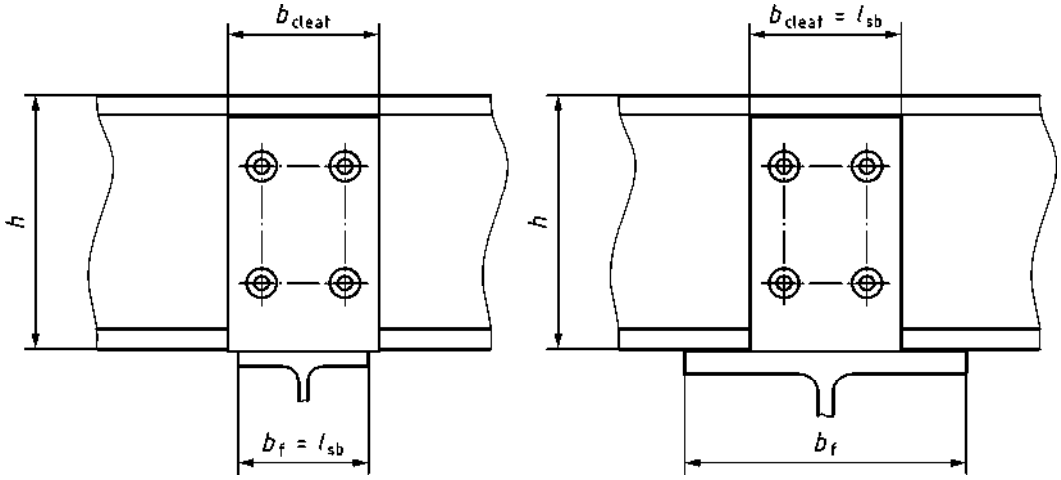


Рисунок 8.7 — Номінальна довжина жорсткої опори l_{sb} для кріплення до кронштейнів

(6) Для поперечних перерізів, що задовольняють критеріям, зазначеним в таблиці 8.3, розрахункове значення опору поперечним зусиллям стінки $R_{\mathrm{w,Rd}}$ рекомендовано визначати за формулою (8.33):

$$R_{\mathrm{w,Rd}} = k_{0,\mathrm{sb}} \cdot \frac{t^2\sqrt{E\, f_{\mathrm{yb}}}}{\gamma_{\mathrm{M1}}} \left(1 - k_{\mathrm{r,sb}}\sqrt{\frac{r}{t}}\right)\left(1 + k_{\mathrm{l,sb}}\sqrt{\frac{l_{\mathrm{sb}}}{t}}\right)\left(1 - k_{\mathrm{h,sb}}\sqrt{\frac{h}{t}}\right), \qquad (8.33)$$

де

$k_{0,\mathrm{sb}}$, $k_{\mathrm{r,sb}}$, $k_{\mathrm{l,sb}}$, $k_{\mathrm{h,sb}}$ — зазначені в таблиці 8.4 коефіцієнти, що залежать від умов завантаження, перелічених у таблиці 8.5;

t — розрахункова товщина;

E — модуль пружності;

f_{yb} — основна границя текучості;

h — загальна висота поперечного перерізу, див. рисунок 8.7;

r — внутрішній радіус кутів;

l_{sb} — номінальна довжина жорсткої опори [у мм]; Якщо дві рівні за величиною поперечні сили діють на протилежні сторони стінки, але розподілені вздовж неоднакових довжин опори, рекомендовано використовувати менше значення l_{sb}.

Примітка. Детальні відомості щодо елементів для кріплення профілів до опори наведено на рисунку 8.8.

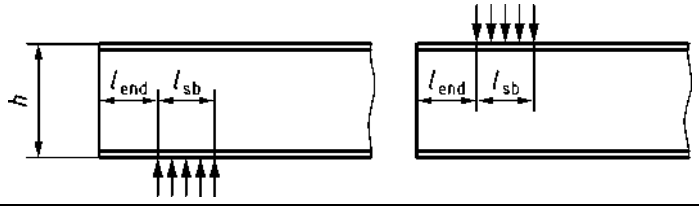
Таблиця 8.4 — Коефіцієнти $k_{i,sb}$ для обчислення опору поперечним силам

(1) Непідкріплені С-подібні профілі (див. рисунок 8.6)						
№	Умови завантаження	Кріплення до опорної ділянки	$k_{0,sb}$	$k_{r,sb}$	$k_{l,sb}$	$k_{h,sb}$
1	EOF	прикріплено	0,157	0,074	0,231	0,024
		неприкріплено	0,085	0,188	0,640	0,044
2	IOF	прикріплено	0,193	0,045	0,219	0,000
		неприкріплено	0,222	0,002	0,120	0,000
3	ETF	прикріплено	0,075	0,092	0,278	0,026
		неприкріплено	0,075	0,092	0,278	0,026
4	ITF	прикріплено	0,263	0,076	0,126	0,037
		неприкріплено	0,263	0,076	0,126	0,037
(1) Підкріплені С-подібні профілі (див. рисунок 8.6)						
№	Умови завантаження	Кріплення до опорної ділянки	$k_{0,sb}$	$k_{r,sb}$	$k_{l,sb}$	$k_{h,sb}$
1	EOF	прикріплено	0,266	0,165	0,155	0,032
		не прикріплено	0,251	0,211	0,148	0,039
2	IOF	прикріплено	0,627	0,151	0,098	0,036
		не прикріплено	0,594	0,143	0,049	0,033
3	ETF	прикріплено	0,200	0,109	0,142	0,046
		не прикріплено	0,291	0,383	0,095	0,041
4	ITF	прикріплено	0,558	0,102	0,053	0,028
		не прикріплено	1,202	0,232	0,000	0,051

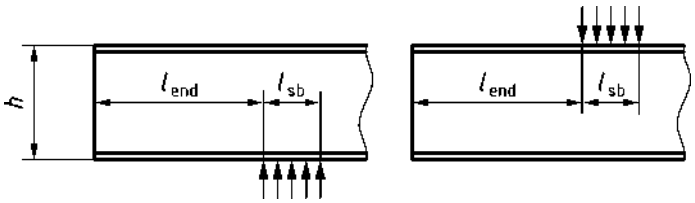
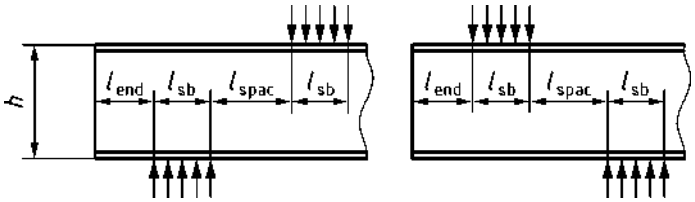
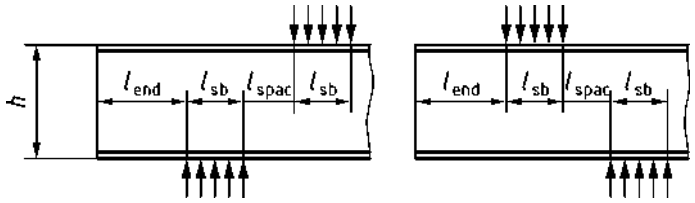
Кінець таблиці 8.4

(3) Підкріплені Z-подібні профілі (див. рисунок 8.6)						
№	Умови завантаження	Кріплення до опорної ділянки	$k_{0,sb}$	$k_{r,sb}$	$k_{l,sb}$	$k_{h,sb}$
1	EOF	прикріплено	0,162	0,094	0,239	0,029
		не прикріплено	0,120	0,000	0,024	0,008
2	IOF	прикріплено	0,324	0,094	0,239	0,029
		не прикріплено	0,240	0,000	0,024	0,008
3	ETF	прикріплено	0,308	0,000	0,075	0,049
		не прикріплено	—	—	—	—
4	ITF	прикріплено	0,606	0,061	0,082	0,035
		не прикріплено	—	—	—	—
(4) Складені двотаврові профілі (див. рисунок 8.6)						
№	Умови завантаження	Кріплення до опорної ділянки	$k_{0,sb}$	$k_{r,sb}$	$k_{l,sb}$	$k_{h,sb}$
1	EOF	прикріплено або неприкріплено	0,179	0	0,225	0
2	IOF	прикріплено або неприкріплено	0,580	0,163	0,066	0
3	ETF	прикріплено або неприкріплено	0,439	0,292	0,0528	0,0344
4	ITF	прикріплено або неприкріплено	0,768	0,179	0,0699	0,0335
(3) Зчеплювані Z-подібні профілі (див. рисунок 8.6)						
№	Умови завантаження	Кріплення до опорної ділянки	$k_{0,sb}$	$k_{r,sb}$	$k_{l,sb}$	$k_{h,sb}$
1	IOF	прикріплено або неприкріплено	0,235	0,200	0,187	0

Таблиця 8.5 — Умови навантаження

№	Умови завантаження		
1	EOF — на кінці, навантаження на одну полицю (*end one-flange loading; EOF*)		$l_{end} \le 1{,}5\ h$

Кінець таблиці 8.5

2	IOF — всередині, навантаження на одну полицю (*internal one-flange loading; IOF*)		$l_{end} > 1{,}5\ h$
3	ETF — на кінці, навантаження на дві полиці (*end two-flange loading; ETF*)		$l_{end} \le 1{,}5\ h$ $l_{spac} \le 1{,}5\ h$
4	ITF — всередині, навантаження на дві полиці (*internal two flange loadingg; ITF*)		$l_{end} > 1{,}5\ h$ $l_{spac} \le 1{,}5\ h$

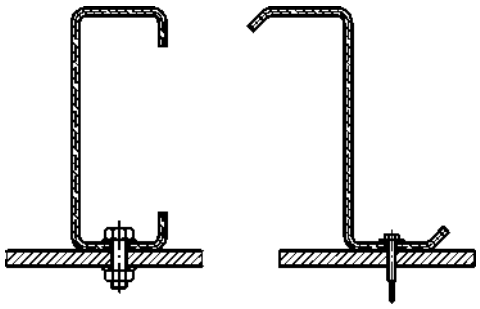


Рисунок 8.8 — Кріплення профілів до опорної ділянки

8.1.6.3 *Поперечні перерізи з двома або більше непідкріпленими стінками*

(1) Для поперечних перерізів, що містять дві або більше стінок, з профільованим листом включно (див. 8.9), розрахункове значення опору поперечним зусиллям непідкріпленої стінки рекомендовано визначати відповідно до (2), за умови, що виконано обидві наступні умови:

— рекомендовано, щоб сума опорної довжини l_{sb} і відстані у просвіті l_{end} від кінця опорної довжини до вільного кінця становила щонайменше 40 мм, тобто $l_{sb} + l_{end} \ge 40$ мм;

— відстань у просвіті l_{end} від кінця опорної довжини до вільного кінця

становила щонайменше 40 мм, див. таблицю 8.6;

— поперечний переріз задовольняв наступним критеріям:

$$r/t \leq 10 \tag{8.34}$$

$$h/t \leq 200 \sin \phi \tag{8.35}$$

$$45° \leq \phi \leq 90\ , \tag{8.36}$$

де

h — висота стінки;

r — внутрішній радіус кутів;

ϕ — кут нахилу стінки відносно полиць [у градусах].

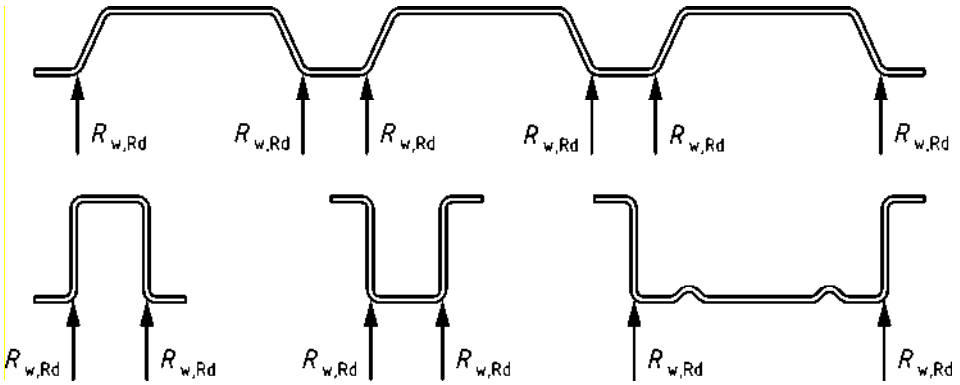


Рисунок 8.9 — Приклади поперечних перерізів з двома або більше стінками

(2) Якщо виконано умови, зазначені в (1), то розрахункове значення опору поперечним зусиллям $R_{\mathrm{w,Rd}}$ кожної стінки поперечного перерізу рекомендовано визначити за формулою (8.37):

$$R_{\mathrm{w,Rd}} = K_1 \frac{t^2 \sqrt{E\ f_{\mathrm{yb}}}}{\gamma_{\mathrm{M1}}} \left(1 - 0{,}1\sqrt{\frac{r}{t}}\right)\left(0{,}5 + \sqrt{\frac{0{,}02\ l_{\mathrm{bl}}}{t}}\right)\left(2{,}4 + \left(\frac{\Phi}{90}\right)^2\right), \tag{8.37}$$

де

l_{bl} — ефективна довжина опори, що залежить від відповідної категорії навантаження, як зазначено в (3), і номінальна довжина жорсткої опори, як зазначено в (4);

K_1 — коефіцієнт, що залежить від відповідної категорії навантаження, як зазначено в (3).

(3) Значення l_{bl} та K_1 рекомендовано обчислювати за (5) та (6) відповідно. Рекомендовано розрізняти дві категорії навантаження (1 і 2) на основі відстані у просвіті l_{spac} між місцевим навантаженням і найближчою опорною ділянкою або відстані у просвіті l_{end} від опорної реакції або місцевого навантаження до вільного кінця, див. таблицю 8.6. Категорія 1 охоплює випадки, коли навантаження діє в безпосередній близькості від зони обпирання або вільного краю, в той час як категорія 2 охоплює доповнювальні випадки.

(4) Номінальна довжина жорсткої опори l_{sb} — це фактична довжина, на яку діють поперечні зусилля, наприклад, ширина верхньої полиці опорного елемента. Застосовні наступні винятки:

Якщо зона обпирання утворена з круглої труби, то для номінальної довжини жорсткої опори l_{sb} рекомендовано використовувати значення 10 мм.

Коли опорний елемент складений з двох холодноформованих сталевих профілів з однією стінкою в кожному (в конфігурації «стінка до стінки») значення l_{sb} дозволено приймати у два рази більшим за значення для одного профілю.

(5) Значення ефективної довжини опори l_{bl} рекомендовано приймати наступним чином:

а) для Категорії 1:

Якщо зона обпирання складена з холодноформованих сталевих елементів:

$$l_{\mathrm{bl}} = 10 \text{ мм} \tag{8.38}$$

Якщо зона обпирання складена з інших типів елементів:

$$l_{\mathrm{bl}} = 10 \text{ мм} \quad \text{якщо} \quad l_{end} + l_{\mathrm{sb}} < h \tag{8.39}$$

$$l_{\mathrm{bl}} = 10 + \frac{(l_{end} + l_{\mathrm{sb}} - h)(l_{\mathrm{sb}} - 10)}{h/2 + l_{\mathrm{sb}}} \text{ [мм]} \quad \text{якщо} \quad l_{end} + l_{\mathrm{sb}} \geq h, \text{але } l_{end} < 1{,}5h\ , \tag{8.40}$$

де

l_{end} — відстань у просвіті від кінця опорної довжини до вільного кінця

[у мм];

l_{sb} — номінальна довжина жорсткої опори [у мм];

h — висота стінки [у мм];

b) для Категорії 2:

Якщо зона обпирання складена з цільного холодноформованого сталевого елемента з однією стінкою у поперечному перерізі:

$$l_{\mathrm{bl}} = \min\left\{17{,}5\, t_{\mathrm{supp}} - 6\ \mathrm{mm}; 50\ \mathrm{mm};\ l_{\mathrm{sb}}\right\}, \tag{8.41}$$

де

t_{supp} — розрахункова товщина полиці опорного елемента;

l_{sb} — номінальна довжина жорсткої опори [у мм];

Якщо зони обпирання складена з цільного холодноформованого сталевого елемента з однією стінкою у поперечному перерізі, на яку діє кручення:

$$l_{\mathrm{bl}} = 10\ \text{мм} \tag{8.42}$$

Примітка. Дозволено вважати, що профіль зазанає впливу кручення, якщо його центр зсуву розташований або поза областю під верхньою полицею (наприклад, у швелері чи С - подібному профілі) або в області над зоною обпирання (у випадках, коли навантаження діють зверху або знизу елемента відповідно), і кручення не обмежене іншими конструктивними елементами.

Якщо зона обпирання складена з інших типів елементів:

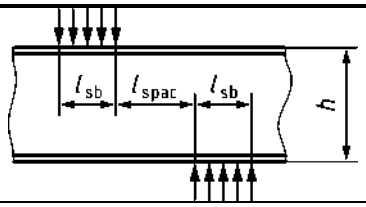
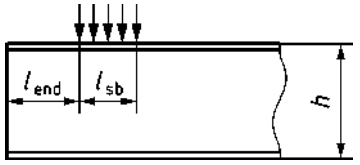
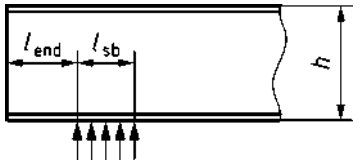
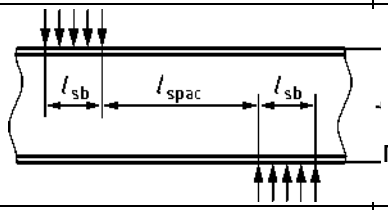
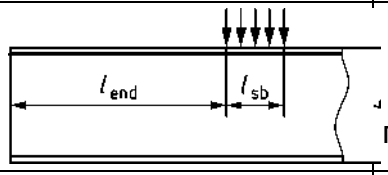
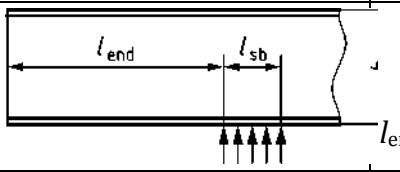
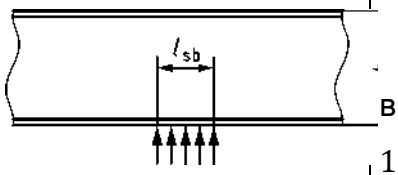
$$l_{\mathrm{bl}} = l_{\mathrm{sb}}, \tag{8.43}$$

де

l_{sb} — номінальна довжина жорсткої опори [у мм];

Максимальне розрахункове значення ефективної опорної довжини становить $l_{\mathrm{bl}} = 200$ мм.

Таблиця 8.6 — Навантаження і опорні реакції. Категорії навантаження для поперечних перерізів із двома або більше стінками

	Категорія 1: — навантаження прикладене на відстані у просвіті $l_{spac} \le 1{,}5\ h$ від найближчої опори;
	Категорія 1: — навантаження прикладене на відстані у просвіті $l_{end} \le 1{,}5\ h$ від вільного кінця;
	Категорія 1: — реакція в зоні обпирання на відстані у просвіті $l_{end} \le 1{,}5\ h$ від вільного кінця;
	Категорія 2: — навантаження прикладене на відстані у просвіті $l_{spac} > 1{,}5\ h$ від найближчої опори;
	Категорія 2: — навантаження прикладене на відстані у просвіті $l_{end} > 1{,}5\ h$ від вільного кінця;
	Категорія 2: — реакція зоні обпирання на відстані у просвіті $l_{end} \le 1{,}5\ h$ від вільного кінця;
	Категорія 2: — реакція на внутрішній зоні обпирання за відсутності зосередженого навантаження на відстанні $1{,}5\ h$.

(6) Значення коефіцієнта K_1 рекомендовано обчислювати наступним чином:

а) Для Категорії 1:

Для профільованого листа із протилежним навантаженням:

$$K_1 = 0{,}075 \qquad (8.44)$$

Для профільованого листа біля незавантаженого кінця:

$$K_1 = 0{,}18 \sqrt{\frac{l_{\mathrm{end}} + l_{\mathrm{sb}}}{1{,}5\, h}} \leq 0{,}15 \qquad (8.45)$$

Для касетних профілів та омега-профілів:

$K_1 = 0{,}057$ (8.46)

b) Для Категорії 2:

— для профільованого листа:

$K_1 = 0{,}15$ (8.47)

— для касетних профілів та омега-профілів:

$K_1 = 0{,}115$ (8.48)

8.1.6.4 *Підкріплені стінки*

(1) Розрахункове значення опору поперечним зусиллям підкріпленої стінки може бути визначене, як зазначено в (2), для профілів з поздовжніми елементами жорсткості стінки, загнутими так, що два згини полотна розташовані на протилежних сторонах лінії, що з'єднує кінцеві точки стінки. Ці кінцеві точки рекомендовано визначати як точки перетину серединної лінії стінки з серединними лініями полиць, як показано на рисунку 8.10. Крім того, для того, щоб (2) був справедливим, рекомендовано виконати умову з формули (8.49):

$$2 \leq \frac{e_{\mathrm{w,max}}}{t} < 12\,, \qquad (8.49)$$

де

$e_{\mathrm{w,max}}$ більший ексцентриситет точок перегину стінки, відносно прямої, що з'єднує крайові точки стінки;

(2) Для поперечних перерізів, що відповідають умовам, зазначеним в (1), розрахункове значення опору поперечним зусиллям підкріпленої стінки може бути визначене множенням розрахункового значення опору відповідної непідкріпленої стінки, отриманого з 8.1.6.2 або 8.1.6.3, відповідно, на коефіцієнт $k_{\mathrm{st,w}}$, взятий з формули (8.50):

$$k_{\mathrm{st,w}} = 1{,}45 - 0{,}05\,\frac{e_{\mathrm{w,max}}}{\mathrm{t}} \quad \text{але} \quad k_{\mathrm{st,w}} \le 0{,}95 + 35000\,\mathrm{t}^2\,\frac{e_{\mathrm{w,min}}}{\left(b_{\mathrm{df}}^2\,s_{\mathrm{pF}}\right)}, \qquad (8.50)$$

де

b_{df} — спрямлена ширина полиці, див. рисунок 8.10;

$e_{\mathrm{w,min}}$ — менший ексцентриситет точок перегину стінки, відносно прямої, що з'єднує крайові точки стінки;

s_{pF} — висота бічної грані плоского елемента стінки, прилеглого до полиці, навантаженої поперечними силами, див. рисунок 8.10;

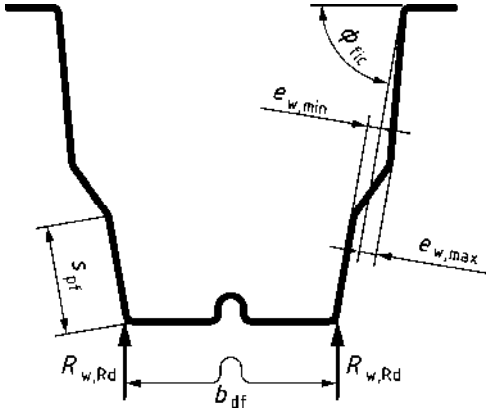


Рисунок 8.10 — Підкріплені стінки

8.1.6.5 *Погонне або зосереджене навантаження на трапецієподібний профільований лист*

(1) Щоб перевірити опір поперечним навантаженням для погонних та зосереджених навантажень на трапецієподібний профільований лист, рекомендовано врахувати характер розподілу навантаження (тут слід розуміти як розподіл навантаження перпендикулярно прогону), при цьому слід розрізняти прямі навантаженням на одне або два сусідніх ребра жорсткості (прямий розподіл навантаження) і непрямий розподіл навантаження (тобто навантаження через несні проміжні системи).

(2) У разі прямого розподілу навантажень без проміжних систем, частку навантаження, що припадає на кожне ребро, під час розрахункової перевірки рекомендовано визначати відповідно до 11.3.1.

(3) Якщо навантаження розподілене через гарячекатані чи

холодноформовані сталеві вироби, дерев'яні або бетонні елементи, рекомендовано проєктувати систему розподілу так, щоб розподіляти навантаження ефективно.

8.1.8 *Спільна дія розтягу та згину*

(1) Поперечні перерізи, на які одночасно діє осьовий розтяг N_{Ed} та згинальні моменти $M_{\mathrm{y,Ed}}$ та $M_{\mathrm{z,Ed}}$ рекомендовано перевіряти на відповідність вимогам формули (8.51):

$$\frac{N_{\mathrm{Ed}}}{N_{\mathrm{t,Rd}}} + \frac{M_{\mathrm{y,Ed}}}{M_{\mathrm{cy,Rd,ten}}} + \frac{M_{\mathrm{z,Ed}}}{M_{\mathrm{cz,Rd,ten}}} \leq 1\,, \qquad (8.51)$$

де

$N_{\mathrm{t,Rd}}$— розрахункове значення опору поперечного перерізу рівномірному розтягу, див. 8.1.2;

$M_{\mathrm{cy,Rd,ten}}$— розрахункове значення опору згинальному моменту поперечного перерізу із застосуванням моменту опору перерізу для розтягнутої сторони, за умови дії лише згинального моменту навколо осі *y-y*, див. 8.1.4.

$M_{\mathrm{cz,Rd,ten}}$ — розрахункове значення опору згинальному моменту поперечного перерізу із застосуванням моменту опору перерізу для розтягнутої сторони, за умови дії лише згинального моменту навколо осі *z-z*, див. 8.1.4.

(2) Якщо $M_{\mathrm{cy,Rd,com}} \leq M_{\mathrm{cy,Rd,ten}}$ або $M_{\mathrm{cz,Rd,com}} \leq M_{\mathrm{cz,Rd,ten}}$, рекомендовано також дотримуватися вимоги формули (8.52):

$$\frac{M_{\mathrm{y,Ed}}}{M_{\mathrm{cy,Rd,com}}} + \frac{M_{\mathrm{z,Ed}}}{M_{\mathrm{cz,Rd,com}}} - \frac{N_{\mathrm{Ed}}}{N_{\mathrm{t,Rd}}} \leq 1\,, \qquad (8.52)$$

де

$M_{\mathrm{cy,Rd,com}}$ — розрахункове значення опору згинальному моменту поперечного перерізу із застосуванням моменту опору перерізу для стиснутої сторони, за умови дії лише згинального моменту навколо осі *y-y*, див. 8.1.4;

$M_{\mathrm{cz,Rd,com}}$ — розрахункове значення опору згинальному моменту

поперечного перерізу із застосуванням моменту опору перерізу для стиснутої сторони, за умови дії лише згинального моменту навколо осі *z*-*z*, див. 8.1.4.

8.1.8 *Спільна дія стиску та згину*

(1) Поперечні перерізи, на які одночасно діє осьовий стиск N_{Ed} та згинальні моменти $M_{\mathrm{y,Ed}}$ та $M_{\mathrm{z,Ed}}$ рекомендовано перевіряти на відповідність вимогам формули (8.53):

$$\frac{N_{\mathrm{Ed}}}{N_{\mathrm{c,Rd}}}+\frac{M_{\mathrm{y,Ed}}+\Delta M_{\mathrm{y,Ed}}}{M_{\mathrm{cy,Rd,com}}}+\frac{M_{\mathrm{z,Ed}}+\Delta M_{\mathrm{z,Ed}}}{M_{\mathrm{cz,Rd,com}}}\leq 1\,, \qquad (8.53)$$

де

$N_{\mathrm{c,Rd}}$ — розрахункове значення опору поперечного перерізу рівномірному стиску, див. 8.1.3;

$M_{\mathrm{cy,Rd,com}}$ — розрахункове значення опору згинальному моменту поперечного перерізу із застосуванням моменту опору перерізу для стиснутої сторони, за умови дії лише згинального моменту навколо осі *y*-*y*, див. 8.1.7(2);

$M_{\mathrm{cz,Rd,com}}$ — розрахункове значення опору згинальному моменту поперечного перерізу із застосуванням моменту опору перерізу для стиснутої сторони, за умови дії лише згинального моменту навколо осі *z*-*z*, див. 8.1.7(2).

(2) Додаткові згинальні моменти $\Delta M_{\mathrm{y,Ed}}$ та $\Delta M_{\mathrm{z,Ed}}$ обумовленні зміщенням головних центральних осей ефективного поперечного перерізу рекомендовано приймати як:

$$\Delta M_{\mathrm{y,Ed}} = N_{\mathrm{Ed}} \cdot e_{\mathrm{Ny}} \qquad (8.54)$$

$$\Delta M_{\mathrm{z,Ed}} = N_{\mathrm{Ed}} \cdot e_{\mathrm{Nz}}\,, \qquad (8.55)$$

де

e_{Ny} і e_{Nz} — зміщення головних центральних осей ефективного поперечного перерізу *y*-*y* та *z*-*z* під дією рівномірного стиску, див. 8.1.3(4).

(2) Якщо $M_{\mathrm{cy,Rd,ten}} \leq M_{\mathrm{cy,Rd,com}}$ або $M_{\mathrm{cz,Rd,ten}} \leq M_{\mathrm{cz,Rd,com}}$, рекомендовано також дотримуватися вимоги формули (8.56):

$$\frac{M_{\mathrm{y,Ed}} + \Delta M_{\mathrm{y,Ed}}}{M_{\mathrm{cy,Rd,ten}}} + \frac{M_{\mathrm{z,Ed}} + \Delta M_{\mathrm{z,Ed}}}{M_{\mathrm{cz,Rd,ten}}} - \frac{N_{\mathrm{Ed}}}{N_{\mathrm{c,Rd}}} \leq 1\,, \qquad (8.56)$$

де

$M_{\mathrm{cy,Rd,ten}}$, $M_{\mathrm{cz,Rd,ten}}$ — розрахункові значення опорів згинальному моменту, визначені в пункті 8.1.7 (1).

(4) Як альтернативу, якщо це доречно, дозволено застосовувати положення 8.2.5 і формули (8.73)—(8.75) з $\chi_{\mathrm{y}} = \chi_{\mathrm{z}} = \chi_{\mathrm{LT}} = 1{,}0$ і $\omega_{\mathrm{x,y}} = \omega_{\mathrm{x,z}} = \omega_{\mathrm{x,LT}} = 1{,}0$.

8.1.9 *Спільна дія осьового зусилля, згинального моменту та зсувного зусилля*

(1) Для двотаврових і аналогічних поперечних перерізів, на які одночасно діє осьове зусилля N_{Ed}, згинальний момент навколо головної осі $M_{\mathrm{y,Ed}}$ та зсувне зусилля V_{Ed}, зменшення розрахункового значення опору для урахування зсувного зусилля не є необхідним за умови, що $V_{\mathrm{Ed}} \leq 0{,}5\ V_{\mathrm{w,Rd}}$.

Якщо $V_{\mathrm{Ed}} > 0{,}5\ \ V_{\mathrm{w,Rd}}$ рекомендовано дотримуватися вимог формули (8.57):

$$\frac{N_{\mathrm{Ed}}}{N_{\mathrm{Rd}}} + \frac{M_{\mathrm{y,Ed}} + \ \Delta M_{\mathrm{y,Ed}}}{M_{\mathrm{cy,Rd}}} + \left(1 - \frac{M_{\mathrm{f,Rd}}}{M_{\mathrm{pl,Rd}}}\right)\left(\frac{2\ V_{\mathrm{Ed}}}{V_{\mathrm{w,Rd}}} - 1\right)^2 \leq 1\,, \qquad (8.57)$$

де

$\Delta M_{\mathrm{y,Ed}}$ — додатковий згинальний момент, обумовлений зміщенням центра ваги ефективного поперечного перерізу відносно центра ваги поперечного перерізу брутто, див. 8.1.8;

N_{Rd} — розрахункове значення опору поперечного перерізу рівномірному розтягу або стиску, див. 8.1.2 або 8.1.3 відповідно;

$M_{\mathrm{cy,Rd}}$ — розрахункове значення опору згинальному моменту поперечного перерізу у разі згинання навколо головної осі із максимальним моментом інерції, див. 8.1.4;

$V_{\mathrm{w,Rd}}$ — розрахункове значення опору зсуву стінки, див. 8.1.5 (2);

$M_{\mathrm{pl,Rd}}$ — розрахунковий опір пластичному згинальному моменту

поперечного перерізу, складеного з ефективних площ полиць і площі брутто стінки;

$M_{\mathrm{f,Rd}}$ — розрахункове значення опору згинальному моменту поперечного перерізу, складеного лише з ефективних площ полиць;

Для елементів і профільованих листів із більше ніж однією стінкою $V_{\mathrm{w,Rd}}$ дорівнює сумі розрахункових значень опорів стінок.

8.1.10 *Спільна дія осьового зусилля, згинального моменту, зсувного зусилля та кручення*

(1) Поздовжні напруження, обумовлені осьовим зусиллям N_{Ed} і згинальними моментами $M_{\mathrm{y,Ed}}$ та $M_{\mathrm{z,Ed}}$ рекомендовано визначати на основі відповідних ефективних поперечних перерізів, розрахованих відповідно до 8.1.2—8.1.4. Якщо центр ваги ефективного поперечного перерізу не збігається з центром ваги поперечного перерізу брутто, то рекомендовано враховувати додаткові згинальні моменти, викликані осьовими зусиллями та зміщенням головних центральних осей e_{Ny} та e_{Nz} (див. 8.1.8 та рисунок 8.1).

(2) Якщо навантаження прикладені до центру зсуву поперечного перерізу з ексцентриситетом, то за центр зсуву, застосовний для визначення впливу крутного моменту, рекомендовано приймати центр поперечного перерізу брутто.

(3) Зсувні напруження, обумовлені поперечними зсувними зусиллями, чи рівномірним крученням (за Сен-Венаном), а також поздовжні напруження і зсувні напруження, обумовлені депланаційним крученням, рекомендовано обчислювати на основі характеристик поперечного перерізу брутто.

(4) Поперечні перерізи, на які діє кручення, рекомендовано перевіряти на відповідність вимогам, зазначеним у формулах (8.58)—(8.60) (що засновані на границі текучості f_{y}, згідно 5.2.2):

$$\frac{\sigma_{\mathrm{tot,Ed}}}{\frac{f_{\mathrm{y}}}{\gamma_{\mathrm{M0}}}} \leq 1 \tag{8.58}$$

$$\frac{\tau_{\mathrm{tot,Ed}}}{\frac{f_{\mathrm{bv}}}{\gamma_{\mathrm{M0}}}} \leq 1 \tag{8.59}$$

$$\frac{\sqrt{\sigma_{\mathrm{tot,Ed}}^2 + \tau_{\mathrm{tot,Ed}}^2 \left(\frac{f_y}{f_{bv}}\right)^2}}{\frac{f_{\mathrm{y}}}{\gamma_{\mathrm{M0}}}} \leq 1{,}1\,, \tag{8.60}$$

де

$\sigma_{\mathrm{tot,Ed}}$ — розрахункове значення сумарного поздовжнього напруження, що виникає в результаті всіх одночасних результуючих напружень, див. (3)(5);

$\tau_{\mathrm{tot,Ed}}$ — розрахункове значення сумарного зсувного напруження, що виникає в результаті всіх одночасних результуючих напружень, обчислених на основі поперечного перерізу брутто, див. (5);

f_{bv} — зсувне напруження у випадку втрати стійкості, що враховує втрату стійкості під час зсуву відповідно до пункту 8.1.5.

(5) Розрахункові значення сумарного поздовжнього напруження $\sigma_{\mathrm{tot,Ed}}$ і сумарного зсувного напруження $\tau_{\mathrm{tot,Ed}}$ рекомендовано визначати наступним чином:

$$\sigma_{\mathrm{tot,Ed}} = \sigma_{\mathrm{N,Ed}} + \sigma_{\mathrm{My,Ed}} + \sigma_{\mathrm{Mz,Ed}} + \sigma_{\mathrm{w,Ed}} \tag{8.61}$$

$$\tau_{\mathrm{tot,Ed}} = \tau_{\mathrm{Vy,Ed}} + \tau_{\mathrm{Vz,Ed}} + \tau_{\mathrm{t,Ed}} + \tau_{\mathrm{w,Ed}}\,, \tag{8.62}$$

де

$\sigma_{\mathrm{My,Ed}}$ — розрахункове значення поздовжнього напруження, обумовленого згинальним моментом $M_{\mathrm{y,Ed}}$ і додатковим згинальним моментом $\Delta M_{\mathrm{y,Ed}}$ спричиненими осьовою силою і зміщенням центру ваги ефективного поперечного перерізу, див. 8.1.8 (на основі ефективного поперечного перерізу);

$\sigma_{\mathrm{Mz,Ed}}$ — розрахункове значення поздовжнього напруження, обумовленого згинальним моментом $M_{\mathrm{z,Ed}}$ і додатковим згинальним

моментом $\Delta M_{\mathrm{z,Ed}}$ спричиненими осьовою силою і зміщенням центру ваги ефективного поперечного перерізу, див. 8.1.8 (на основі ефективного поперечного перерізу);

$\sigma_{\mathrm{N,Ed}}$ — розрахункове значення поздовжнього напруження, обумовленого осьовим зусиллям N_{Ed} (на основі ефективного поперечного перерізу);

$\sigma_{\mathrm{w,Ed}}$ — розрахункове значення поздовжнього напруження, обумовленого депланаційним крученням (на основі ефективного поперечного перерізу);

$\tau_{\mathrm{Vy,Ed}}$ — розрахункове значення зсувного напруження, обумовленого поперечним зсувним зусиллям $V_{\mathrm{y,Ed}}$ (на основі поперечного перерізу брутто);

$\tau_{\mathrm{Vz,Ed}}$ — розрахункове значення зсувного напруження, обумовленого поперечним зсувним зусиллям $V_{\mathrm{z,Ed}}$ (на основі поперечного перерізу брутто);

$\tau_{\mathrm{t,Ed}}$ — розрахункове значення зсувного напруження, обумовленого рівномірним крученням (за Сен-Венаном) (на основі поперечного перерізу брутто);

$\tau_{\mathrm{w,Ed}}$ — розрахункове значення зсувного напруження, обумовленого депланаційним крученням (на основі поперечного перерізу брутто).

8.1.11 *Спільна дія згинального моменту та зосередженого поперечного навантаження або опорної реакції*

(1) Поперечні перерізи, на які одночасно діє згинальний момент M_{Ed} та зосереджене поперечне зусилля чи опорна реакція F_{Ed} рекомендовано перевіряти на відповідність вимогам формул (8.63)—(8.65):

$$\frac{M_{\mathrm{Ed}}}{M_{\mathrm{c,Rd}}} \leq 1 \qquad (8.63)$$

$$\frac{F_{\mathrm{Ed}}}{R_{\mathrm{w,Rd}}} \leq 1 \qquad (8.64)$$

$$\frac{M_{\mathrm{Ed}}}{M_0}+\frac{F_{\mathrm{Ed}}}{R_0}\le 1 \qquad (8.65)$$

із

$$M_0 = 1{,}25\ M_{\mathrm{c,Rd}} \qquad (8.66)$$

$$R_0 = 1{,}25\ R_{\mathrm{w,Rd}}\ , \qquad (8.67)$$

де

$M_{\mathrm{c,Rd}}$ — розрахункове значення опору згинальному моменту поперечного перерізу, див. 8.1.4.1(1);

$R_{\mathrm{w,Rd}}$— розрахункове значення опору стінки поперечним зусиллям, див. 8.1.6.

Примітка. Формули (8.63)—(8.67) графічно представлені на рисунку 8.11.

Для елементів і профільованих листів із більше ніж однією стінкою $R_{\mathrm{w,Rd}}$ дорівнює сумі розрахункових значень опорів окремих стінок поперечним зусиллям.

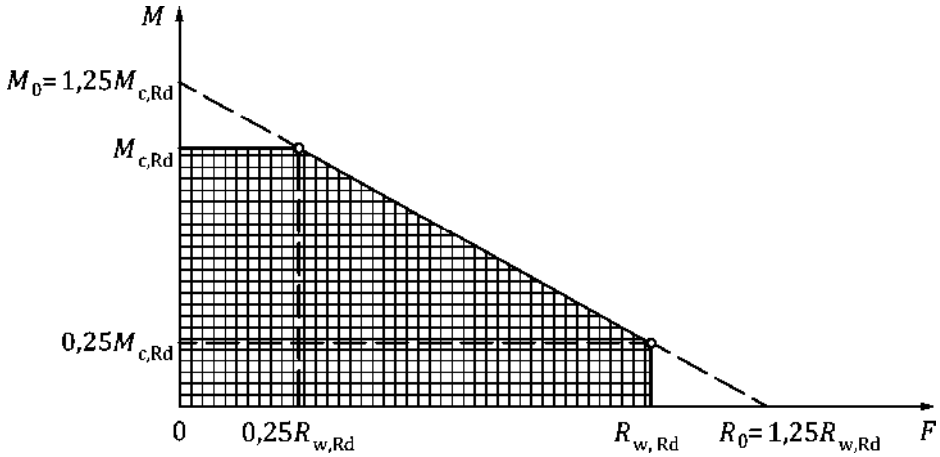


Рисунок 8.11 — Опір спільній дії згинального моменту та зосередженого поперечного навантаження або опорної реакції

8.2 Опір елементів втраті стійкості

8.2.1 *Загальні положення*

(1) В елементах з поперечними перерізами, чутливими до втрати форми поперечного перерізу, рекомендовано враховувати можливу поперечну втрату стійкості стиснутих полиць і бічний згин полиць у цілому.

(2) Вплив місцевої втрати стійкості та втрати стійкості зі зміною форми перерізу рекомендовано враховувати як зазначено у 7.6.

8.2.2 *Згинальна втрата стійкості елементів та профільованого листа під дією стиску*

(1) Розрахункове значення опору втраті стійкості $N_{\mathrm{b,Rd}}$ для згинальної форми втрати стійкості рекомендовано визначати за EN 1993-1-1, користуючись відповідною кривою втрати стійкості з таблиці 8.7 в залежності від типу поперечного перерізу, осі втрати стійкості і границі текучості, див. (3).

(2) Крива втрати стійкості для поперечних перерізів, не наведених в таблиці 8.7, може бути отримана тотожно.

(3) Розрахункове значення опору втраті стійкості холодноформованого поперечного перерізу рекомендовано визначати на основі будь-якого з наступних параметрів:

— відносної гнучкості для згинальної втрати стійкості відповідно до EN 1993-1-1 в поєднанні із середньою границею текучості f_{ya} після холодного формування, визначеної відповідно до 5.2.2, за умови, що $A_{\mathrm{eff}}=A$, див. 5.2.2(4);

— відносної гнучкості для згинальної втрати стійкості відповідно до EN 1993-1-1 в поєднанні із основною границею текучості f_{yb} для усіх інших випадків, див. 5.2.2(1).

8.2.3 *Крутильна та крутильно-згинальна втрата стійкості елементів під дією стиску*

(1) Для елементів з подвійною симетричними або точково-симетричними поперечними перерізами, (наприклад, *Z*-подібних профілів з однаковими полицями) рекомендовано враховувати можливість того, що опір елемента крутильній втраті стійкості може бути менше, ніж його ж опір згинальній втраті стійкості.

(2) Для елементів з моносиметричним поперечним перерізом (див. рисунок 8.12) рекомендовано враховувати можливість того, що опір елемента крутильній або крутильно-згинальній втраті стійкості буде меншим ніж його опір згинальній втраті стійкості.

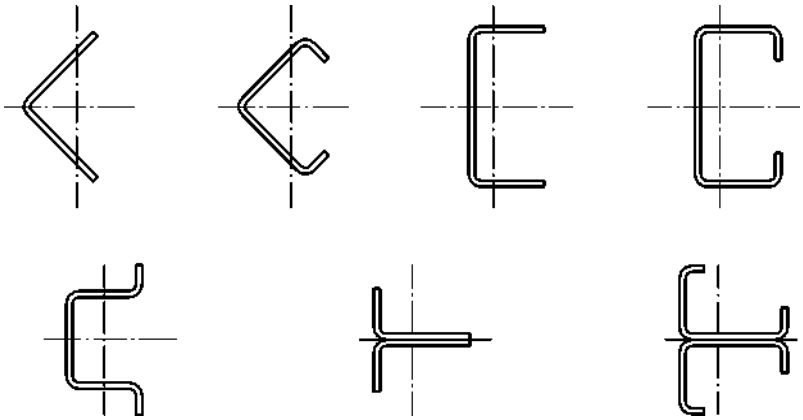
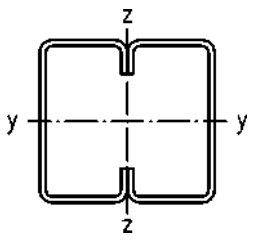


Рисунок 8.12 — Моносиметричні поперечні перерізи, чутливі до крутильно-згинальної втрати стійкості

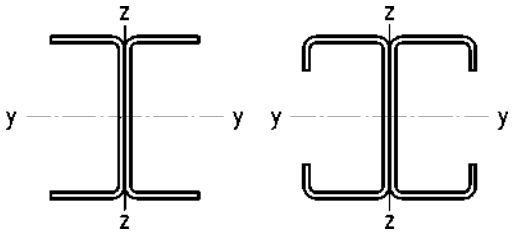
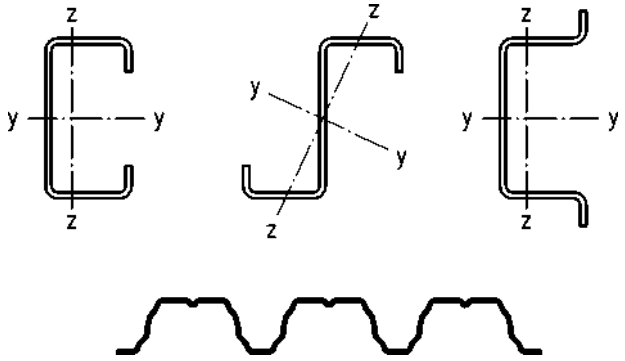
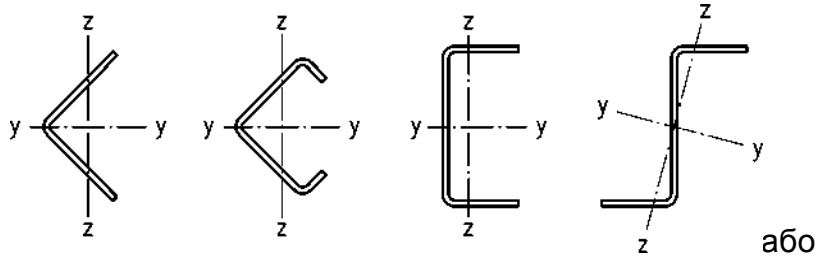
(3) Елементи з асиметричним поперечним перерізом рекомендовано розраховувати на крутильно-згинальну втрату стійкості.

(4) Розрахункове значення опору втраті стійкості $N_{\mathrm{b,Rd}}$ для крутильної або крутильно-згинальної втрати стійкості дозволено отримати зі стандарту EN 1993 -1-1: 2022, 8.3.1.1, із відповідної кривої втрати стійкості навколо осі *z*-*z*, наведеної в таблиці 8.7.

Таблиця 8.7 — Відповідна крива втрати стійкості для різних типів поперечних перерізів

Типи поперечних перерізів	Втрата стійкості навколо осі	Крива втрати стійкості
	будь-якої	b Якщо застосовне значення f_{yb}
	будь-якої	c Якщо застосовне значення f_{ya}

Кінець таблиці 8.7

Типи поперечних перерізів	Втрата стійкості навколо осі	Крива втрати стійкості
	*y-y*	a
	z-z	b
	будь-якої	b
 інший поперечний переріз або	будь-якої	c

(5) Критичне пружне навантаження під час втрати стійкості $N_{\mathrm{cr,T}}$ для крутильної форми втрати стійкості елемента під дією стиску дозволено обчислювати за формулою (8.68):

$$N_{\mathrm{cr,T}} = \frac{1}{i_0^2}\left(G I_{\mathrm{T}} + \frac{\pi^2 E I_{\mathrm{w}}}{l_{\mathrm{cr,T}}^2}\right) \qquad (8.68)$$

із

$$i_0^2 = i_{\mathrm{y}}^2 + i_{\mathrm{z}}^2 + y_0^2 + z_0^2\,, \qquad (8.69)$$

де

G — модуль зсуву;

I_{T} — константа кручення поперечного перерізу брутто;

I_{w} — константа депланації поперечного перерізу брутто;

i_y — радіус інерції поперечного перерізу брутто навколо осі *y-y*;

i_z — радіус інерції поперечного перерізу брутто навколо осі *z-z*;

$l_{cr,T}$ — розрахункова довжина елемента у разі крутильної втрати стійкості;

y_0, z_0 — координати центру зсуву відносно центру ваги поперечного перерізу брутто.

(6) Для подвійно-симетричних або точково-симетричних поперечних перерізів ($y_0 = z_0 = 0$), критичне пружне навантаження під час втрати стійкості N_{cr} дозволено обчислювати за формулою (8.70):

$$N_{cr} = N_{cr,i}\,, \tag{8.70}$$

де

$N_{cr,i}$ — найменше значення з $N_{cr,y}$, $N_{cr,z}$ та $N_{cr,T}$.

(7) Для поперечних перерізів, симетричних щодо осі *y-y* ($z_0 = 0$), критичне пружне навантаження під час втрати стійкості $N_{cr,TF}$ для крутильно-згинальної втрати стійкості дозволено визначати за формулою (8.71):

$$N_{cr,TF} = \frac{N_{cr,y}}{2\beta}\left(1 + \frac{N_{cr,T}}{N_{cr,y}} - \sqrt{\left(1 - \frac{N_{cr,T}}{N_{cr,y}}\right)^2 + 4\left(\frac{y_0}{i_0}\right)^2 \frac{N_{cr,T}}{N_{cr,y}}}\right) \tag{8.71}$$

із

$$\beta = 1 - \left(\frac{y_0}{i_0}\right)^2\,, \tag{8.72}$$

де

$N_{cr,y}$ — критичне пружне навантаження під час втрати стійкості навколо осі *y-y*;

$N_{cr,T}$ — критичне пружне навантаження під час втрати стійкості для крутильної втрати стійкості, див. (5);

y_0, i_0 — встановлено у (5).

Примітка. Критичне пружне навантаження під час втрати стійкості для сталевих поперечних перерізів може бути визначене за CEN/TR 1993-1-103.

(8) Критичну розрахункову довжину $l_{cr,T}$ для крутильної або згинально-

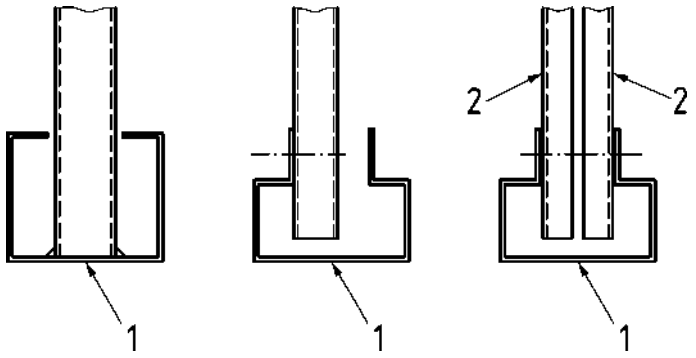
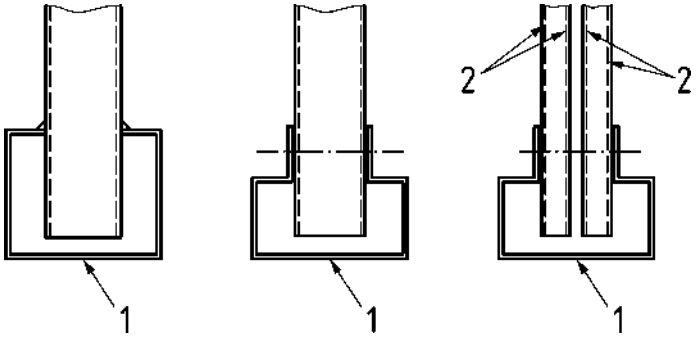
крутильної втрати стійкості рекомендовано визначати з урахуванням ступеня обмеження кручення і викривлення, наявних на кожному кінці довжини L_T.

(9) Значення $l_{cr,T}/L_T$ дозволено приймати наступним:

1,0 для з'єднань, що забезпечують часткове обмеження кручення і депланації, див. таблицю 8.8;

0,7 для з'єднань, що забезпечують суттєве обмеження кручення і депланації, див. таблицю 8.8;

Таблиця 8.8 — Обмеження кручення та депланації, забезпечене з'єднаннями

(a) з’єднання з частковим обмеженням скручування і депланації

(b) з’єднання із значним обмеженням скручування та депланації
Порожнисті профілі або профілі з болтами, що проходять через дві стінки елемента

Умовні познаки: *1* — розглядані колони;   *2* — стінка з'єднаного елемента

8.2.4 *Поперечно--крутильна втрата стійкості елементів під дією згину*

(1) Розрахункове значення опору втраті стійкості елемента під дією

згину, чутливого до поперечнно-крутильної форми втрати стійкості, рекомендовано визначати відповідно до 8.3.2 EN 1993-1-1, за кривою втрати стійкості b.

(2) Цей метод не рекомендовано застосовувати для профілів із суттєвим кутом між головними осями ефективного поперечного перерізу та поперечного перерізу брутто.

8.2.5 *Одночасний згин та осьовий стиск*

(1) Розрахункове значення опору спільній дії осьової сили та згинального моменту дозволено обчислити за результатами розрахунку другого порядку для елемента, як зазначено в EN 1993 -1 -1, на основі характеристик ефективного поперечного перерізу, обчислених за 7.6. Див. також 7.2.

(2) Як альтернативу, до (1), вимоги, зазначені у формулах (8.73) та (8.74), рекомендовано виконувати для кожного поперечного перерізу вздовж елемента:

Для втрати стійкості відносно головної осі із максимальним моментом інерції

$$\left(\omega_{\mathrm{x,y}}\frac{N_{\mathrm{Ed}}}{\chi_{\mathrm{y}}\,N_{\mathrm{c,Rd}}}\right)^{\alpha_{\mathrm{y}}}+\left(\omega_{\mathrm{x,LT}}\,\frac{M_{\mathrm{y,Ed}}+\Delta M_{\mathrm{y,Ed}}}{\chi_{\mathrm{LT}}\,M_{\mathrm{cy,Rd}}}\right)^{\beta_{\mathrm{y}}}+\left(\frac{M_{\mathrm{z,Ed}}+\Delta M_{\mathrm{z,Ed}}}{M_{\mathrm{cz,Rd}}}\right)^{\delta_{\mathrm{y}}}\leq 1\,, \qquad (8.73)$$

Для втрати стійкості відносно головної осі із мінімальним моментом інерції

$$\left(\omega_{\mathrm{x,z}}\frac{N_{\mathrm{Ed}}}{\chi_{\mathrm{z}}\,N_{\mathrm{c,Rd}}}\right)^{\alpha_{\mathrm{z}}}+\left(\omega_{\mathrm{x,LT}}\,\frac{M_{\mathrm{y,Ed}}+\Delta M_{\mathrm{y,Ed}}}{\chi_{\mathrm{LT}}\,M_{\mathrm{cy,Rd}}}\right)^{\beta_{\mathrm{z}}}+\left(\frac{M_{\mathrm{z,Ed}}+\Delta M_{\mathrm{z,Ed}}}{M_{\mathrm{cz,Rd}}}\right)^{\delta_{\mathrm{z}}}\leq 1\,, \qquad (8.74)$$

де

N_{Ed} — розрахункове значення стискального зусилля;

$M_{\mathrm{y,Ed}},\ M_{\mathrm{z,Ed}}$ — розрахункові значення згинальних моментів навколо осей *y-y* та *z-z* по довжині елемента, або, консервативно, максимальнні розрахункові значення обох згинальних моментів (див. Примітку 1);

Для балок-колон із закріпленими кінцями і елементів, на які не діє глобальна втрата стійкості з перекошенням, M_{Ed} — згинальний момент першого порядку;

Для елементів, на які діє глобальна втрата стійкості з перекошенням, M_{Ed} — згинальний момент другого порядку;

$\Delta M_{\mathrm{y,Ed}}$ і $\Delta M_{\mathrm{z,Ed}}$ — розрахункові значення додаткових згинальних моментів $\Delta M_{\mathrm{y,Ed}}$ та $\Delta M_{\mathrm{z,Ed}}$, обумовлених зміщенням головних центральних осей ефективного поперечного перерізу, якщо $A_{\mathrm{eff}} < A,$, див. 8.1.8(2)(для елементів з закріпленими кінцями: $\Delta M_{\mathrm{Ed}} = 0$);

χ_{y}, χ_{z} — понижувальні коефіцієнти для згинальної форми втрати стійкості згідно 8.2.2. У випадку крутильно-згинальної втрати стійкості відповідний понижувальний коефіцієнт для згинальної втрати стійкості χ_{y} або χ_{z} рекомендовано замінити на χ_{TF} згідно 8.2.3;

χ_{LT} — понижувальний коефіцієнт для поперечно-крутильної форми втрати стійкості згідно 8.2.4;

$N_{\mathrm{c,Rd}}$ — розрахункове значення опору поперечного перерізу відповідно до 8.1.3;

$M_{\mathrm{cy,Rd}}$, $M_{\mathrm{cz,Rd}}$ — розрахункові значення опорів згинальному моменту поперечного перерізу навколо осей *y-y* і вісь *z-z* відповідно, згідно 8.1.4;

α_{y}, α_{z}, β_{y}, β_{z}, δ_{y}, δ_{z} — показники ступеня у рівнянні взаємодії, визначеному за таблицею 8.9;

$\omega_{\mathrm{x,y}}$, $\omega_{\mathrm{x,z}}$, $\omega_{\mathrm{x,LT}}$ — коефіцієнти інтерполяції за таблицею 8.10. Залежать від розташування розгляданого поперечного перерізу і враховують відповідний режим втрати стійкості і осьове зусилля або згинальний момент.

Примітка 1. Формули (8.73) і (8.74) зводяться лише до перевірки стійкості елементів, якщо в консервативному варіанті максимальні розрахункові значення стискального зусилля N_{Ed} і максимальні розрахункові значення згинальних моментів $M_{\mathrm{y,Ed}}$, $M_{\mathrm{z,Ed}}$ використані в поєднанні з консервативними значеннями коефіцієнтів інтерполяції $\omega_{\mathrm{x,i}} = 1{,}0$ відповідно до таблиці 8.10.

Примітка 2. Рівняння взаємодії (8.73) і (8.74) також можуть бути застосовані для гарячекатаних і зварних елементів.

Примітка 3. Для холодноформованих двотаврових елементів (наприклад, з двох швелерів, зіставлених стінка до стінки) може бути використане рівняння взаємодії, наведене в EN 1993-1- 1.

(3) Для несиметричних перерізів рекомендовано перевіряти як розтяг так і стиск зігнутих країв, із використанням відповідних розрахункових значень опорів. Якщо опір на розтягнутій стороні менше опору на стиснутій стороні, то залежно від відповідної осі згину також рекомендовано виконуватися вимогу, зазначену у формулі (8.75):

$$\left(\omega_{\mathrm{x,i}}\frac{N_{\mathrm{Ed}}}{\chi_{\mathrm{i}}\,N_{\mathrm{c,Rd}}}-\frac{N_{\mathrm{Ed}}}{N_{\mathrm{c,Rd}}}\right)^{\alpha_{\mathrm{i}}}-\frac{N_{\mathrm{Ed}}}{N_{\mathrm{c,Rd}}}+\left(\frac{M_{\mathrm{y,Ed}}+\Delta M_{\mathrm{y,Ed}}}{M_{\mathrm{cy,Rd}}}\right)^{\beta_{\mathrm{i}}}+\left(\frac{M_{\mathrm{z,Ed}}+\Delta M_{\mathrm{z,Ed}}}{M_{\mathrm{cz,Rd}}}\right)^{\delta_{\mathrm{i}}}\leq 1\,, \quad (8.75)$$

де

$$M_{\mathrm{cy,Rd}} = M_{\mathrm{cy,Rd,ten}}, \text{ див. } 8.1.7 \quad (8.76)$$

$$M_{\mathrm{cz,Rd}} = M_{\mathrm{cz,Rd,ten,}} \text{ див. } 8.1.7 \quad (8.77)$$

$i = y$ або z, залежно від відповідної осі згину.

(4) У разі загальної втрати стійкості з перекошенням, під час використання методу глобального розрахунку ЕМ (див. таблицю 7.1), якщо не розрахована пружна форма перекошення і не визначена відстань x_{S} від відповідного поперечного перерізу до шарнірної опори або точки перегину, коефіцієнти інтерполяції $\omega_{\mathrm{x,i}}$ рекомендовано приймати рівними 1,0, див. рисунок 8.13.

(5) Осі *y-y* та *z-z* є головними. У разі поперечно-крутильної форми втрати стійкості навколо головної осі з мінімальним моментом інерції, вимогу (8.73) також рекомендовано перевіряти із заміненими осями *y-y* та *z-z*.

Таблиця 8.9 — Показники ступеня, застосовні у рівняннях взаємодії (8.73) та (8.74)

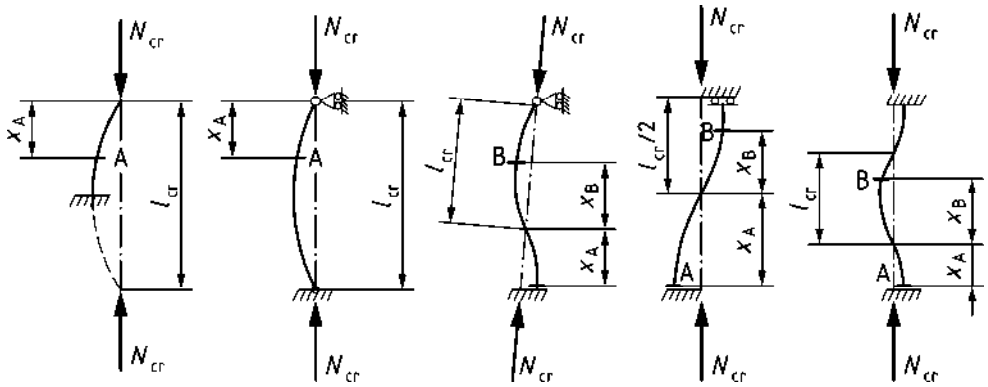
Показники ступеня	Загальні положення (НВП)	Консервативно
α_y [a]	$\chi_y/\omega_{x,y}$ but $\alpha_y, \beta_y, \gamma_y \geq 0{,}85$	0,85
β_y [a]		
δ_y [a]		
α_z [a]	$\chi_z/\omega_{x,z}$ but $\alpha_z, \beta_z, \gamma_z \geq 0{,}85$	0,85
β_z [a]		
δ_z [a]		
[a] У випадку крутильно-згинальної втрати стійкості відповідний понижувальний коефіцієнт для згинальної втрати стійкості χ_y або χ_z рекомендовано замінити на χ_{TF}		

Примітка. Загальні положення щодо показників ступеня холодноформованих профілів наведені в другому стовпці таблиці 8.9, якщо тільки в Національному додатку не встановлено інші значення.

Таблиця 8.10 — Коефіцієнти інтерполяції $\omega_{x,y}$, $\omega_{x,z}$ і $\omega_{x,LT}$

Коефіцієнт	Для конкретного розташування поперечного перерізу вздовж однорідного елемента і спеціальних випадків завантаження		Консервативно для всіх положень поперечного перерізу і для всіх випадків завантаження
$\omega_{x,y}$	Постійне або еквівалентне осьове зусилля $N^{a,b,c}$	$\chi_y + (1-\chi_y)\sin\frac{\pi x_s}{l_{cr,y}}$	1,0
$\omega_{x,z}$		$\chi_z + (1-\chi_z)\sin\frac{\pi x_s}{l_{cr,z}}$	
$\omega_{x,LT}$	Постійний або еквівалентний згинальний момент $M_y^{b,c}$	$\chi_{LT} + (1-\chi_{LT})\sin\frac{\pi x_s}{l_{cr,LT}}$	
де $l_{cr,y}$, $l_{cr,z}$, $l_{cr,LT}$ — розрахункові довжини для відповідних режимів втрати стійкості; x_s (= x_A або x_B) — відстань від розгляданого поперечного перерізу до шарнірної опори або точки перегину в пружній формі вигину відповідної форми втрати стійкості, на основі синусоїдальної форми вигину, приклади див. на рисунку 8.13. Для кінцевих моментів під час одновісного згину без поперечних зусиль ($\lvert M_{Ed,2}\rvert < M_{Ed,1}$, за таких умов значення $M_{Ed,1}$ завжди приймають додатнім) відстань x_s до розрахункового перерізу може бути отримано з:			

Коефіцієнт	Для конкретного розташування поперечного перерізу вздовж однорідного елемента і спеціальних випадків завантаження	Консервативно для всіх положень поперечного перерізу і для всіх випадків завантаження	Коефіцієнт
$$\cos\left(\frac{\pi x_s}{l_{cr}}\right) = \frac{\left(M_{Ed,1} - M_{Ed,2}\right)}{M_{c,Rd}} \cdot \frac{N_{c,Rd}}{N_{Ed}} \cdot \frac{1}{\pi\left(\frac{1}{\chi} - 1\right)} \text{ but } x_s \geq 0$$			
[a] У випадку крутильно-згинальної втрати стійкості відповідний понижувальний коефіцієнт для згинальної втрати стійкості χ_y або χ_z рекомендовано замінити на χ_{TF} [b] Для осьової сили N або згинального моменту M_y, змінних по довжині елемента, коефіцієнти інтерполяції $\omega_{x,y}$, $\omega_{x,z}$ або $\omega_{x,LT}$ рекомендовано консервативно приймати рівними 1,0 біля місць прикладання максимальної осьової сили N або згинального моменту M_y, чи, як альтернативу, рівним 1,0 в місцях максимальних напружень, обчислених за відповідним розрахунком із урахуванням недосконалостей елементів. [c] Тут «еквівалентний» означає: форму епюр нормальної сили і згинального моменту, яка дає результат, близький до синусоїдальної формі втрати стійкості (наприклад, параболічну епюру згинального моменту).			



Примітка. У цих прикладах поперечні перерізи A і B (позначені поперечною лінією) є об'єктами розрахункової перевірки.

Рисунок 8.15 — Розрахункова довжина l_{cr}, та визначення x_s (= x_A або x_B)

8.2.6 *Одночасний згин та осьовий розтяг*

(1) Формули для елементів, на які одночасно діє згин та осьовий стиск, наведені в 8.2.5, застосовні за умови заміни $N_{c,Rd}$ на $N_{t,Rd}$ відповідно до 8.1.2 і використання $\chi_y = \chi_z = \chi_{TF} = 1{,}0$.

9 ГРАНИЧНІ СТАНИ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ ПРИДАТНОСТІ

9.1 Загальні положення

1) Для холодноформованих елементів і профільованих листів також застосовні правила розрахунку за граничними станами експлуатаційної придатності, наведені в EN 1993-1-1.

(2) Для розрахунку за граничними станами експлуатаційної придатності холодноформованих сталевих елементів і профільованих листів рекомендовано враховувати характеристики ефективного поперечного перерізу під дією навантаження до граничного стану експлуатаційної придатності, обчислені за 7.6 за загальним пружним розрахунком. Загальний пластичний розрахунок наведено у 9.2.

(3) Як альтернативу точному обчисленню I_{eff} вздовж елемента за (2), дозволено застосовувати момент інерції $I_{\text{eff,fic}}$ вздовж елемента, обчислений інтерполяцією між значеннями поперечного перерізу брутто і ефективного поперечного перерізу за формулою (9.1):

$$I_{\text{eff,fic}} = I - \frac{\sigma_{\text{gr,ser}}}{\sigma_{\text{com,Ed,ser}}}\left(I - I_{\text{eff}}\left(\sigma_{\text{com,Ed,ser}}\right)\right), \qquad (9.1)$$

де

I — момент інерції поперечного перерізу брутто;

$\sigma_{\text{gr,ser}}$ — максимальне стискальне напруження під дією згину в межах поперечного перерізу у розгляданому граничному стані експлуатаційної придатності, обчислене з урахуванням характеристик поперечного перерізу брутто (додатне у формулі (9.1)).

$\sigma_{\text{com,Ed,ser}}$ — максимальне стискальне напруження під дією згину, що виникає вздовж прогону у розгляданому граничному стані експлуатаційної придатності, обчислене з урахуванням характеристик ефективного поперечного перерізу (додатне у формулі (9.1)).

$I_{\text{eff}}\left(\sigma_{\text{com,Ed,ser}}\right)$ — момент інерції ефективного поперечного перерізу, обчислений на основі $\bar{\lambda}_{\text{p,red}}$ (див. 7.6.2 (5)) для максимального a maximum напруження $\sigma_{\text{com,Ed,ser}} = \sigma_{\text{eff,ser}} \geq \sigma_{\text{gr,ser}}$ та з $\sigma_{\text{eff,ser}} \leq f_{\text{yb}}$.

(4) Момент інерції ефективного перерізу I_{eff} згідно (2) або $I_{\text{eff,fic}}$ згідно (3) дозволено приймати як змінний уздовж елемента. Консервативно

момент інерції ефективного перерізу I_{eff} або $I_{\text{eff,fic}}$ дозволено приймати постійним вздовж прогону елемента і рівним (за модулем) значенню максимального моменту у прогоні від навантаження для перевіряння експлуатаційної придатності.

9.2 Пластична деформація

(1) Для виконання загального пластичного розрахунку рекомендовано щоб комбінація опорного моменту M_{Ed} і опорної реакції F_{Ed} на внутрішній зоні обпирання, розрахованих для граничного стану експлуатаційної придатності для характеристичної комбінації дій, задовольняла критеріям, зазначеним у формулах (9.2), (9.3) і (9.4):

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Cd}} \leq 0{,}9 \tag{9.2}$$

$$\frac{F_{Ed}}{R_{w,Cd}} \leq 0{,}9 \tag{9.3}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_0} + \frac{F_{Ed}}{R_0} \leq 0{,}9\,, \tag{9.4}$$

де:

$$M_0 = 1{,}25\, M_{c,Cd} \tag{9.5}$$

$$R_0 = 1{,}25\, R_{w,Cd} \tag{9.6}$$

де

$M_{c,Cd}$ — розрахункове значення опору згинальному моменту поперечного перерізу, обчислене на основі характеристичних значень опору згинальному моменту у граничному стані за несною здатністю, див. 8.1.4.1(1), але визначене з використанням $\gamma_{\text{M,ser}}$, див. 4.2(4);

$R_{w,Cd}$ — це розрахункове значення опору поперечним зусиллям у стінці, обчислене на основі характеристичних значень опору поперечним зусиллям у граничному стані за несною здатністю, див. 8.1.6, але визначене з використанням $\gamma_{\text{M,ser}}$, див. 4.2(4)..

(2) Розрахункове значення опору згинальному моменту $M_{c,Cd}$ також дозволено обчислювати з використанням ефективного поперечного

перерізу для граничного стану за експлуатаційною придатністю на основі $\sigma_{com,Ed}$ для характеристичної комбінації дій, див. 9.1(2) та 7.6.

9.3 Прогини

(1) Прогини дозволено розраховувати на основі припущення щодо пружної поведінки конструкції.

(2) Для визначення прогинів, зусиль і моментів необхідно враховувати вплив проковзування у з'єднаннях (наприклад, у жорстких балочних системах із з'єднаннями внапусток і на накладках).

9.4 Витримування навантаження від пішохода трапецієподібним профільованим листом

9.4.1 Витримування навантаження від пішохода під час монтажу

(1) Під час монтажу, тобто поки профільований лист не закріплений повністю або тимчасово, по ньому можна ходити тільки для виконання необхідних робіт, наприклад, пов'язаних із встановленням покрівлі.

(2) Якщо не вказано інакше, у стандарті EN 1090-4 наведено практичні рекомендації щодо забезпечення витримування навантаження від пішохода застосуванням заходів для розподілення навантаження.

(3) Якщо ширина профільованого листа не перевищує граничного значення $L_{\lim}$, визначеного за результатами випробувань відповідно до A.5.6, то заходи щодо розподілення навантаження дозволено не вживати.

9.4.2 Витримування навантаження від пішохода після монтажу

(1) Після завершення монтажних робіт по профільованому листу дозволено пересуватися тільки поодинці з метою його технічного обслуговування і чищення.

(2) Якщо не вказано інше, ходити по профільованому листу рекомендовано лише після вживання заходів щодо розподілу навантаження, див. EN 1090-4.

(3) Якщо ширина профільованого листа не перевищує граничного значення L_{lim}, визначеного за результатами випробувань відповідно до А.5.6, то заходи щодо розподілення навантаження дозволено не вживати.

Примітка. Це відповідає застосованому навантаженню Q_{k}=1 кН згідно EN 1991-1-1, Категорія H.

(4) Для профільованого листа, що не переривається над опорами, заходи щодо розподілення навантаження дозволено не вживати, якщо довжина прогонів листового матеріалу на 25% перевищує граничні значення, визначені під час випробувань однопрогонових зразків.

(5) Слід обладнати містки для доступу до блоків, які потребують регулярного технічного обслуговування, або до експлуатаційних елементів (наприклад, димоходів, опалювальних установок та фотоелектричних панелей).

10 ПРОЄКТУВАННЯ ВУЗЛІВ

10.1 Загальні положення

(1) Розрахункові припущення і загальні правила для з'єднань елементів наведено в стандарті EN 1993-1-8.

(2) Для зварних з'єднань, за винятком точкових і виконаних внапусток зварних швів з товщиною основи $t_{\mathrm{cor}} \leq 4$ мм, застосовний в EN 1993-1-8.

10.2 Зрощення та кінцеві з'єднання стиснутих елементів

(1) Зрощення та кінцеві з'єднання стиснутих елементів рекомендовано приймати з таким самим розрахунковим опором як у поперечного перерізу елемента, або розраховувати на опір додатковому згинальному моменту, обумовленому впливами другого порядку всередині елемента, на додачу до внутрішнього стискального зусилля N_{Ed} і до внутрішніх моментів $M_{\mathrm{y,Ed}}$ та $M_{\mathrm{z,Ed}}$, обчислених в результаті загального розрахунку.

(2) За відсутності розрахунку другого порядку, розрахункове значення

згинального моменту другого порядку рекомендовано приймати за формулою (10.1):

$$M_{\mathrm{II,i,Ed}} = M_{\mathrm{i,Rd}}\left(U_{\mathrm{i}}(x_{\mathrm{s}}) - \left(\frac{N_{\mathrm{Ed}}}{N_{\mathrm{Rd}}}\right)^{\alpha_{\mathrm{i}}}\right)^{1/\delta_{\mathrm{i}}}, \qquad (10.1)$$

де

i — *y* або *z* залежно від осі згину;

$U_{\mathrm{i}}\ (\mathrm{x_s})$ — коефіцієнт використання зрощування або кінцевого вузла відповідно до перевірки елемента у 8.2.5;

із

$$U_{\mathrm{i}}(x_{\mathrm{s}}) = \left(\omega_{\mathrm{x,i}}\frac{N_{\mathrm{Ed}}}{\chi_{\mathrm{i}}\,N_{\mathrm{c,Rd}}}\right)^{\alpha_{\mathrm{i}}} + \left(\frac{M_{\mathrm{i,Ed}}}{M_{\mathrm{i,Rd}}}\right)^{\delta_{\mathrm{i}}} \leq 1 \qquad (10.2)$$

Застосовані у формулі (10.2) параметри визначено у 8.2.5(2).

Зсувні зусилля також дозволено обчислювати за формулою (10.1) за умови застосування V замість M.

(3) Стики і кінцеві з'єднання рекомендовано проєктувати так, щоб навантаження могло передаватися на ефективні ділянки поперечного перерізу.

(4) Якщо конструктивні особливості на кінцях елементів не дозволяють чітко визначити лінію дії внутрішнього осьового зусилля, необхідно встановити можливий ексцентриситет його дії і врахувати в розрахунку елементів, кінцевих з'єднань та зрощень результуючі згинальні моменти.

10.3 З'єднання механічними кріпильними виробами

(1) Рекомендовано, щоб з’єднання на механічних кріпильних виробах були компактними. Розташування механічних кріпильних виробів рекомендовано приймати таким, щоб забезпечувати достатній простів для належного їх встановлення в процесі монтажу або ремонту.

Примітка. Додаткову інформацію щодо цих вимог наведено у EN 1993-1-8 .

(2) Зсувні зусилля в окремих механічних кріпильних виробах

з'єднання дозволено вважати рівними за умови, що:

— механічні кріпильні елементи мають достатню пластичність (див. умови таблиць 10.2-10.5);

— зріз для кріпильних виробів не є критичною формою руйнування.

3) Під час визначення розрахункових значень опорів кріпильних елементів, на які, здебільшого, діють статичні навантаження, рекомендовано дотримуватися вказівок:

— таблиці 10.2 для глухих заклепок;

— таблиці 10.3 для самонарізувальних гвинтів;

— таблиці 10.4 для порохових дюбелів;

— таблиці 10.5 для болтів.

Для визначення розрахункових значень опору механічних кріпильних виробів за результатами випробувань див. 12 і додаток А.

Примітка. Додаткову інформацію щодо розрахункового опору кріпильних елементів може бути наведено в Національному додатку, як зазначено в таблицях 10.2-10.5.

(4) У таблицях 10.2—10.5 значення символів такі:

A_s — площа кріпильного виробу для розрахунку на розтяг;

A_{net} — площа поперечного перерізу нетто з'єднаної частини;

$A_{net,I}$ — площа поперечного перерізу нетто складника I безпосередньо під головкою кріпильного виробу (обтискна головка для глухих заклепок);

$A_{net,II}$ — площа нетто поперечного перерізу складника II (зазвичай несної конструкції);

β_{Lf} — понижувальний коефіцієнт для довгих з'єднань відповідно до EN 1993 -1 -8;

d — номінальний діаметр кріпильного виробу;

d_o — номінальний діаметр отвору для кріпильного виробу;

d_w — діаметр шайби або головки кріпильного виробу;

e_1— відстань від кінця виробу, виміряна між центром кріпильного

елемента та ближчим кінцем приєднаної частини у напрямку передавання навантаження, див. рисунок 10.1;

e_2— відстань від краю виробу, виміряна між центром кріпильного елемента та ближчим краєм приєднаної частини у напрямку перпендикулярному до напрямку передавання навантаження, див. рисунок 10.1;

f_{ub} — гранична міцність на розтяг матеріалу кріпильного виробу;

$f_{u,I}$ — для кріплень на заклепках, самонарізувальних гвинтах або порохових дюбелях чи болтах: гранична міцність на розтяг складника I безпосередньо під головкою кріпильного виробу (обтискна головка для глухих заклепок);

$f_{u,II}$ — для кріплень на заклепках, самонарізувальних гвинтах, порохових дюбелях або болтах: гранична міцність на розтяг складника II (зазвичай це опорна конструкція);

f_u — для болтових або зварних з'єднань: гранична міцність на розтяг матеріалу опорного елемента, до якого кріпиться болт або приварюється зварний шов;

n_s — кількість листів, прикріплених до опорного елемента одним і тим самим гвинтом або штифтом;

n_f — кількість механічних кріпильних виробів в одному з'єднанні;

p_1 — проміжок між центрами кріпильних виробів у напрямку передавання навантаження, див. рисунок 10.1;

p_2 — проміжок між центрами кріпильних виробів у напрямку перпендикулярному до напрямка передавання навантаження, див. рисунок 10.1;

t_I — для кріплень на заклепках, самонарізувальних гвинтах або порохових дюбелях: товщина складника I безпосередньо під головкою кріпильного елемента (обтискна головка для глухих заклепок);

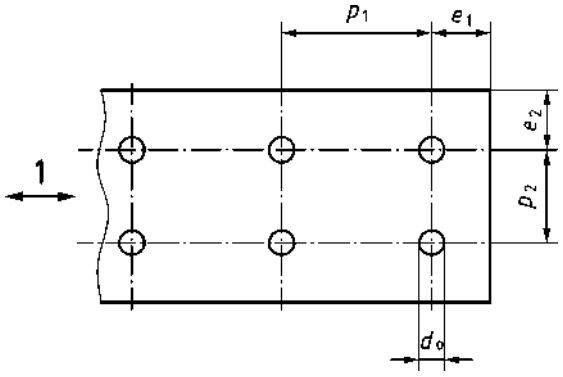
t_{II} — для кріплень на заклепках, самонарізувальних гвинтах або порохових дюбелях: товщина складника II (зазвичай це опорна

конструкція);

t — для болтових або зварних з'єднань: розрахункова товщина сталі після холодного формування без урахування металевого та органічного покриву;

s — крок нарізі.

(5) Частковий коефіцієнт γ_{M} для обчислення розрахункового значення опорів механічних кріпильних виробів рекомендовано приймати рівним γ_{M2}, див. 4 (3).



Умовні познаки:

1 — напрямок передавання навантаження

Рисунок 10.1 — Відстані від кінця елемента, від краю виробу та проміжки між кріпильними елементами та точковими зварними швами

(6) Якщо розрахункове значення опору висмикуванню $F_{\mathrm{o,Rd}}$ кріпильного виробу менше його розрахункового значення опору продавлюванню $F_{\mathrm{p,Rd}}$, то деформаційну здатність кріплення рекомендовано визначити за результатами випробувань.

(7) Якщо кріпильні вироби розташовані не по центру жолобів профільованого листа, розрахункове значення опору продавлюванню, зазначене в таблицях 10.2—10.4 для заклепок, самонарізувальних гвинтів і порохових дюбелів, рекомендовано зменшувати відповідно до таблиці 10.1.

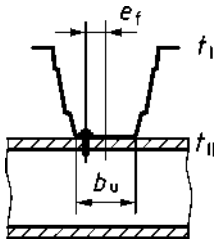
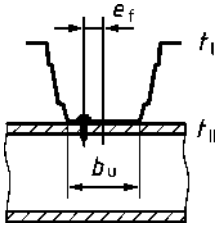
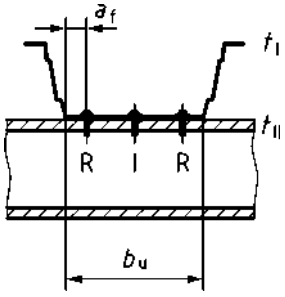
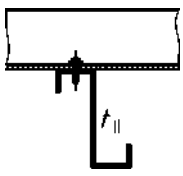
(8) Опір кріпильного виробу спільній дії зсуву і розтягу дозволено перевіряти за критерієм, наведеним у формулі (10.3):

$$\frac{F_{\mathrm{t,Ed}}}{\min\left(F_{\mathrm{p,Rd}}, F_{\mathrm{o,Rd}}\right)} + \frac{F_{\mathrm{v,Ed}}}{\min\left(F_{\mathrm{b,Rd}}, F_{\mathrm{n,Rd}}\right)} \leq 1\,, \qquad (10.3)$$

де

$F_{\mathrm{p,Rd}}$, $F_{\mathrm{o,Rd}}$, $F_{\mathrm{b,Rd}}$ і $F_{\mathrm{n,Rd}}$ — розрахункові значення опорів кріплення, обчислені за таблицями 10.2— 10.5.

Таблиця 10.1 — Кріпильні вироби розташовані не по центру жолобів профільованого листа

Випадок	Вимоги	Понижувальний коефіцієнт
	$b_u \leq 150$ мм	1,0 якщо $e_f \leq b_u/4$ 0,9 якщо $e_f > b_U/4$
	150 мм < $b_u \leq 265$ мм	0,5 якщо $0 < e_f \leq b_u/4$ 0,7 якщо $b_u/4 < e_f \leq b_u/2$
	якщо $b_u > 265$ мм, Необхідно не менше двох кріпильних виробів	Для кріпильних виробів I та R: I: 0,0 R: 0,7 якщо $a_f \leq 75$ мм R: 0,35 якщо $a_f > 75$ мм
	Поперечні перерізи, такі як Z-, C- або Σ-подібні	Див. 11.1.6 для обчислення зусиль в кріпильних виробах

Впливом зміни форми перерізу дозволено нехтувати за умови, що розрахункове значення опору кріпильних елементів визначене за таблицями 10.2—10.5 і кріплення виконано через полицю шириною не більше ніж 150 мм.

(10) Рекомендований діаметр отворів для гвинтів має відповідати

технічним умовам виробника. Такі умови рекомендовано базувати на таких критеріях:

— прикладений крутний момент рекомендовано приймати більшим за момент нарізання різьби;

— прикладений крутний момент рекомендовано приймати меншим за момент зриву різьби чи момент зрізу голівки;

— крутний момент рекомендовано приймати меншим за 2/3 моменту зрізу голівки.

(11) Для протяжних вузлів рекомендовано застосовувати понижувальний коефіцієнт β_{Lf} за EN 1993-1-8:2024, 5.7.3.

(12) Ці правила розрахунку глухих заклепок застосовні у випадках, коли діаметр отвору перевищує діаметр заклепки не більше ніж на 0,1 мм.

(13) Для з'єднань на болтах M12 і M14, коли діаметр отворів на 2 мм більше діаметру болтів, правила наведені в EN 1993-1-8.

Таблиця 10.2 — Розрахункові значення опорів глухих заклепок

Заклепки що працюють на зсув: [a]

Несна здатність

$$F_{\mathrm{b,Rd}} = \frac{\alpha_{\mathrm{r}}\, d\, t_{\mathrm{I}}\, f_{\mathrm{u,I}}}{\gamma_{\mathrm{M2}}} \quad \text{, але} \quad F_{\mathrm{b,Rd}} \le \frac{e_1\, t_{\mathrm{I}}\, f_{\mathrm{u,I}}}{1{,}2\, \gamma_{\mathrm{M2}}}$$

Де значення α_{r} приймають так:

— якщо $t_{\mathrm{I}} = t_{\mathrm{II}}$: $\alpha_{\mathrm{r}} = 3{,}6\sqrt{t_{\mathrm{I}}/d}$, але $\alpha_{\mathrm{r}} \le 2{,}1$

— якщо $t_{\mathrm{II}} \ge 2{,}5\ t_{\mathrm{I}}$: $\alpha_{\mathrm{r}} = 2{,}1$

— якщо $t_{\mathrm{I}} < t_{\mathrm{II}} < 2{,}5\ t_{\mathrm{I}}$: α_{r} рекомендовано обчислювати лінійною інтерполяцією.

Опір перерізу нетто:

$$F_{\mathrm{n,Rd}} = \min\left(\frac{A_{\mathrm{net,I}}\, f_{\mathrm{u,I}}}{\gamma_{\mathrm{M2}}}; \frac{A_{\mathrm{net,II}}\, f_{\mathrm{u,II}}}{\gamma_{\mathrm{M2}}}\right)$$

Опір зсуву:

Опір зсуву $F_{\mathrm{v,Rk}}$ або $F_{\mathrm{v,Rd}}$ визначають за результатами випробувань і $F_{\mathrm{v,Rd}} = \frac{F_{\mathrm{v,Rk}}}{\gamma_{\mathrm{M2}}}$

Умови: [d] $F_{\mathrm{v,Rd}} \ge 1{,}2\, \frac{F_{\mathrm{b,Rd}}}{n_{\mathrm{f}}\, \beta_{\mathrm{Lf}}}$ або $\sum F_{\mathrm{v,Rd}} \ge 1{,}2\, F_{\mathrm{n,Rd}}$

Кінець таблиці 10.2

Заклепки, що працюють на розтяг: [b]

Опір продавлюванню:	Опір продавлюванню $F_{p,Rk}$ або $F_{p,Rd}$ визначають за результатами випробувань.	
Опір висмикуванню:	Опір висмикуванню $F_{o,Rk}$ або $F_{o,Rd}$ визначають за результатами випробувань.	
Опір розтягу:	Опір розтягу $F_{t,Rk}$ або $F_{t,Rd}$ визначають за результатами випробувань.	
Умови: [d]	$F_{t,Rd} \geq F_{p,Rd}$ або $F_{t,Rd} \geq F_{o,Rd}$	
Сфера застосування: [c]		
$e_1 \geq 1{,}5\ d$	$p_1 \geq 3\ d$	2,6 мм ≤ d ≤ 6,4 мм
$e_2 \geq 1{,}5$	$p_2 \geq 3\ d$	f_u ≤ 550 Н/мм^2

[a] Передбачається, що заводська головка глухої заклепки розташована над найтоншим листом, тобто $t_I \leq t_{II}$. У противному разі Під час розрахунку рекомендовано приймати $t_I = t_{II}$.

[b] Глухі заклепки зазвичай не працюють на розтяг.

[c] Сферу застосування глухих заклепок дозволено розширити, якщо їх опір визначено за результатами випробувань.

[d] Ці умови рекомендовано застосовувати для забезпечення достатньої деформаційної здатності з'єднань. Якщо умови не виконано, рекомендовано підтвердити, що деформаційну здатність буде забезпечено іншими частинами конструкції.

Примітка 1. Відповідно до таблиці 10.2 опір глухих заклепок, що працюють на зсув, а також опір продавлюванню, висмикуванню і розтягуванню глухих заклепок, що працюють на розтяг, визначають за результатами випробувань, якщо в Національному додатку не міститься додаткової інформації.

Таблиця 10.3 — Розрахункові значення опорів самонарізувальних гвинтів

Гвинти, що працюють на зсув: [a]

Несна здатність

$$F_{b,Rd} = \frac{\alpha_{sc}\ d\ t_I\ f_{u,I}}{\gamma_{M2}}$$

Де значення α_{sc} приймають так:

— якщо $t_I = t_{II}$:	$\alpha_{sc} = \alpha_1 = 3{,}2\sqrt{t_I/d}$	але $\alpha_{sc} \leq 1{,}7$
— якщо $t_{II} \geq 2{,}5\ t_I$:	$\alpha_{sc} = \alpha_{2,5} = 1{,}7$	
— якщо $t_I < t_{II} < 2{,}5\ t_I$:	$\alpha_{sc} = \left(\alpha_1 + \frac{1}{1{,}5}(\alpha_{2,5} - \alpha_1)\left(\frac{t_{II}}{t_I} - 1\right)\right)\left(\frac{t_I + t_{II}}{2\ t_I}\right)$	але $\alpha_{sc} \leq \alpha_{2,5} = 1{,}7$

Кінець таблиці 10.3

Опір перерізу нетто:	$F_{\mathrm{n,Rd}} = \min\left(\frac{A_{\mathrm{net,I}}\, f_{\mathrm{u,I}}}{\gamma_{\mathrm{M2}}}; \frac{A_{\mathrm{net,II}}\, f_{\mathrm{u,II}}}{\gamma_{\mathrm{M2}}}\right)$		
Опір зсуву:	Опір зсуву $F_{\mathrm{v,Rk}}$ або $F_{\mathrm{v,Rd}}$ визначають за результатами випробувань та $F_{\mathrm{v,Rd}} = \frac{F_{\mathrm{v,Rk}}}{\gamma_{\mathrm{M2}}}$		
Умови: [d]	$F_{\mathrm{v,Rd}} \geq 1{,}2\, F_{\mathrm{b,Rd}}$ або $\Sigma F_{\mathrm{v,Rd}} \geq 1{,}2 F_{\mathrm{n,Rd}}$		
Гвинти, що працюють на розтяг: [a]			
Опір продавлюванню: [b]			
— для статичних навантажень:	$F_{\mathrm{p,Rd}} = \frac{d_{\mathrm{w}}\, t_{\mathrm{I}}\, f_{\mathrm{u,I}}}{\gamma_{\mathrm{M2}}}$		
— для гвинтів, на які діють вітрові навантаження, або поєднання вітрових і статичних навантажень:			
	$F_{\mathrm{p,Rd}} = \frac{0{,}67\, d_{\mathrm{w}}\, t_{\mathrm{I}}\, f_{\mathrm{u,I}}}{\gamma_{\mathrm{M2}}}$		
Опір висмикуванню:			
— якщо $t_{\mathrm{II}}/s < 1$:	$F_{\mathrm{o,Rd}} = \frac{0{,}45\, d\, t_{\mathrm{II}}\, f_{\mathrm{u,II}}}{\gamma_{\mathrm{M2}}}$		
— якщо $t_{\mathrm{II}}/s \geq 1$:	$F_{\mathrm{o,Rd}} = \frac{0{,}65\, d\, t_{\mathrm{II}}\, f_{\mathrm{u,II}}}{\gamma_{\mathrm{M2}}}$		
Опір розтягу:	Опір розтягу $F_{\mathrm{t,Rk}}$ або $F_{\mathrm{t,Rd}}$ визначають за результатами випробувань.		
Умови: [d]	$F_{\mathrm{t,Rd}} \geq F_{\mathrm{p,Rd}}$ або $F_{\mathrm{t,Rd}} \geq F_{\mathrm{o,Rd}}$		
Сфера застосування: [c]			
Загальні:	$e_1 \geq 3\, d$	$p_1 \geq 3\, d$	$3{,}0$ мм $\leq d \leq 8{,}0$ мм
	$e_2 \geq 1{,}5\, d$	$p_2 \geq 3\, d$	$f_{\mathrm{u}} \leq 550$ Н/мм^2
Для розтягу:	$0{,}5$ мм $\leq t_{\mathrm{I}} \leq 1{,}5$ мм	та	$t_{\mathrm{II}} \geq 0{,}9$ мм

[a] Передбачається, що головка гвинта розташована над найтоншим листом, тобто $t_{\mathrm{I}} \leq t_{\mathrm{II}}$. В противному випадку $t_{\mathrm{I}} = t_{\mathrm{II}}$ рекомендовано передбачати під час проєктування.

[b] Ці значення підтверджують, що шайба має достатню жорсткість, щоб запобігти її значній деформації та/або відриву головки кріпильного виробу.

[c] Сферу застосування гвинтів дозволено розширити, якщо їх опір визначено за результатами випробувань.

[d] Ці умови рекомендовано застосовувати для забезпечення достатньої деформаційної здатності з'єднань. Якщо умови не виконано, рекомендовано підтвердити, що деформаційну здатність буде забезпечено іншими частинами конструкції.

Примітка 2. Відповідно до таблиці 10.3 опір самонарізувальних гвинтів, що працюють на зсув, а також опір розтягу самонарізувальних гвинтів, що працюють на розтяг, визначають за результатами випробувань, якщо в Національному додатку не міститься додаткової інформації.

Таблиця 10.4 — Розрахункові значення опорів порохових дюбелів

Дюбелі, що працюють на зсув:

Несна здатність

$$F_{\mathrm{b,Rd}} = \frac{3{,}2\ d\ t_{\mathrm{I}}\ f_{\mathrm{u,I}}}{\gamma_{\mathrm{M2}}}$$

Опір перерізу нетто:

$$F_{\mathrm{n,Rd}} = \min\left(\frac{A_{\mathrm{net,I}}\ f_{\mathrm{u,I}}}{\gamma_{\mathrm{M2}}}; \frac{A_{\mathrm{net,II}}\ f_{\mathrm{u,II}}}{\gamma_{\mathrm{M2}}}\right)$$

Опір зсуву:

Опір зсуву $F_{\mathrm{v,Rk}}$ або $F_{\mathrm{v,Rd}}$ визначають за результатами випробувань і $F_{\mathrm{v,Rd}} = \frac{F_{\mathrm{v,Rk}}}{\gamma_{\mathrm{M2}}}$

Умови: [c] $F_{\mathrm{v,Rd}} \geq 1{,}5\ F_{\mathrm{b,Rd}}$ або $\Sigma\ F_{\mathrm{v,Rd}} \geq 1{,}5\ F_{\mathrm{n,Rd}}$

Дюбелі, що працюють на розтяг:

Опір продавлюванню: [a]

для статичних навантажень: $F_{\mathrm{p,Rd}} = \frac{d_{\mathrm{w}}\ t_{\mathrm{I}}\ f_{\mathrm{u,I}}}{\gamma_{\mathrm{M2}}}$

для вітрових навантажень, або поєднання вітрових і статичних навантажень: $F_{\mathrm{p,Rd}} = \frac{0{,}5\ d_{\mathrm{w}}\ t_{\mathrm{I}}\ f_{\mathrm{u,I}}}{\gamma_{\mathrm{M2}}}$

Опір висмикуванню:

Опір висмикуванню $F_{\mathrm{o,Rk}}$ або $F_{\mathrm{o,Rd}}$ визначають за результатами випробувань

Опір розтягу:

Опір розтягу $F_{\mathrm{t,Rk}}$ або $F_{\mathrm{t,Rd}}$ визначають за результатами випробувань

Умови: [c] $F_{\mathrm{o,Rd}} \geq F_{\mathrm{p,Rd}}$ або $F_{\mathrm{t,Rd}} \geq F_{\mathrm{o,Rd}}$

Сфера застосування: [b]

Загальні:	$e_1 \geq 4{,}5\ d$	3,7 мм ≤ d ≤ 6,0 мм
	$e_2 \geq 4{,}5\ d$	for d = 3,7 мм: $t_{\mathrm{II}} \geq$ 4,0 мм
	$p_1 \geq 4{,}5\ d$	for d = 4,5 мм: $t_{\mathrm{II}} \geq$ 6,0 мм
	$p_2 \geq 4{,}5\ d$	for d = 5,2 мм: $t_{\mathrm{II}} \geq$ 8,0 мм
	$f_{\mathrm{u}} \leq$ 550 Н/мм^2	
Для розтягу:	0,5 мм ≤ $t_{\mathrm{I}} \leq$ 1,5 мм	$t_{\mathrm{II}} \geq$ 6,0 мм

[a] Ці значення підтверджують, що шайба має достатню жорсткість, щоб запобігти її значній деформації та/або відриву головки кріпильного виробу.

[b] Сферу застосування порохових дюбелів дозволено розширити, якщо їх опір визначено за результатами випробувань.

[c] Ці умови рекомендовано застосовувати для забезпечення достатньої деформаційної здатності з'єднань. Якщо умови не виконано, рекомендовано підтвердити, що деформаційну здатність буде забезпечено іншими частинами конструкції.

Примітка 3. Відповідно до таблиці 10.4 опір порохових дюбелів, що працюють на зсув, а також опір висмикуванню і розтягуванню порохових дюбелів, що працюють на розтяг, визначають за результатами випробувань, якщо в Національному додатку не міститься додаткової інформації.

Таблиця 10.5 — Розрахункові значення опорів болтів

Болти, що працюють на зсув: [a]

Несна здатність [b]

$$F_{\mathrm{b,Rd}} = \min\left(\frac{2{,}5\ \alpha_{\mathrm{b}}\ k_{\mathrm{tI}}\ d\ t_{\mathrm{I}}\ f_{\mathrm{u,I}}}{\gamma_{\mathrm{M2}}};\ \frac{2{,}5\ \alpha_{\mathrm{b}}\ k_{\mathrm{tII}}\ d\ t_{\mathrm{II}}\ f_{\mathrm{u,II}}}{\gamma_{\mathrm{M2}}}\right)$$

де

α_{b} менше з 1,0 чи $e_1/(3d)$;

$k_{\mathrm{tI}} = (0{,}8\ t_{\mathrm{I}} + 1{,}5)/2{,}5$ for 0,75 мм ≤ t_{I} ≤ 1,25 мм;

$k_{\mathrm{tI}} = 1{,}0$ для $t_{\mathrm{I}} > 1{,}25$ мм

$k_{\mathrm{tII}} = (0{,}8\ t_{\mathrm{II}} + 1{,}5)/2{,}5$ for 0,75 мм ≤ t_{II} ≤ 1,25 мм;

$k_{\mathrm{tII}} = 1{,}0$ для $t_{\mathrm{II}} > 1{,}25$ мм

Опір перерізу нетто:

$$F_{\mathrm{n,Rd}} = \min\left(\frac{A_{\mathrm{net,I}} f_{\mathrm{u,I}}}{\gamma_{\mathrm{M2}}}; \frac{A_{\mathrm{net,II}} f_{\mathrm{u,II}}}{\gamma_{\mathrm{M2}}}\right) \cdot \left(1 + 3k_{\mathrm{num}}\ \left(\frac{d_0}{u} - 0{,}3\right)\right),\ \text{але}$$

$$\left(1 + 3k_{\mathrm{num}}\ \left(\frac{d_0}{u} - 0{,}3\right)\right) \leq 1$$

де

k_{num} = [Кількість болтів у поперечному перерізі] / [загальна кількість болтів у з'єднанні]

$u = 2\ e_2$, але $u \leq p_2$

Опір зсуву:

— для класів міцності 4.6, 5.6 і 8.8: $F_{\mathrm{v,Rd}} = \dfrac{0{,}6\ A_s\ f_{\mathrm{ub}}}{\gamma_{\mathrm{M2}}}$

— для класів міцності 4.8, 5.8, 6.8 і 10.9: $F_{\mathrm{v,Rd}} = \dfrac{0{,}5\ A_s\ f_{\mathrm{ub}}}{\gamma_{\mathrm{M2}}}$

Умови: [c] $F_{\mathrm{v,Rd}} \geq 1{,}2\ F_{\mathrm{b,Rd}}$ або $\Sigma\ F_{\mathrm{v,Rd}} \geq 1{,}2\ F_{\mathrm{n,Rd}}$

Кінець таблиці 10.5

Болти, що працюють на розтяг: [a]			
Опір продавлюванню:	Опір продавлюванню $F_{\mathrm{p,Rk}}$ або $F_{\mathrm{p,Rd}}$ визначають за результатами випробувань.		
Опір висмикуванню:	Опір висмикуванню $F_{\mathrm{o,Rk}}$ або $F_{\mathrm{o,Rd}}$ визначають за результатами випробувань.		
Опір розтягу:	$F_{\mathrm{t,Rd}} = \dfrac{0{,}9\, A_s\, f_{\mathrm{ub}}}{\gamma_{\mathrm{M2}}}$		
Умови: [c]	$F_{\mathrm{t,Rd}} \geq F_{\mathrm{p,Rd}}$ або $F_{\mathrm{t,Rd}} \geq F_{\mathrm{o,Rd}}$		
Сфера застосування: [b]			
$e_1 \geq 1{,}0\ d_{\mathrm{o}}$	$p_1 \geq 3\ d_{\mathrm{o}}$	$0{,}75$ мм $\leq t \leq 4$ мм	Мінімальний розмір болта: М6
$e_2 \geq 1{,}5\ d_{\mathrm{o}}$	$p_2 \geq 3\ d_{\mathrm{o}}$	Класи міцності: 4,6—10,9	$f_{\mathrm{u}} \leq 550$ Н/мм^2

[a] Для товщин 3 мм і більше як альтернативу дозволено використовувати правила для болтів з EN 1993-1-8. Для товщин більше за 4 мм, рекомендовано застосовувати правила для болтів з EN 1993-1-8

[b] Сферу застосування болтів дозволено розширити, якщо їх опір визначено за результатами випробувань.

[c] Ці умови рекомендовано застосовувати для забезпечення достатньої деформаційної здатності з'єднань. Якщо умови не виконано, рекомендовано підтвердити, що деформаційну здатність буде забезпечено іншими частинами конструкції.

Примітка 4. Відповідно до таблиці 10.5, міцність на висмикування та розтягнення болтів, що працюють на розтяг, визначають за результатами випробувань, якщо в Національному додатку не наведено додаткової інформації.

10.4 Точкові зварні шви

(1) Точковим зварним швом дозволено зварювати рулонний або оцинкований основний матеріал товщиною до 4,0 мм за умови, що найтонша зі з'єднуваних частин не перевищує 3,0 мм.

(2) Точкові зварні шви дозволено виконувати як контактним зварюванням так і проплавленням.

(3) Розрахункове значення опору $F_{\mathrm{v,Rd}}$ точкового зварного шва, що працює на зріз, рекомендовано обчислювати за таблицею 10.6.

(4) У таблиці 10.6 прийнято такі позначення:

A_{net} — площа поперечного перерізу нетто з'єднаної частини;

d_s — діаметр точкового зварного шва на рівні стику, див. 10.4(6)(7);

n_w — кількість точкових зварних швів в одному з'єднанні;

t — товщина найтоншого листа або елемента у з'єднанні [мм];

t_1— товщина найтовщого листа або елемента у з'єднанні [мм];

Відстані від кінця елемента, від краю елемента e_1 та e_2 і проміжки p_1 та p_2 як визначено у 10.3(5).

(5) Частковий коефіцієнт γ_M для обчислення розрахункового значення опорів точкових зварних швів рекомендовано приймати рівним γ_{M2}, див. 4(3).

Таблиця 10.6 — Розрахункові значення опорів точкових зварних швів

Точкові зварні шви під дією зсуву:			
Опір вириванню та несна здатність:			
— якщо $t \le t_1 \le 2{,}5\ t$:			
$F_{tb,Rd} = \frac{2{,}7\sqrt{t}\ d_s\ f_u}{\gamma_{M2}}$	з: t у [мм]		
— якщо $t_1 > 2{,}5\ t$:			
$F_{tb,Rd} = \frac{2{,}7\sqrt{t}\ d_s f_u}{\gamma_{M2}}$	, але $F_{tb,Rd} \le \frac{0{,}7\ d_s^2\ f_u}{\gamma_{M2}}$	та $F_{tb,Rd} = \frac{3{,}1\ t\ d_s f_u}{\gamma_{M2}}$	
Кінцевий опір:	$F_{e,Rd} = \frac{1{,}4\ t\ e_1\ f_u}{\gamma_{M2}}$		
Опір перерізу нетто:	$F_{n,Rd} = \frac{A_{net}\ f_u}{\gamma_{M2}}$		
Опір зсуву:	$F_{v,Rd} = \frac{\pi(d_s^2/4)\ f_u}{\gamma_{M2}}$		
Умови:	$F_{v,Rd} \ge 1{,}25\ F_{tb,Rd}$	або $F_{v,Rd} \ge 1{,}25\ F_{e,Rd}$	або $\Sigma\ F_{v,Rd} \ge 1{,}25\ F_{n,Rd}$
Сфера застосування:			
$2\ d_s \le e_1 \le 6\ d_s$	$3\ d_s \le p_1 \le 8\ d_s$		
$e_2 \le 4\ d_s$	$3\ d_s \le p_2 \le 6\ d_s$		

(6) Діаметр точкового зварного шва на рівні стику d_s рекомендовано визначати за формулами (10.4) і (10.5):

— для зварювання проплавленням:

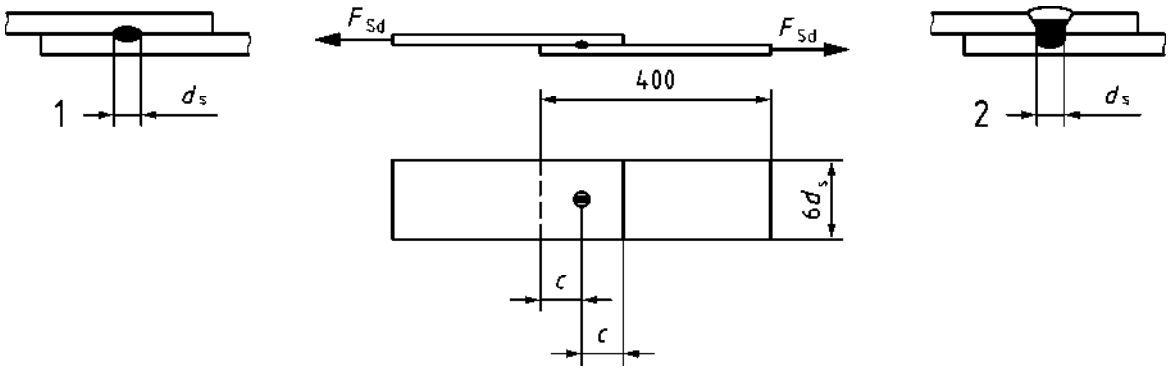
$$d_s = 0{,}5\ t + 5\ \text{mm} \qquad (10.4)$$

для контактного зварювання:

$$d_s = 5\sqrt{t} \qquad \text{з } t \text{ у [мм]} \qquad (10.5)$$

(7) Значення d_s отримане в результаті зварювання, рекомендовано перевіряти випробуванням на зсув зразків з одинарним напустком, як показано на рис. 10.2, згідно 9. Товщину t зразка рекомендовано приймати такою ж, як і для використаного в реальності. Рекомендовано, щоб відстані від кінця елемента та від краю елемента e_1 і e_2 під час випробування відповідали умовам формули (10.6):

$$3{,}5\, d_s \leq e \leq 5\, d_s \qquad (10.6)$$



Умовні познаки:

1 — контактний зварний шов;

2 — зварний шов проплавленням

Рисунок 10.2 — Випробні зразки для випробувань на зсув точкових зварних швів

10.5 Зварні шви, виконані внапусток

10.5.1 *Загальні положення*

(1) Положення розділу 10.5 рекомендовано застосовувати для проєктування виконаних дуговим зварюванням швів внапусток з товщиною вихідного матеріалу 4,0 мм або менше. Шви, виконані внапусток, з товстішого основного матеріалу рекомендовано проєктувати за EN 1993-1-8.

(2) Розміри зварного шва рекомендовано вибирати так, щоб опір з'єднання залежав від товщини з'єднуваної деталі або листа, а не від міцності зварного шва.

(3) Рекомендації (2) можна вважати виконаними, якщо товщина кутового шва не менше товщини з'єднуваного елемента або листа.

(5) Частковий коефіцієнт γ_M для обчислення розрахункового значення опорів точкових зварних швів рекомендовано приймати рівним γ_{M2}, див. 4(3).

10.5.2 *Кутові зварні шви*

(1) Розрахункове значення опору $F_{w.Rd}$ кутового зварного з'єднання рекомендовано визначати за формулами (10.7)—(10.9):

для бічного кутового шва, що є одним із пари бічних кутових швів:

$$F_{w,Rd} = \frac{t\, l_{w,s}\left(0{,}9 - 0{,}45\, l_{w,s}/b\right) f_u}{\gamma_{M2}} \qquad \text{якщо } l_{w,s} \le b \qquad (10.7)$$

$$F_{w,Rd} = \frac{0{,}45\, t\, b\, f_u}{\gamma_{M2}} \qquad \text{якщо } l_{w,s} > b \qquad (10.8)$$

для лобового кутового шва:

$$F_{w,Rd} = \frac{t\, l_{w,e}\left(1 - 0{,}3\, l_{w,e}/b\right) f_u}{\gamma_{M2}} \qquad \text{для одного зварного шва і якщо } l_{w,s} \le b\,, \qquad (10.9)$$

де

b — ширина з'єднаних елементів або листа, див. рисунок 10.3;

$l_{w,e}$ — це ефективна довжина лобового кутового шва, див. рисунок 10.3;

$l_{w,s}$ — це ефективна довжина бічного кутового шва, див. рисунок 10.3;

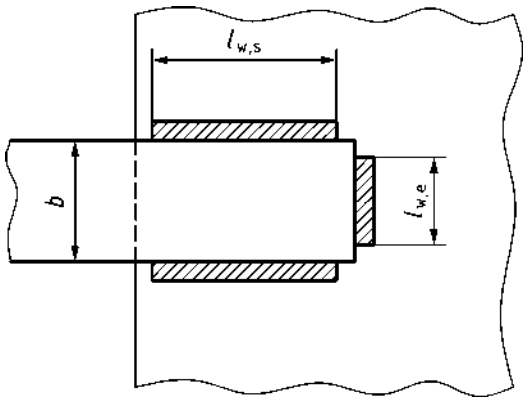


Рисунок 10.3 — З'єднання внапусток кутовим зварним швом

(2) Для з’єднань, в яких одночасно застосовано лобові і бічні кутові шви, повне розрахункове значення опору рекомендовано визначати як суму розрахункових значень опорів лобових і бічних кутових швів. Рекомендовано зробити реалістичне припущення щодо розподілу зусиль, врахувавши положення центру ваги з'єднання.

(3) Ефективну довжину l_{w} кутового шва рекомендовано приймати як загальну довжину повнорозмірного кутового шва включно з зворотніми кінцевими ділянками. За умови, що зварний шов має повний розмір по всій довжині, немає необхідності зменшувати ефективну довжину ні на початку, ні в кінці зварного шва.

(4) Кутові зварні шви з ефективною довжиною менше ніж 8 товщин найтоншого елемента у з’єднанні вважають такими, що не передають жодних зусиль.

10.5.3 *Точкові дугові зварні шви*

(1) Точкові дугові зварні шви не рекомендовано проєктувати на передавання будь-яких зусиль крім зсувних.

(2) Точкові дугові зварні шви не рекомендовано використовувати для з'єднань елементів або листів з загальною товщиною Σt більше 4 мм.

(3) Діаметр точкового зварного шва на рівні стику d_{s} рекомендовано приймати не менше, ніж 10 мм.

(4) В з’єднаннях з товщиною елемента або листа меншою, ніж 0,7 мм

рекомендовано застосовувати зварювальну шайбу, див. рисунок 10.4.

(5) Точкові дугові зварні шви рекомендовано приймати на відповідних відстанях від кінця та від краю, як визначено у:

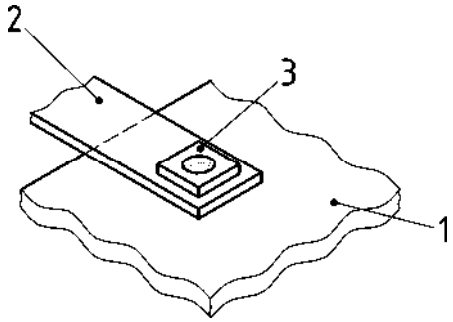
(a) Мінімальну відстань, виміряну паралельно напрямку передавання зусилля, від центру точкового дугового шва до найближчого краю сусіднього шва або до кінця з'єднаного елемента, не рекомендовано приймати менше значення $a_{\mathrm{w,min}}$, заданого у такий спосіб:

$$a_{\mathrm{w,min}} = 1{,}8\,\frac{F_{\mathrm{w,Rd}}}{t\,f_{\mathrm{u}}\,\gamma_{\mathrm{M2}}} \qquad \text{якщо } f_{\mathrm{u}}/f_{\mathrm{y}} < 1{,}15 \qquad (10.10)$$

$$a_{\mathrm{w,min}} = 2{,}1\,\frac{F_{\mathrm{w,Rd}}}{t\,f_{\mathrm{u}}\,\gamma_{\mathrm{M2}}} \qquad \text{якщо } f_{\mathrm{u}}/f_{\mathrm{y}} \geq 1{,}15 \qquad (10.11)$$

(b) Мінімальна відстань від центру круглого точкового дугового шва до кінця або краю з'єднаного листа рекомендовано приймати не менше $1{,}5d_{\mathrm{as}}$, де d_{as} — видимий діаметр точкового дугового шва.

(c) Мінімальну відстань у просвіті від овального (подовженого) точкового дугового шва до кінця або краю листа, рекомендовано приймати не менше ніж $1{,}0d_{\mathrm{as}}$.



Умовні познаки:

1 — опорний елемент;

2 — з'єднаний елемент або лист;

3 — зварювальна шайба.

Рисунок 10.4 — Точкові дугові зварні шви зі зварювальними шайбами

(6) Розрахункове значення опору зсуву $F_{\mathrm{w,Rd}}$ круглого точкового шва рекомендовано визначати за формулою (10.12):

$$F_{\mathrm{w,Rd}} = \frac{0{,}625\ \pi\ (d_{\mathrm{s}}^2\ /4)\ f_{\mathrm{uw}}}{\gamma_{\mathrm{M2}}}, \qquad (10.12)$$

де

f_{uw} — гранична міцність на розтяг матеріалу зварювального електрода;

але:

$F_{\mathrm{w,Rd}}$ не рекомендовано приймати більше за розрахункове значення опору, наведене нижче:

— якщо $d_{\mathrm{p}}/\sum t\ \leq 18\sqrt{420/f_{\mathrm{u}}}$ із f_{u} у [Н/мм^2]

$$F_{\mathrm{w,Rd}} = \frac{1{,}5\ d_{\mathrm{p}}\ \sum t\ f_{\mathrm{u}}}{\gamma_{\mathrm{M2}}} \qquad (10.13)$$

якщо $18\sqrt{420/f_{\mathrm{u}}} < d_{\mathrm{p}}/\sum t\ \leq 30\sqrt{420/f_{\mathrm{u}}}$ із f_{u} у [Н/мм^2]

$$F_{\mathrm{w,Rd}} = \frac{27\sqrt{420/f_{\mathrm{u}}}\ (\sum t)^2\ f_{\mathrm{u}}}{\gamma_{\mathrm{M2}}} \qquad (10.14)$$

якщо $d_{\mathrm{p}}/\sum t\ > 30\sqrt{420/f_{\mathrm{u}}}$ із f_{u} у [Н/мм^2]

$$F_{w,Rd} = \frac{0{,}9\ d_p\ \sum t\ f_u}{\gamma_{M2}}, \qquad (10.15)$$

де

d_{p} — ефективний зовнішній діаметр точкового зварного шва, згідно (8).

(7) Діаметр точкового зварного шва на рівні стику d_{s}, наведеного в таблиці 10.7, рекомендовано обчислювати за формулою(10.16):

$$d_{\mathrm{s}} = 0{,}7\ d_{\mathrm{as}} - 1{,}5 \sum t \qquad \text{але}\ \ d_{\mathrm{s}} \geq 0{,}55\ d_{\mathrm{as}} \qquad (10.16)$$

де

d_{as} — видимий діаметр точкового дугового шва, див. таблицю 10.7.

(8) Ефективний зовнішній діаметр точкового зварного шва d_{p} рекомендовано обчислювати так:

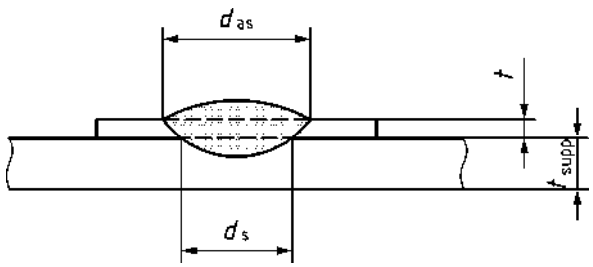
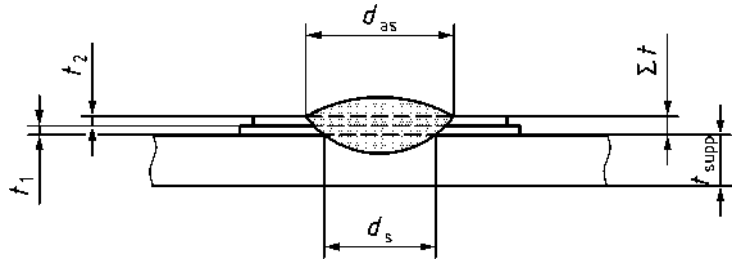
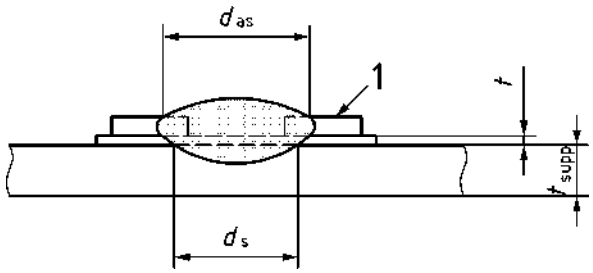
Для одинарного з'єднаного листа або елемента товщиною t:

$$d_{\mathrm{p}} = d_{\mathrm{as}} - t \qquad (10.17)$$

Для великої кількості з'єднаних листів або елементів, загальною товщиною t:

$$d_{\mathrm{p}} = d_{\mathrm{as}} - 2\,t \tag{10.18}$$

Таблиця 10.7 — Точкові дугові зварні шви

випадок		товщина
Одинарний з'єднаний лист		$\sum t = t$
Два з'єднаних листа		$\sum t = t_1 + t_2$
Одинарний з'єднаний лист зі зварювальними шайбами		$\sum t = t$
Умовні познаки: *1* — Зварювальна шайба		

(9) Розрахункове значення зсувного опору. $F_{\mathrm{w,Rd}}$ овального точкового дугового шва рекомендовано визначати за формулою (10.19):

$$F_{\mathrm{w,Rd}} = \frac{0{,}625\left(\pi(d_{\mathrm{s}}^2/4) + l_{\mathrm{w,as}}\,d_{\mathrm{s}}\right) f_{\mathrm{uw}}}{\gamma_{\mathrm{M2}}} \tag{10.19}$$

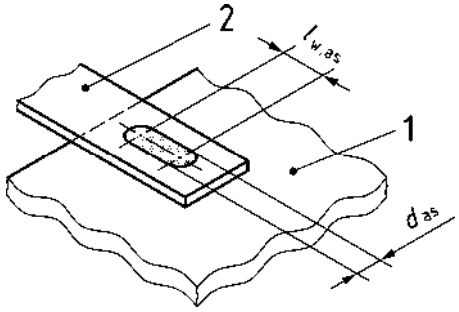
Але $F_{\mathrm{w,Rd}}$ не рекомендовано приймати більше за розрахункове значення опору вздовж розрахункового діаметру, заданого формулою

$$F_{\mathrm{w,Rd}} = \frac{\left(0{,}5 l_{\mathrm{w,as}} + 1{,}67 d_{\mathrm{p}}\right) \sum t \; f_{\mathrm{u}}}{\gamma_{\mathrm{M2}}}, \tag{10.20}$$

де

$l_{\mathrm{w,as}}$ — довжина овального точкового дугового шва, виміряна як

показано на рисунку 10.5



Умовні познаки:

1— Опорний елемент;

2 — З'єднаний елемент або лист

Рисунок 10.5 — Подовжені точкові дугові зварні шви

11 ОСОБЛИВІ ВИМОГИ ДЛЯ ЕЛЕМЕНТІВ, КАСЕТНИХ ПРОФІЛІВ ТА ПРОФІЛЬОВАНОГО ЛИСТА

11.1 Елементи, обмежені профільованим листом , касетними профілями або сендвіч-панелями

11.1.1 *Загальні положення*

(1) Положення розділу 11.1 дозволено застосовувати до елементів з *Z*-, *C*-, Σ-, *U*- або *омега*-подібним поперечним перерізом.

(2) Ці положення дозволено застосовувати до балок з розкріплювальними стержнями (або без них), а також для однопрогонових, жорстких балок виконаних внакладку або внапусток.

(3) Наведені тут вимоги також дозволено застосовувати до холодноформованих елементів прогонів, бічних рейок, балок перекриттів тощо, які, як правило, розкріплені профільованим листом, касетними профілями або сендівіч-панелями.

(4) Під час проєктування бічних рейок дозволено вважати, що тиск вітру діє на елементи так само, як навантаження вагою, і що від’ємна дія вітру діє на елементи аналогічно підйомній силі.

(5) Повне жорстке бічне розкріплення може бути забезпечене достатньо жорстким профільованим сталевим настилом, касетними профілями або сандвіч-панелями, жорстко з'єднаними з полицею елемента. У профільованих листах такі з'єднання рекомендовано виконувати через жолоби. Якщо елемент з'єднаний з профільованим сталевим листом, касетними профілям чи сендвіч-панеллю і виконана умова 11.4.1, його можна вважати закріпленим з боку. В інших випадках (наприклад, коли профільований лист закріплено через гребінь) ступінь обмеження рекомендовано або підтвердити досвідом, або визначити випробуванням.

Примітка. Рекомендації щодо випробувань наведено в розділі 12 і Додатку А.

(6) Якщо результати випробувань не підтверджують альтернативне розташування зон обпирання, рекомендовано, щоб елемент мав опорні деталі, такі як кронштейни, що запобігають бічному переміщенню і повороту на його опорах. Під час проєктування опорних деталей рекомендовано враховувати вплив сил у площині профільованого листа, касетних профілів або сендвіч-панелей, які передаються на опорні деталі. За наявності кронштейнів, поперечним згином стінки, обумовленим бічними силами, переданими профільованими листами, можна знехтувати. У з'єднанні з кронштейном дозволено не перевіряти елемент на деформацію стінки, якщо між зони обпирання і нижньою полицею елемента передбачено зазор, який зберігається під час прогинів елемента.

(7) Роботу елемента з бічним закріпленням дозволено змоделювати так, як описано для прогонів у таблиці 11.1. З’єднання елемента і профільованого листа, касетних профілів чи сендвіч-панелі дозволено вважати частковим закріпленням елемента від кручення. Таке обмеження кручення дозволено представити у вигляді поворотної пружини з пружинною жорсткістю C_{D}. Напруження у вільній полиці, безпосередньо не з’єднаній з профільованим листом, касетними профілями чи сендвіч-

панелями рекомендовано обчислювати з урахуванням впливу згину в робочій площині, та кручення, включно з бічним згином, обумовленим зміною форми поперечного перерізу. Обмеження повороту, забезпечене профільованим листом, касетними профілями чи сендвіч-панелями рекомендовано визначати за з 11.4.2.

(8) Для вільної полиці однопрогонового елемента стиснутої під дією підйомної сили, рекомендовано також враховувати додаткові напруження, обумовлені крученням і зміною форми перерізу.

11.1.2 Методи розрахунку

(1) Якщо не виконано розрахунок другого порядку, для врахування схильності вільної полиці до бічного зміщення (що викликає додаткові напруження) рекомендовано застосовувати метод, наведений у 11.1.3 і 11.1.4, розглядаючи її як елемент, навантажений бічним навантаженням $q_{\mathrm{h,Ed}} = k_{\mathrm{h}}\, q_{\mathrm{Ed}}$, див. таблицю 11.1. Умовні познаки осей наведено у 3.3.4. Технічні характеристики відповідно до наведених у 11.1 положень про проєктування, показано на рисунку 11.2.

(2) В описаному у 11.1.3 і 11.1.4 способі, вплив поворотної пружини, представленої в 11.1.1(7), замінено на еквівалентну поперечну лінійну пружину з жорсткістю K. Вільну полицю дозволено розглядати як стиснутий елемент під дією нерівномірного осьового зусилля, з жорсткою бічною пружинною опорою з жорсткістю K. При визначенні K рекомендовано враховувати вплив зміни форми поперечного перерізу.

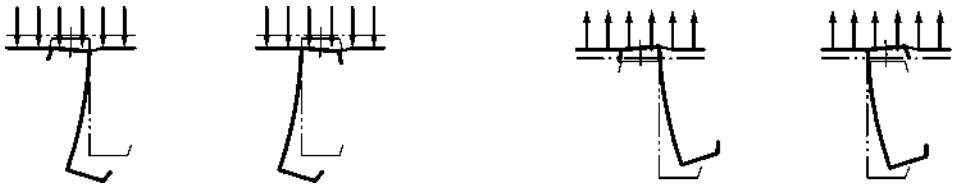
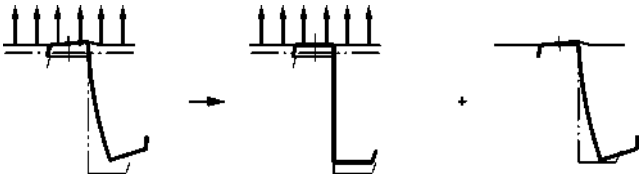
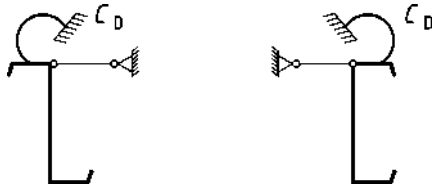
(3) Якщо на вільну полицю діє стиск, обумовлений згином у площині стінки (наприклад, під дією підйомного навантаження на однопрогоновий прогін) необхідно виконувати перевірний розрахунок для вільної полиці на опір поперечній втраті стійкості.

(4) Для точнішого розрахунку дозволено застосувати числовий метод, використавши значень поворотної жорсткості пружини C_{D}, обчислених за 11.4.2. Одночасно рекомендовано врахувати вплив дугової недосконалості

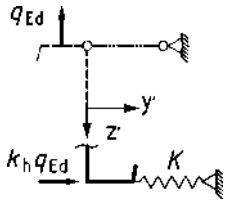
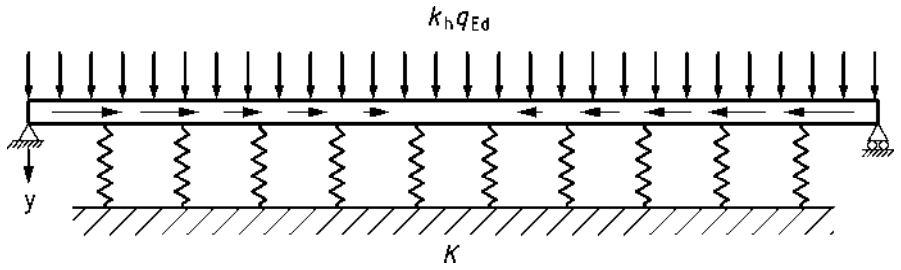
e_0 вільної полиці, як визначено в 7.2.2.3. Рекомендовано, щоб форма цієї недосконалості співпадала з формою критичної втрати стійкості, визначеної за результатами пружного розрахунку першого порядку на втрату стійкості, див. 7.1(2).

5) Числовий метод розрахунку з використанням поворотної жорсткості пружини C_D , обчисленої за 11.4.2, дозволено також застосовувати і за відсутності бічного розкріплення, або якщо ефективність розкріплення не неможливо підтвердити. Виконуючи числовий розрахунок рекомендовано враховувати згин у двох площинах, чисте кручення за Сен-Венаном і депланаційне кручення.

Таблиця 11.1 — Моделювання поперечно розкріплених елементів, обмежених від повороту профільованим листом, касетними профілями чи сендвіч-панелями.

 Навантаження вагою; Підйомне навантаження a) Z і C- подібні перерізи прогонів, верхній пояс яких з'єднано з профільованим листом, касетними профілями чи сендвіч-панелями
 Згин у площині + кручення і бічний згин b) Загальна деформація, що поділена на дві частини
 c) Модель поперечно розкріпленого прогону із поворотною жорсткістю пружини C_D, забезпеченої профільованим листом, касетними профілями чи сендвіч-панелями

Кінець таблиці 11.1

	
d) Спрощена модель із заміною поворотної жорсткості пружини C_D на бічну пружину з жорсткістю K	e) Вільна полиця прогону, змодельована як елемент на пружній основі під дією бічного навантаження, що представляє вплив кручення і поперечного згину (включно зі зміною форми поперечного перерізу)

11.1.3 *Розрахункові критерії*

11.1.3.1 *Загальні положення*

(1) Рекомендовано щоб елементи відповідали вимогам щодо опору поперечних перерізів, наведеним у 11.1.4.1, а у випадку стиснутих вільних полиць — вимогам щодо стійкості вільної полиці, наведеним у 11.1.4.2.

11.1.3.2 *Повністю нерозрізні над опорами елементи*

(1) Розподіл згинального моменту в елементі, який є фізично безперервним на двох або більше прогонах без стикування внапусток або на накладках, дозволено обчислити або розрахунково, або на основі результатів випробувань.

(2) Розрахункове визначення моментів дозволено виконувати за результатами загального пружного розрахунку.

(3) Альтернативно, реалістичніший розподіл згинального моменту дозволено отримати урахуванням непружної моментно-кутової роботи елемента, розташованого над внутрішньою зоною(ми) обпирання, при цьому моментно-кутову роботу визначають за результатами випробування відповідно до розділу 12 і A.6.

(4) Якщо моментно-кутову роботу у місцерозташуванні зони обпирання визначено за результатами випробування, розрахункове значення опору згинальному моменту $M_{\mathrm{supp,Rd}}$, що відповідає заданому

значенню розподіленого навантаження q_{Ed}, прикладеного до елемента, рекомендовано обчислювати з перетину двох кривих (див. рисунок 11.1):

— крива залежності моменту від повороту, отримана в результаті випробувань відповідно до розділу 12 і А.6 (див. рисунок А.9);

— теоретична залежність між опорним згинальним моментом $M_{\text{supp,Ed}}$ і відповідним поворотом пластичного шарніра θ_{Ed} в елементі над зоною обпирання, визначена на основі пружно-пластичного розрахунку всього елемента під дією навантаження q_{Ed} з ідеальним пластичним шарніром над опорою.

Для елемента з двома рівними прогонами, на які діє рівномірно розподілене навантаження, цю залежність визначено як:

$$\theta_{\text{Ed}} = \frac{L}{12\,EI_{\text{eff}}}\left(q_{\text{Ed}}L^2 - 8\,M_{\text{supp,Ed}}\right) \tag{11.1}$$

$$M_{\text{span,Ed}} = \frac{\left(q_{\text{Ed}}L^2 - 2\,M_{\text{supp,Rd}}\right)^2}{8\,q_{\text{Ed}}\,L^2}, \tag{11.2}$$

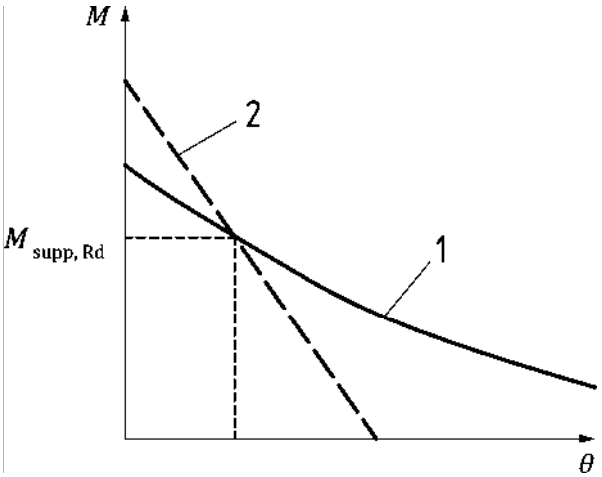
де

I_{eff} — ефективний момент інерції елемента для згинального моменту $M_{\text{span,Ed}}$;

L— проліт елемента;

$M_{\text{span,Ed}}$ — розрахункове значення максимального згинального моменту у прогоні елемента;

В інших випадках залежність, еквівалентну формулі (11.1), рекомендовано визначати за результатами відповідного аналізу.



Умовні познаки:

1 — крива залежності моменту від повороту;

2 — $M_{\mathrm{supp,Ed}}$ vs. θ_{Ed}

Рисунок 11.1 — Визначення опору згинальному моменту на опорі

(5) Для елемента, на яке діє навантаження від ваги, рекомендовано додатково враховувати стан напруження у вільній полиці і поперечну стійкість вільної полиці навколо зоні обпирання, оскільки ці питання не повністю враховують під час випробувань на внутрішній зоні обпирання відповідно до А.6.2. Якщо вільна полиця є нерозрізною над зонами обпирання і якщо відстань між зоною обпирання і найближчим розкріплювальним стержнем перевищує $0{,}5L$, опір поперечного перерізу у зоні обпирання рекомендовано перевіряти відповідно до 11.1.4.1, а опір втраті стійкості у зони обпирання рекомендовано перевіряти відповідно до 11.1.4.2, враховуючи додаткове бічне навантаження $q_{\mathrm{h,Ed}}$. Альтернативно, для вивчення напруженого стану і стійкості цієї вільної полиці навколо середньої опори, дозволено використовувати повнорозмірні натурні випробування двопрогонових або багатопрогонових елементів.

(6) Максимальний прогоновий згинальний момент $M_{\mathrm{span,Ed}}$ рекомендовано розраховувати на основі значення опорного згинального моменту з використанням умов статичної рівноваги. Рекомендовано, щоб максимальний прогоновий згинальний момент $M_{\mathrm{span,Ed}}$ в елементі відповідав критеріям опору поперечного перерізу, наведеним в 11.1.4.1, а для елемента, що знаходиться під дією підйомного навантаження, критеріям

стійкості вільної полиці, наведеним в 11.1.4.2. Альтернативно, ці критерії дозволено оцінювати за результатами випробування. Дозволено використовувати випробування однопрогонового зразка, довжина якого порівняння з відстанню між точками перегину в прогоні.

(7) Якщо не застосовано методику випробування, описану в А.6, елемент рекомендовано розраховувати на поєднання згинального моменту і сили реакції на опорі. Якщо опорною реакцією є розтягувальне зусилля, таку перевірку можна не проводити.

(8) Якщо не застосовано методику випробування, описану в А.6, елемент рекомендовано розраховувати на поєднання згинального моменту і зсувного зусилля на опорі.

11.1.3.3 Напівжорсткі елементи із напустками або накладками

(1) Випробування рекомендовано проводити для визначення:

— згинальна жорсткість частини системи елементів із напустками або накладками;

— залежність моменту від повороту для частини із напустками або накладками, як правило, нелінійна. Якщо розрахунком передбачена лінійна поведінка, рекомендовано враховувати як мінімальне, так і максимальне значення поворотної жорсткості (див.А. 9.3). Перерозподіл згинальних моментів дозволено застосовувати тільки в разі пошкодження зони обпирання і для запобігання бічному зсуву зони обпирання (наприклад, пластиною кронштейна).

— опір частин із напустками або накладками впливу спільної дії опорної реакції і згинального моменту;

— опір спільній дії зсувного зусилля і згинального моменту.

Альтернативно, ці характеристики дозволено визначати числовими методами, використовуючи модель, підтверджену достатньою кількістю випробувань.

11.1.3.4 *Критерій експлуатаційної придатності*

(1) Елементи рекомендовано виконувати із дотриманням критерію експлуатаційної придатності.

11.1.4 *Розрахунковий опір*

11.1.4.1 *Опір поперечних перерізів*

(1) Опір поперечного перерізу елементів, на які діють осьове зусилля та поперечне навантаження, рекомендовано перевіряти як показано на рисунку 11.2, накладанням напружень, обумовлених:

— згинальним моментом у площині стінки $M_{y',Ed}$;

— осьовим зусиллям N_{Ed};

— еквівалентним бічним навантаженням $q_{h,Ed}$, що діє на вільну полицю, викликаючи поперечний згин вільної полиці, див (3).

(2) Рекомендовано, щоб максимальні розрахункові значення напружень у поперечному перерізі задовольняли критерії формул (11.3) та (11.4):

для закріпленої полиці:

$$\frac{\sigma_{max,Ed}}{\frac{f_y}{\gamma_{M0}}} = \frac{N_{Ed}}{\frac{A_{eff}\, f_y}{\gamma_{M0}}} + \frac{M_{y',Ed}}{\frac{W_{eff,y'}\, f_y}{\gamma_{M0}}} \leq 1 \qquad (11.3)$$

для вільної полиці:

$$\frac{\sigma_{max,Ed}}{\frac{f_y}{\gamma_{M0}}} = \frac{N_{Ed}}{\frac{A_{eff}\, f_y}{\gamma_{M0}}} + \frac{M_{y',Ed}}{\frac{W_{eff,y'}\, f_y}{\gamma_{M0}}} + \frac{M_{fz',Ed}}{\frac{W_{fz'}\, f_y}{\gamma_{M0}}} \leq 1\,, \qquad (11.4)$$

де

A_{eff} — площа ефективного поперечного перерізу під дією рівномірного стиску;

f_y — границя текучості, визначена згідно 5.2.2;

$M_{fz',Ed}$ — розрахункове значення згинального моменту у вільній полиці, обумовлене бічним навантаженням $q_{h,Ed}$, див. формулу (11.5);

— моменту опору ефективного поперечного перерізу під дією згину навколо осі *y*′-*y*′;

— пружний моменту опору поперечного перерізу, складеного із поперечного перерізу брутто вільної полиці і задіяної частини стінки для згину навколо його власної осі центру вагиz′-z′; якщо не проводиться складніший розрахунок, задіяну частину стінки дозволено прийняти рівною 1/5 висоти стінки для C- та Z-подібного профілів, і 1/6 висоти стінки в для Σ-подібного - профілю, виміряної від місця переходу стінки у полицю, див. рисунок 11.2;

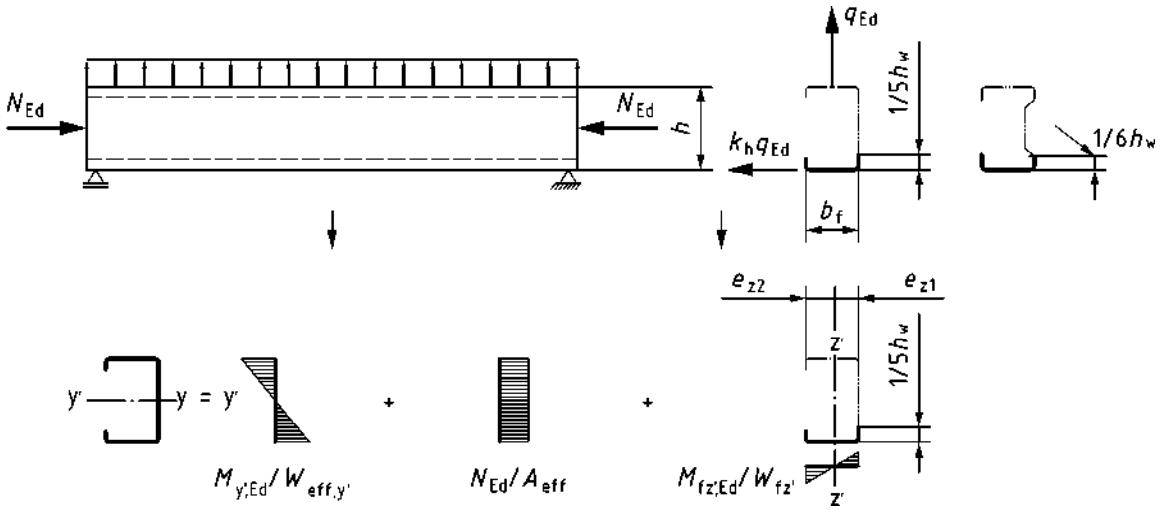


Рисунок 11.2 — Накладення напружень

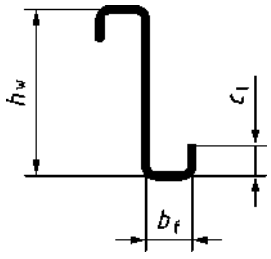
(3) Еквівалентне бічне навантаження $q_{h,Ed}$ що діє на вільну полицю, представляючи вплив кручення та бічного згину у поперечному перерізі, рекомендовано обчислювати за формулою (11.5):

$$q_{h,Ed} = k_h \, q_{Ed} \qquad (11.5)$$

(4) Коефіцієнт k_h рекомендовано обчислювати як показано у таблиці 11.2 для типових поперечних перерізів. В іншому випадку рекомендовано обґрунтувати його відповідним розрахунком.

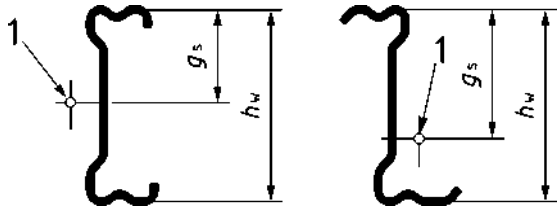
Таблиця 11.2 — Перетворення впливу кручення та бічного згину на еквівалентне бічне навантаження $k_h \, q_{Ed}$

k_{h0} — коефіцієнт бічного навантаження на вільну полицю
(k_{h0} відповідає навантаженню, прикладеному до центру зсуву)



$$k_{h0} = \frac{h_w t \left(b_f^2 + 2c_l b_f - 2c_l^2 b_f / h_w\right)}{4\, I_{y'}}$$

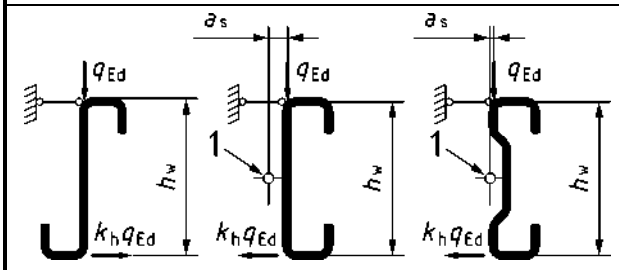
(a) Точково-симетричний Z-подібний переріз



$$k_{h0} = \frac{I_{yz'}\, g_s}{I_{y'}\, h_w}$$

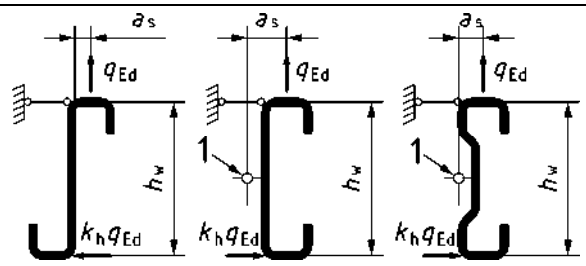
(b) Z-, C- або Σ--подібні перерізи

Коефіцієнт еквівалентного бічного навантаження k_h



$k_h = k_{h0}$ $k_h = k_{h0} + a_s/h_w$ $k_h = k_{h0}$*** $+ a_s/h_w$

Z-, C- або Σ--подібні перерізи
(a) Навантаження вагою



$k_h = k_{h0}$* $- a_s/h_w$ $k_h = k_{h0}$** $+ a_s/h_w$ $k_h = k_{h0}$** $+ a_s/h_w$

Z-, C- або Σ--подібні перерізи
(b) Підйомне навантаження

де
g_s — відстань від навантаженої полиці до центру зсуву, виміряна в напрямку *z'*
a_s — відстань від навантаження q_{Ed} до центра зсуву (виміряна в напрямку *y'*);
I′— момент інерції поперечного перерізу навколо відповідної осі y′-y′ або z′-z′

* якщо $a_s/h_w > k_{h0}$, то навантаження $k_h\, q_{Ed}$ діє у протилежному напрямку.

** Положення навантаження q_{Ed} обмежено відстанями між краями верхньої полиці.

*** Якщо центр зсуву розташований праворуч від навантаження q_{Ed}, еквівалентне бічне навантаження діє у протилежному напрямку.

Умовні познаки:
1 — центр зсуву

(5) Бічний згинальний момент $M_{fz',Ed}$ дозволено визначати за формулою (11.6), крім елементів із розтягнутою вільною полицею, в якій завдяки сприятливому впливу

кривини полиці і впливам другого порядку, момент $M_{fz',Ed}$ дозволено приймати рівним нулю:

$$M_{\mathrm{fz'},\mathrm{Ed}} = \kappa_{\mathrm{R}}\, M_{0,\mathrm{fz'},\mathrm{Ed}}\,, \qquad (11.6)$$

де

$M_{0,\mathrm{fz'},\mathrm{Ed}}$ — початковий бічний згинальний моментт у вільній полиці без будь-якої пружинної опори;

κ_{R} — коригувальний коефіцієнт для врахування ефективної пружинної опори.

(6) Початковий бічний згинальний момент у вільній полиці $M_{0,\mathrm{fz'},\mathrm{Ed}}$ дозволено визначати за таблицею 11.3 для критичних точок в прогоні, в зонах обпирання, в розкріплювальних стержнях і між ними.

(7) Коригувальний коефіцієнт κ_{R} для відповідного мізцерозташування і граничних умов дозволено визначати за таблицею 11.3 із застосуванням значення коефіцієнта k_{ss} заданого формулою (11.7):

$$k_{\mathrm{ss}} = \frac{K\, L_{\mathrm{a}}^{4}}{\pi^{4}\, E I_{\mathrm{fz'}}}\,, \qquad (11.7)$$

де

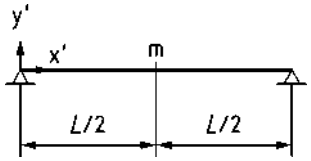
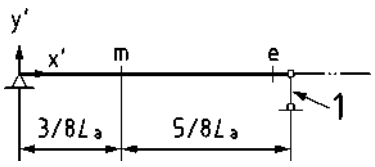
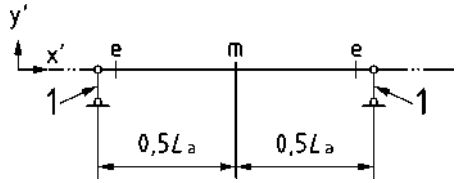
$I_{\mathrm{fz'}}$— момент інерції поперечного перерізу, складеного із поперечного перерізу брутто вільної полиці та задіяної частини стінки, для згину навколо осі ***z′-z′*** , див. 11.1.4.1(2); для проведення числового розрахунку див. 11.1.2(5);

K — поперечна пружинна жорсткість на одиницю довжини, див. 11.1.5;

L_{a} — відстань між розкріплювальними стержнями, або, за їх відсутності, довжина прогону елемента *L*.

Альтернативно, для визначення κ_{R} дозволено застосовувати теорію елемента на пружній основі Фусса-Вінклера.

Таблиця 11.3 — Значення початкового згинального моменту $M_{0,fz',Ed}$ і коригувального коефіцієнта κ_R (діапазон допустимих значень обмежений $k_{ss} \leq 40$)

Система	Місцерозташування	$M_{0,fz',Ed}$	κ_R
	m	$\frac{1}{8}\, q_{h,Ed}\, L_a^2$	$\kappa_R = \frac{1 - 0{,}0225\, k_{ss}}{1 + 1{,}013\, k_{ss}}$
	m	$\frac{9}{128}\, q_{h,Ed}\, L_a^2$	$\kappa_R = \frac{1 - 0{,}0141\, k_{ss}}{1 + 0{,}416\, k_{ss}}$
	e	$-\frac{1}{8}\, q_{h,Ed}\, L_a^2$	$\kappa_R = \frac{1 + 0{,}0314\, k_{ss}}{1 + 0{,}396\, k_{ss}}$
	m	$\frac{1}{24}\, q_{h,Ed}\, L_a^2$	$\kappa_R = \frac{1 - 0{,}0125\, k_{ss}}{1 + 0{,}198\, k_{ss}}$
	e	$-\frac{1}{12}\, q_{h,Ed}\, L_a^2$	$\kappa_R = \frac{1 + 0{,}0178\, k_{ss}}{1 + 0{,}191\, k_{ss}}$
Умовні познаки: *1* — розкріплювальний стержень або зона обпирання			

11.1.4.2 *Опір втраті стійкості вільної полиці*

(1) Для стиснутої вільної полиці, опір втраті стійкості рекомендовано підтвердити за критерієм у формулі (11.8):

$$\frac{1}{\frac{\chi_{fz'}\, f_{yb}}{\gamma_{M1}}}\left(\frac{N_{Ed}}{A_{eff}} + \frac{M_{y',Ed}}{W_{eff,y'}}\right) + \frac{M_{fz',Ed}}{\frac{W_{fz'}\, f_{yb}}{\gamma_{M1}}} \leq 1\,, \qquad (11.8)$$

де

$\chi_{fz'}$— понижувальний коефіцієнт для поперечно-крутильної форми втрати стійкості (згинальної втрати стійкості вільної полиці).

із

$$\chi_{fz'} = \frac{1}{\phi_{fz'} + \sqrt{\phi_{fz'}^2 - 0{,}75\, \bar{\lambda}_{fz'}^2}} \leq \min\left(1;\, \frac{1}{\bar{\lambda}_{fz'}^2}\right) \qquad (11.9)$$

$$\phi_{fz'} = 0{,}5\left(1 + 0{,}34\left(\bar{\lambda}_{fz'} - 0{,}4\right) + 0{,}75\, \bar{\lambda}_{fz'}^2\right) \qquad (11.10)$$

Якщо на елемент діє осьове стискальне зусилля $N_{Ed} > 0{,}04\ \ N_{cr,y'}$, згинальну втрату стійкості елемента навколо осі *y'-y'* поперечного перерізу

рекомендовано перевіряти відповідно до формули (8.71) 8.2.5, з урахуванням N_{Ed}, $M_{\mathrm{y,Ed}} = M_{\mathrm{y',Ed}}$ and $M_{\mathrm{z,Ed}} = M_{\mathrm{fz',Ed}}$, із заміною основних осей *y-y* та *z-z* осями центру ваги *y′-y′* та *z′-z′* вільної полиці із додаванням задіяної частини стінки (див. 11.1.4.1(2)), та використанням $\chi_{\mathrm{y}} = \chi_{\mathrm{y'}}$, $\chi_{\mathrm{LT}} = \chi_{\mathrm{fz'}}$ і $\omega_{\mathrm{x,LT}} = 1{,}0$.

(2) Відносну гнучкість $\bar{\lambda}_{\mathrm{fz'}}$ вільної полиці для згинальної втрати стійкості рекомендовано визначати за формулою (11.11):

$$\bar{\lambda}_{\mathrm{fz'}} = \frac{l_{\mathrm{fz'}}}{i_{\mathrm{fz'}}\,\lambda_1} \tag{11.11}$$

з

$$\lambda_1 = \pi\sqrt{\frac{E}{f_{\mathrm{yb}}}}\,, \tag{11.12}$$

де

$l_{\mathrm{fz'}}$ — розрахункова довжина вільної полиці, визначена за (3);

$i_{\mathrm{fz'}}$ — момент інерції поперечного перерізу, складеного із поперечного перерізу брутто вільної полиці та задіяної частини стінки, для згину навколо осі *z′-z′*, див. 11.1.4.1(2);

(3) Розрахункову довжину рекомендовано визначати відповідним розрахунком. За умови, що $0 \le k_{\mathrm{ss}} \le 200$, розрахункову довжину вільної полиці під дією змінного напруження вздовж прогону L (як показано на рисунках 11.3 і 11.4) дозволено обчислювати за формулою (11.13):

$$l_{\mathrm{fz'}} = \eta_1 L_{\mathrm{a}}(1 + \eta_2 {k_{\mathrm{ss}}}^{\eta_3})^{\eta_4}\,, \tag{11.13}$$

де

L_{a} — відстань між розкріплювальними стержнями, або, за відсутності, довжина прогону елемента *L*;

k_{ss} — як показано у 11.1.4.1(7);

від η_1 до η_4— коефіцієнти, що залежать від кількості розкріплювальних стержнів і наведені у таблиці 11.4 для навантаження вагою і у таблиці 11.5 для підйомного навантаження;

Таблиці 11.4 і 11.5 застосовні лише для:

— однакових прогонів;

— однакових відстаней між розкріпленнями із площини (за наявності);

— рівномірно розподіленого поперечного навантаження на елементи і без осьового навантаження;

— систем без напустків або накладок, або елементів з напустками або накладками, за умови що з'єднувальну систему дозволено розглядати як повністю жорстку з постійним моментом інерції

— елементи без розкріплення із площини, або елементи з розкріпленням із площини, яке, за наявності, забезпечує повне бічне розкріплення для вільної полиці у місці його встановлення.

Альтернативно, за винятком консолей, дозволено використовувати наступні значення з формул (11.14) і (11.15):

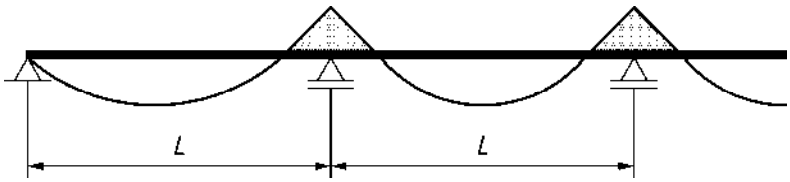
— для навантаження вагою:

$\eta_1 = 0{,}75$ та $\eta_2 = \eta_3 = \eta_4 = 0$; (11.14)

— для підйомного навантаження:

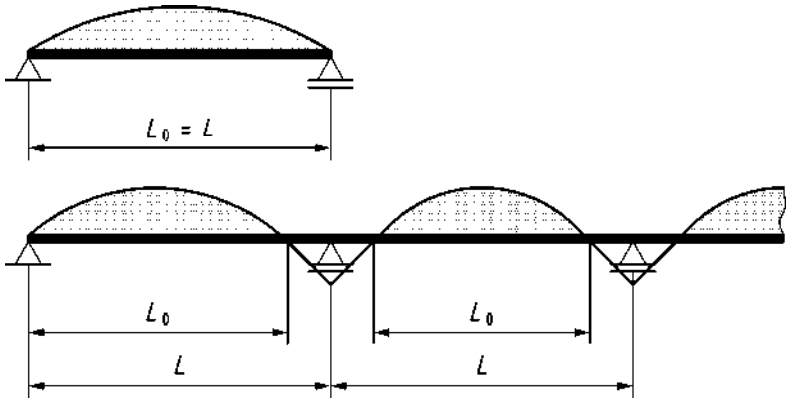
$\eta_1 = 0{,}95$ та $\eta_2 = \eta_3 = \eta_4 = 0$. (11.15)

У з'єднаннях з напустками і накладками розрахункову довжину вільної полиці рекомендовано збільшувати через потенційний вплив неповної жорсткості на розподіл згинального моменту в елементах.



Примітка. Точками позначено стиснуті області

Рисунок 11.3 — Змінне стискальне напруження у вільній полиці для випадків навантаження вагою;



Примітка. Точками позначено стиснуті області

Рисунок 11.3 — Змінне стискальне напруження у вільній полиці для випадків підйомного навантаження;

Таблиця 11.4 — Коефіцієнти η_i для навантаження вагою з 0, 1, 2, 3 чи 4 розкріпленнями із площини

Місцерозташування	Кількість розкріплень із площини	η_1	η_2	η_3	η_4
Крайній прогон	0	0,414	1,72	1,11	−0,178
Проміжний прогон		0,657	8,17	2,22	−0,107
Крайній прогон	1	0,515	1,26	0,868	−0,242
Проміжний прогон		0,596	2,33	1,15	−0,192
Крайній і проміжний прогон	2	0,596	2,33	1,15	−0,192
Крайній і проміжний прогон	3 та 4	0,694	5,45	1,27	−0,168

Таблиця 11.5 — Коефіцієнти η_i для підйомного навантаження з 0, 1, 2, 3 або 4 розкріпленнями із площини

Місцерозташування	Кількість розкріплень із площини	η_1	η_2	η_3	η_4
Шарнірна балка (балка на двох опорах)	0	0,694	5,45	1,27	−0,168
Крайній проліт		0,515	1,26	0,868	−0,242
Проміжний проліт		0,306	0,232	0,742	−0,279
Простий і крайній прогони	1	0,800	6,75	1,49	−0,155
Проміжний проліт		0,515	1,26	0,868	−0,242

Кінець таблиці 11.5

Місцерозташування	Кількість розкріплень із площини	η_1	η_2	η_3	η_4
Шарнірна балка (балка на двох опорах)	2	0,902	8,55	2,18	−0,111
Крайній і проміжний прогони		0,800	6,75	1,49	−0,155
Простий і крайній прогони	3 та 4	0,902	8,55	2,18	−0,111
Проміжний проліт		0,800	6,75	1,49	−0,155

11.1.5 *Бічна пружинна жорсткість, забезпечена вільній полиці елемента*

(1) Часткову бічну зони обпирання, забезпечену вільній полиці елемента профільованим листом, касетними профілями чи сендвіч-панелями рекомендовано моделювати як бічну пружину, що діє на вільну полицю, див. таблицю 11.1. Загальну бічну жорсткість *K* на одиницю довжини рекомендовано визначати за формулою (11.16):

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{K_{\mathrm{A}}} + \frac{1}{K_{\mathrm{B}}} + \frac{1}{K_{\mathrm{C}}}, \qquad (11.16)$$

де

K_{A} — бічна жорсткість, обумовлена поворотною жорсткістю з'єднання між профільованим листом, касетними профілями чи сендвіч-панелями та елементом;

K_{B} — бічна жорсткість, обумовлена зміною форми поперечного перерізу елемента;

K_{C} — бічна жорсткість, обумовлена згинальною жорсткістю профільованого листа.

(2) Значенням $1/K_{\mathrm{C}}$ у формулі (11.16) дозволено знехтувати.

(3) значення K рекомендовано обчислювати за формулою (11.17):

$$\frac{1}{K} = \frac{h_{\mathrm{w}}^2}{C_{\mathrm{D}}} = \frac{h_{\mathrm{w}}^2}{C_{\mathrm{D,A}}} + \frac{h_{\mathrm{w}}^2}{C_{\mathrm{D,B}}} + \frac{h_{\mathrm{w}}^2}{C_{\mathrm{D,C}}}, \qquad (11.17)$$

де

$C_{\mathrm{D,A}}$, $C_{\mathrm{D,B}}$, $C_{\mathrm{D,C}}$ — поворотні жорсткості відповідно до 11.4.2;

h_{w} — висота стінки полиці поперечного перерізу, виміряна між серединними лініями полиць, див. рисунок 11.5.

(4) Поворотну жорсткість $C_{\mathrm{D,B}}$, обумовлену зміною форми поперечного перерізу елемента, дозволено визначати за формулою (11.18):

$$\frac{h_{\mathrm{w}}^2}{C_{\mathrm{D,B}}} = \frac{4\, h_{\mathrm{w}}^2 (1-\nu^2)(h_{\mathrm{d}} + b_{\mathrm{mod}})}{E\, t^3}, \qquad (11.18)$$

де розмір b_{mod} визначають так:

— якщо еквівалентна бічна сила $qh_{,\mathrm{Ed}}$ прагне привести елемент у контакт з профільованим листом у місці з'єднання стінки елемента з полицею:

$$b_{\mathrm{mod}} = a_{\mathrm{fp}} \qquad (11.19)$$

— якщо еквівалентна бічна сила $qh_{,\mathrm{Ed}}$ прагне привести елемент у контакт із профільованим листом на кінці полиці елемента або в місці з'єднання полиці з відгином:

$$b_{\mathrm{mod}} = 2\, a_{\mathrm{fp}} + b\,, \qquad (11.20)$$

де

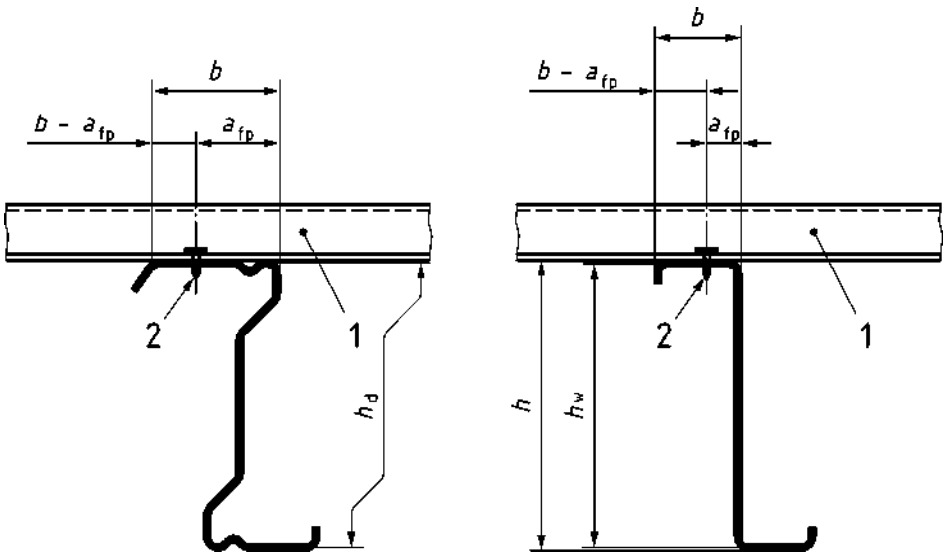
t — товщина елемента;

a_{fp} — це відстань між точкою прикріплення профільованого листа до елемента та стінкою елемента, див. рисунок 11.5;

b — ширина полиці елемента, з'єднаного із профільованим листом, див. рисунок 11.5;

h_{w} — висота стінки полиці елемента, виміряна між серединними лініями полиць, див. рисунок 11.5.

h_{d} — довжина спрямленого перерізу стінки елемента, виміряна між серединними лініями полиць, див. рисунок 11.5.



Умовні познаки:

1 — профільовані листи;

2 — кріпильний виріб

Рисунок 11.5 — Елемент з прикріпленим профільованим листом

11.1.6 Зусилля в елементах, що прикріплюють профільований лист до елемента і сили реакції

(1) Кріпильні вироби, що прикріплюють профільований лист до елемента рекомендовано перевіряти на спільну дію зсувного зусилля q_s *e*, перпендикулярного осі елемента, та розтягувального зусилля q_t *e,* де q_s та q_t дозволено обчислювати за таблицею 11.6, де e — крок кріпильних елементів. Зсувне зусилля обумовлене стабілізувальними впливами, див. EN1 993 -1 -1, рекомендовано додавати до зусилля зсуву $q_s e$. Крім того, зсувне зусилля, обумовлене діафрагмовою роботою, що діє вздовж елемента, рекомендовано векторно додавати до $q_s e$.

Таблиця 11.6 — Зсувне та розтягувальне зусилля у кріпильному виробі

Елемент і навантаження	Зсувне зусилля на одиницю довжини q_s	Розтягувальне зусилля на одиницю довжини q_t
Z-подібний елемент, навантаження вагою	$(1+\xi)\, k_h q_{Ed}$ дозволено прийняти рівним 0	0

Кінець таблиці 11.6

Z-подібний елемент, підйомне навантаження	$(1+\xi)\,k_{\mathrm{h}}\,q_{\mathrm{Ed}}$	$\lvert\,\xi\,k_{\mathrm{h}}\,q_{\mathrm{Ed}}\,h/a_{\mathrm{fp}}\,\rvert + q_{\mathrm{Ed}}$ з $\left(a_{\mathrm{fp}} \cong b/2\right)$
C-подібний елемент, навантаження вагою	$(1-\xi)\,k_{\mathrm{h}} q_{\mathrm{Ed}}$	$\xi\,k_{\mathrm{h}}\,q_{\mathrm{Ed}}\,h/a_{\mathrm{fp}}$
C-подібний елемент, підйомне навантаження	$(1-\xi)\,k_{\mathrm{h}}\,q_{\mathrm{Ed}}$	$\xi\,k_{\mathrm{h}}\,q_{\mathrm{Ed}}\,h/\left(b-a_{\mathrm{fp}}\right)+q_{\mathrm{Ed}}$
з ξ коефіцієнтом відповідно (4) k_{h} Коефіцієнт еквівалентної бічної жорсткості відповідно до таблиці 11.2 a_{fp} див. рисунок 11.5		

(2) Кріпильні вироби, що кріплять елемент до опор, рекомендовано перевіряти на силу реакції R_{w} у площині стінки і поперечні сили реакції F_{R1} і F_{R2} у площинах полиць, див. рисунок 11.6. Сили F_{R1} і F_{R2} дозволено обчислювати за таблицею 11.7. Для похилих покрівель до сил F_{R2} рекомендовано також включати навантаження, паралельні даху. F_{R2} рекомендовано переносити з профільованого листа на верхню полицю елемента і далі вниз на крокви (головні балки) через їх з'єднання з елементами (наприклад, кронштейни зони обпирання). Сили реакції на внутрішній опорі нерозрізного елемента дозволено приймати у 2,2 рази більшими за значення, наведених в таблиці 11.7.

Примітка 1. Для похилих покрівель вертикальні навантаження діляться на складову, перпендикулярну даху, що діє як поперечне навантаження на елементи, і складову, що діє у площині покрівлі.

Примітка 2. Якщо значення F_{R1} є додатним, то у кріпильному виробі розтягувальні зусилля відсутні.

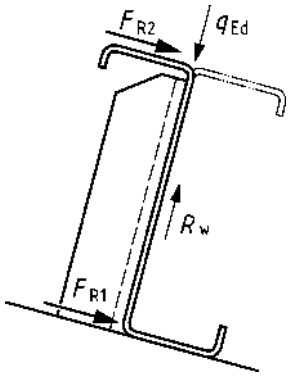


Рисунок 11.6 — Опорні реакції

Таблиця 11.7 — Опорні сили реакції для шарнірних елементів

Елемент і навантаження	Сили реакції на нижній полиці F_{R1}	Сили реакції на верхній полиці F_{R2}
Z-подібний елемент, навантаження вагою	$(1-\zeta)k_h q_{Ed} L/2$	$(1+\zeta)k_h q_{Ed} L/2$
Z-подібний елемент, підйомне навантаження	$-(1-\zeta)k_h q_{Ed} L/2$	$-(1+\zeta)k_h q_{Ed} L/2$
C-подібний елемент, навантаження вагою	$(1-\zeta)k_h q_{Ed} L/2$	$-(1-\zeta)k_h q_{Ed} L/2$
C-подібний елемент, підйомне навантаження	$-(1-\zeta)k_h q_{Ed} L/2$	$(1-\zeta)k_h q_{Ed} L/2$
із ζ — коефіцієнт відповідно (3) k_h — коефіцієнт еквівалентної бічної жорсткості відповідно до таблиці 11.2 L — довжина елемента		

(3) Коефіцієнт ζ дозволено приймати за формулою (11.21):

$$\zeta = 1 - \sqrt[3]{\kappa_R^2}\,, \tag{11.21}$$

де

κ_R — коригувальний коефіцієнт, наведений у таблиці 11.3.

(3) Коефіцієнт ξ дозволено приймати за формулою (11.22):

$$\xi = 0{,}67\,\zeta \tag{11.22}$$

11.2 Касетні профілі, обмежені профільованим листом

11.2.1 *Загальні положення*

(1) Дві вузькі полиці касетних профілів рекомендовано закріплювати з боків прикріпленим профільованим сталевим листом, елементами або іншими подібними складниками.

Примітка. Касетні профілі — це великі профілі швелероподібного типу з двома стінками, двома вузькими полицями з одного боку та однією широкою полицею з іншого боку, як показано на рисунку 11.7.

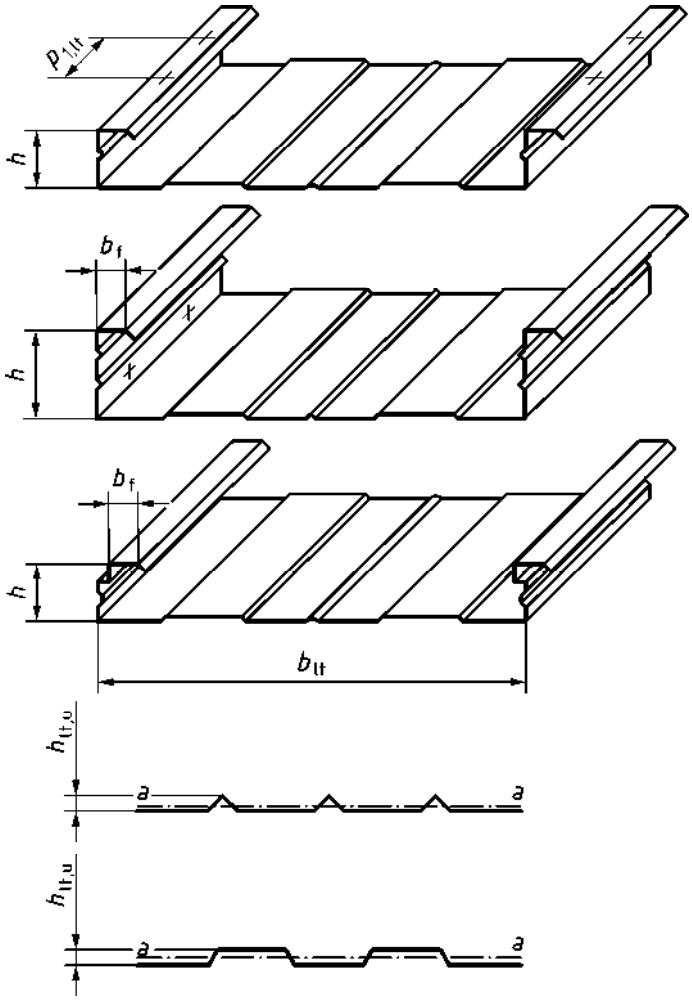


Рисунок 11.7 — Геометричні характеристики типових касетних профілів

(2) Опір стінок касетних профілів зсувним і місцевим поперечним зусиллям рекомендовано обчислювати за 8.1.5—8.1.11, але з використанням розрахункових значень $M_{\mathrm{lt,c,Rd}}$, наведених у (3) або (4).

(3) Розрахункове значення опору згинального моменту $M_{\mathrm{lt,c,Rd}}$ для касетних профілів дозволено визначати згідно з 11.2.2 за умови, що:

— геометричні характеристики знаходяться в межах діапазону,

зазначеного в таблиці 11.8;

— висота гофр $h_{\mathrm{lt,u}}$ широкої полиці не перевищує $h/8$, де h — загальна висота касетних профілів.

Таблиця 11.8 — Діапазон допустимих значень положень у 11.2.2

0,75 мм	≤	t_{nom}	≤	1,5 мм
30 мм	≤	b_{f}	≤	60 мм
60 мм	≤	h	≤	200 мм
300 мм	≤	b_{lt}	≤	600 мм
		$I_{\mathrm{lt,a}}/b_{\mathrm{lt}}$	≤	10 мм^4/мм
		$p_{1,\mathrm{lt}}$	≤	2000 мм

(4) Альтернативно опір згинальному моменту касетних профілів дозволено визначати за результатами випробувань, якщо забезпечено, що випробувальне обладнання не впливає на місцеву роботу касетних профілів.

Примітка. Відповідні випробувальні методики наведено в додатку А.

11.2.2 *Опір згинальному моменту*

11.2.2.1 *Стиснута широка полиця*

(1) Опір згинальному моменту касетного профілю з широкою полицею під дією стиску рекомендовано визначати, використовуючи покрокову методику, описану на рисунку 11.8:

Крок 1: Визначити ефективні площі всіх стиснутих елементів поперечного перерізу, на основі значень коефіцієнту напруження $\psi = \sigma_2/\sigma_1$, отриманих з використанням ефективної ширини стиснутих полиць і площі поперечного перерізу брутто стінки, див. 7.6;

Крок 2: Знайдіть центр ваги ефективного поперечного перерізу і обчисліть розрахункове значення опору згинальному моменту $M_{\mathrm{lt,c,Rd}}$ за формулою (11.23):

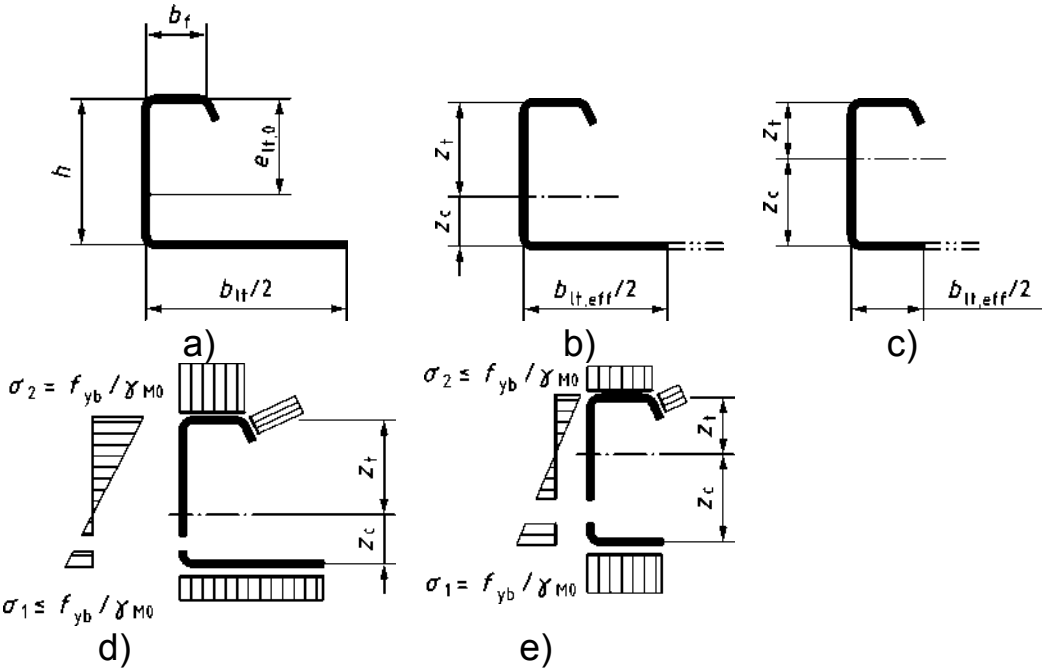
$$M_{\mathrm{lt,c,Rd}} = 0{,}8\, W_{\mathrm{eff,min}}\, \frac{f_{\mathrm{yb}}}{\gamma_{\mathrm{M0}}} \qquad (11.23)$$

із

$$W_{\mathrm{eff,min}} = I_{\mathrm{y,eff}}/z_{\mathrm{c}}\ \text{, але}\ W_{\mathrm{eff,min}} \le I_{\mathrm{y,eff}}/z_{\mathrm{t}}; \qquad (11.24)$$

де

z_{c} та z_{t} такі, як наведено на рисунку 11.8.



Умовні познаки:

a) Поперечний переріз брутто касетного профілю (половина)

b) Поперечний переріз з великою ефективною ділянкою широкої полиці (Крок 1)

c) Поперечний переріз з малою ефективною ділянкою широкої полиці (Крок 1)

d) Ефективний поперечний переріз касетного профілю з великою ефективною ділянкою широкої полиці і відповідними згинальними напруженнями (Крок 2)

e) Ефективний поперечний переріз касетного профілю з малою ефективною ділянкою широкої полиці і відповідними згинальними напруженнями (Крок 2)

Рисунок 11.8 — Визначення опору згинальному моменту. Стиснута широка полиця

11.2.2.2 *Розтягнута широка полиця*

(1) Опір згинальному моменту касетного профілю з широкою полицею під дією розтягу рекомендовано визначати, використовуючи покрокову

методику, описану на рисунку 11.9:

Крок 1: Визначте центр ваги поперечного перерізу брутто;

Крок 2: Обчисліть ефективну ширину широкої полиці $b_{\mathrm{lt,eff,curl}}$, що враховує можливе викривлення полиці, за формулою (11.25):

$$b_{\mathrm{lt,eff,curl}} = \frac{53{,}3 \cdot 10^{10}\, e_{\mathrm{lt},0}^{2}\, t^{3}\, t_{\mathrm{lt,eq}}}{h\, L\, b_{\mathrm{lt}}^{3}}, \qquad (11.25)$$

де

b_{lt} — загальна ширина широкої полиці;

$e_{\mathrm{lt},0}$ — відстань від центральної осі поперечного перерізу брутто до серединної лінії вузьких полиць;

h — загальна висота касетного профілю.

L — проліт касетного профілю;

$t_{\mathrm{lt,eq}}$ — еквівалентна товщина широкої полиці, задана:

$$t_{\mathrm{lt,eq}} = (12\, I_{\mathrm{lt,a}}/b_{\mathrm{lt}})^{1/3} \qquad (11.26)$$

$I_{\mathrm{lt,a}}$ — момент інерції широкої полиці навколо її центральної осі a-a, паралельної до широкої полиці, як показано на рисунку 11.7

Крок 3: Визначити ефективні площі всіх стиснутих елементів, на основі значень коефіцієнту напруження $\psi = \sigma_2/\sigma_1$, отриманих з використанням ефективної ширини полиць і площі поперечного перерізу брутто стінок, див. 7.6;

Крок 2: Знайдіть центр ваги ефективного поперечного перерізу і обчисліть розрахункове значення опору згинальному моменту $M_{\mathrm{lt,c,Rd}}$ за формулою (11.23):полиць

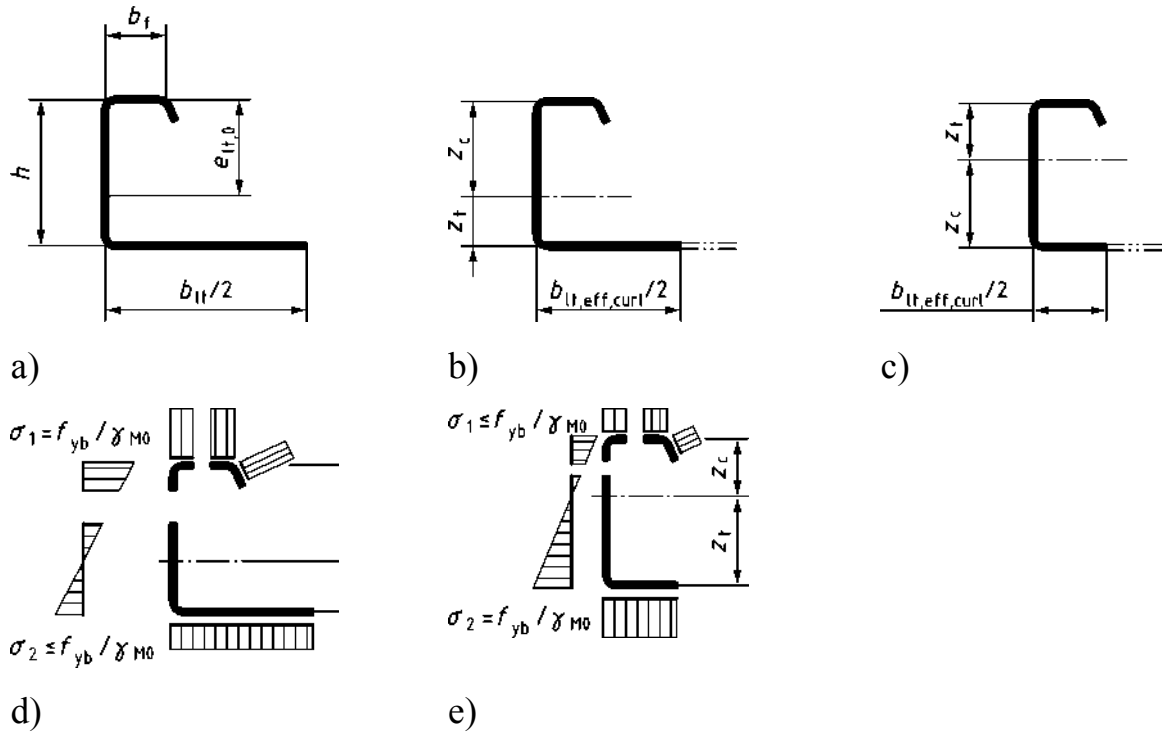
$$M_{\mathrm{lt,t,Rd}} = 0{,}8\, \beta_{\mathrm{lt}}\, W_{\mathrm{eff,com}}\, \frac{f_{\mathrm{yb}}}{\gamma_{\mathrm{M0}}} \ \text{ but } \ M_{\mathrm{lt,t,Rd}} = 0{,}8\, W_{\mathrm{eff,t}}\, \frac{f_{\mathrm{yb}}}{\gamma_{\mathrm{M0}}} \qquad (11.27)$$

із

$W_{\mathrm{eff,com}} = I_{\mathrm{y,eff}}/z_{\mathrm{c}}$

$W_{\mathrm{eff,t}} = I_{\mathrm{y,eff}}/z_{\mathrm{t}}$

β_{lt} — коригувальний коефіцієнт згідно з 11.2.2.4



Умовні позначки:

(a) Поперечний переріз брутто касетного профілю (половина)

(b) Поперечний переріз з великою ефективною ділянкою широкої полиці (Крок 1)

(c) Поперечний переріз з малою ефективною ділянкою широкої полиці (Крок 1)

(d) Ефективний поперечний переріз касетного профілю з великою ефективною ділянкою широкої полиці і відповідними згинальними напруженнями (Крок 2)

(e) Ефективний поперечний переріз касетного профілю з малою ефективною ділянкою широкої полиці і відповідними згинальними напруженнями (Крок 2)

Рисунок 11.9 — Визначення опору згинальному моменту. Розтягнута широка полиця

(2) Впливами запізнення зсуву дозволено нехтувати, якщо $L/b_{\mathrm{lt,eff}} \ge 25$. В іншому випадку приведене значення ρ рекомендовано визначати за 8.1.4.3(1).

(3) Викривленням полиці при визначенні прогинів в граничному стані за експлуатаційною придатністю дозволено нехтувати.

(4) У спрощеному варіанті опір згинальному моменту касетного профілю з непідкріпленою широкою полицею дозволено розраховувати, прийнявши ефективну площу розтягнутої широкої полиці рівною площі перерізу двох стиснутих вузьких полиць.

11.2.2.3 *Втрата стійкості вузьких полиць*

(1) Коефіцієнт кореляції β_{lt}, що виражає зниження опору через втрату стійкості стиснутої вузької полиці, рекомендовано обчислювати за (2)—(4).

Примітка. Опір згинальному моменту касетних профілів з розтягнутою широкою полицею обмежено опором втраті стійкості вузьких полиць. Вузькі полиці закріплені від бічної втрати стійкості за рахунок з'єднання зовнішнього облицювання з касетним профілем. Проміжок між кріпильними виробами в поздовжньому напрямку $p_{1,\mathrm{lt}}$ визначає розрахункову довжину стиснутої вузької полиці.

(2) Для проміжку у поздовжньому напрямку $p_{1,\mathrm{lt}} \leq 300$ мм, коефіцієнт кореляції β_{lt} дозволено приймати рівним 1,0.

(3) Для проміжку у поздовжньому напрямку у межах 300 мм < $p_{1,\mathrm{lt}} \leq 1000$ мм, коефіцієнт кореляції β_{lt} дозволено консервативно обчислювати за формулою (11.28):

$$\beta_{\mathrm{lt}} = 1{,}15 - \frac{p_{1,\mathrm{lt}}}{2\,000}, \tag{11.28}$$

де

$p_{1,\mathrm{lt}}$ — відстань між центрами кріпильних виробів у поздовжньому напрямку, за наявності бічного обмеження вузьких полиць, в [мм], див. рисунок 11.7.

(4) Для проміжку у поздовжньому напрямку у межах 300 мм < $p_{1,\mathrm{lt}}$ ≤ 2000 мм, коефіцієнт кореляції β_{lt} дозволено приймати за формулою (11.29):

$$\beta_{\mathrm{lt}} = \frac{N_{\mathrm{b,Rk,1}}}{N_{\mathrm{b,Rk,ref}}} \tag{11.29}$$

де

$N_{\mathrm{b,Rk,ref}}$ — характеристичне значення опору втраті стійкості вузької полиці касетного профілю, обчислене з урахуванням розрахункової довжини $L_{\mathrm{cr}} = p_{1,\mathrm{lt,ref}} = 300$ мм;

$N_{\mathrm{b,Rk,1}}$ — характеристичне значення опору втраті стійкості вузької

полиці касетного профілю, обчислене для розрахункової довжини $L_{cr} = p_{1,lt}$;

$p_{1,lt}$ — відстань між центрами кріпильних виробів у поздовжньому напрямку, за наявності бічного розкріплення вузьких полиць, див. рисунок 11.7.

Примітка. Формулу (11.29) також дозволено застосовувати для масштабування результатів випробувань для різних поздовжніх відстаней між кріпильними виробами. У такому випадку значення $p_{1,lt,ref}$ відповідають відстані у поздовжньому напрямку між кріпильними виробами, використаними у випробуваннях.

(5) Розрахункове значення опору втраті стійкості стиснутої вузької полиці касетного профілю рекомендовано визначати, використовуючи наступну покрокову методику як для $N_{b,Rk,ref}$, так і для $N_{b,Rk,1}$:

Крок 1: Визначте поперечний переріз брутто стиснутої вузької полиці, складений із вузької полиці, крайового елемента жорсткості та 1/5 частини стінки, як показано на рисунку 11.10.

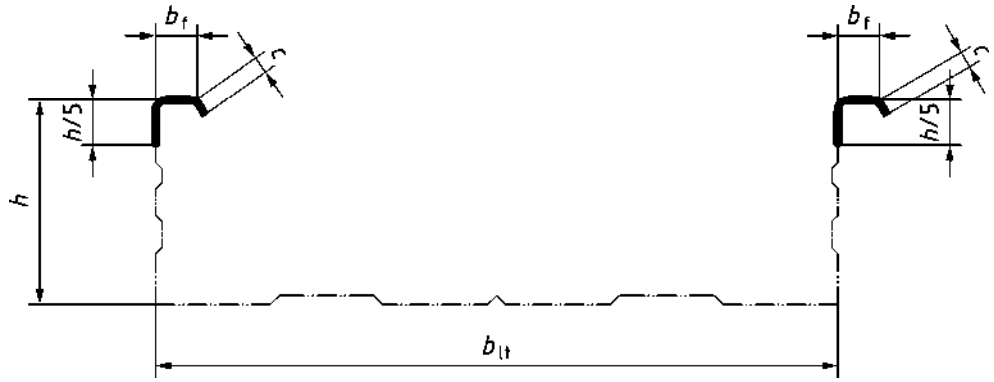


Рисунок 11.10 — Визначення поперечного перерізу брутто стиснутої вузької полиці

Якщо ширина обох вузьких полиць касетного профілю відрізняється, для кожної полиці потрібні окремі розрахунки з використанням коефіцієнта β_{lt}, заснованого на середніх значеннях як для $N_{b,Rk,ref}$, так і для $N_{b,Rk,1}$.

Крок 2: Обчисліть ефективний поперечний переріз вузької полиці, дотримуючись методики, наведеної в 7.6.3.3, з пружинною жорсткістю $K_{st,1}$відповідно до формули (7.17), розрахованої для коефіцієнта $k_{lf} = 0$.

Крок 3: Розрахуйте критичне пружне навантаження втрати стійкості

N_{cr} полиці, використовуючи механічну модель елемента на пружній основі (рисунок 11.11) з пружинною жорсткістю K_{fz} (див. рисунок 11.12), отриманою за формулою (11.30):

$$K_{\mathrm{fz}} = \frac{Et^3}{4(1-\nu^2)(h^3 + 1{,}5h^2 b_{\mathrm{lt}})} \tag{11.30}$$

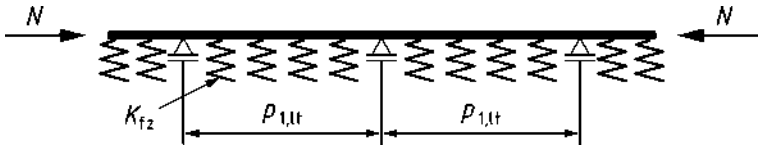


Рисунок 11.11 — Механічна модель стиснутої вузької полиці

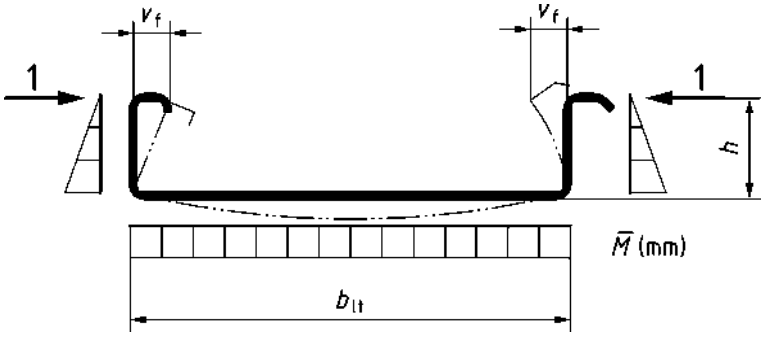


Рисунок 11.12 — Механічна модель обчислення пружинної жорсткості K_{fz}

Примітка. Див. CEN/TR 1993-1-103[3] для критичного пружного навантаження під час втрати стійкості елемента на пружній основі. Альтернативно, критичне пружне навантаження може бути обчислене з використанням $l_{\mathrm{fz}'}$ відповідно до 11.1.4.2.(2).

Крок 4: Отримайте характеристичне значення опору втраті стійкості $N_{\mathrm{b,Rk}}$ полиці відповідно до EN 1993 -1 -1, використовуючи підхід, наведений в 11.1.4.2.

11.2.2.4 *Момент інерції для розрахунку прогинів*

(1) Ефективний переріз для обчислення прогинів дозволено розраховувати за методиками, наведеними в 11.2.2.1 і 11.2.2.2.2, але із заміною f_{yb} на $f_{\mathrm{yb}}/1{,}50$.

11.3 Особливі вимоги до профільованого листа

11.3.1 ***Погонне або зосереджене навантаження на***

[3] На етапі підготування. Стан на момент публікації: prCEN / TR 1993-1-103.

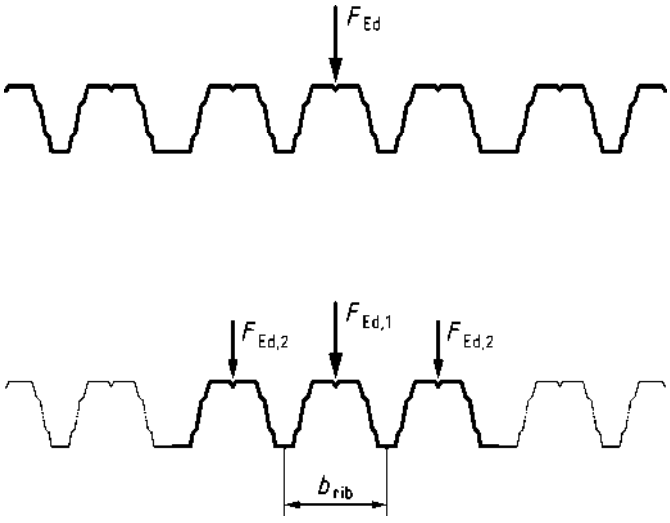
трапецієподібний профільований лист

11.3.1.1 *Загальні положення*

(1) Щоб перевірити опір поперечним зусиллям відповідно до 8.1.6 для погонних та зосереджених навантажень на трапецієподібний профільований лист, рекомендовано врахувати характер розподілу перпендикулярного прогону навантаження, при цьому слід розрізняти прямі навантаження на одне або два сусідніх ребра жорсткості (прямий розподіл навантажень) і непрямий розподіл навантажень (тобто навантаження через несні проміжні системи).

11.3.1.2 *Прямий розподіл навантажень без проміжних систем*

(1) Якщо не виконано точніший розрахунок, дозволено припустити, що зосереджені навантаження F_{Ed} , прикладені до одного або двох сусідніх ребер профільованого листа на відстані $x \leq \mathrm{L}/2$ від зони обпирання, розподілені так, як показано на рисунку 11.13, якщо навантаження прикладене принаймні через дві стінки, а ширина навантаження, паралельна напрямку прогону, становить не менше 50 мм.



Умовні познаки:

F_{Ed} — прикладене навантаження;

$F_{\mathrm{Ed},1}$, $F_{\mathrm{Ed},2}$ — прийнятий розподіл навантажень;

Рисунок 11.13 — Розподіл навантажень без проміжних систем розподілення навантаження

(2) Щоб перевірити опір втраті стійкості трапецієподібного профільованого листа внесок від навантаження на кожне ребро $F_{\mathrm{rib,Ed}}$ рекомендовано приймати за формулою (11.31):

$$F_{\mathrm{rib,Ed}} = \frac{k_{\mathrm{ld,i}}}{100} \cdot F_{\mathrm{Ed,i}}\,, \tag{11.31}$$

де

$k_{\mathrm{ld,i}}$ — коефіцієнт розподілення навантаження відповідно до таблиці 11.9;

$F_{\mathrm{Ed.i}}$ — сприйняте навантаження для прямого розподілу навантажень, див рисунок 11.13.

(3) Також рекомендовано перевірити опір деформації стінки

Таблиця 11.19 — Розподіл навантажень без проміжних систем розподілення навантаження

Розподіл навантажень	Навантажене ребро $k_{\mathrm{ld,1}}$ [%]	Сусіднє ребро $k_{\mathrm{ld,2}}$ [%]
Обидва боки (проміжне ребро)	$(352 - 0{,}8\,b_{\mathrm{rib}})\left(\frac{x}{L_{\mathrm{span}}} - 0{,}5\right)^2 + (12 + 0{,}2\,b_{\mathrm{rib}})$	$(44 - 0{,}1 b_{\mathrm{rib}})\left(1 - 4\left(\frac{x}{L_{\mathrm{span}}} - 0{,}5\right)^2\right)$
Один бік (крайове ребро)	$(240 - 0{,}6\,b_{\mathrm{rib}})\left(\frac{x}{L_{\mathrm{span}}} - 0{,}5\right)^2 + (40 + 0{,}15\,b_{\mathrm{rib}})$	$(60 - 0{,}15 b_{\mathrm{rib}})\left(1 - 4\left(\frac{x}{L_{\mathrm{span}}} - 0{,}5\right)^2\right)$
де L_{span} — проліт профільованого листа; x — відстань від зосередженого навантаження до сусідньої опори; b_{rib} — ширина ребра у [мм].		

11.3.2 *Перфорований профільований лист*

(1) Перфорований профільований лист з отворами, розташованими у вершинах рівностороннього трикутника, як показано на рисунку 11.14, дозволено розраховувати за правилами для суцільного профільованого листа за умови використання ефективної товщини перфорованого профільованого листа згідно з наведеним нижче.

Примітка. Такі правила розрахунку дають досить консервативні значення. Для більш економічних рішень проєктування за результатами випробувань може бути виконане відповідно до розділу 12 та Додатка А.

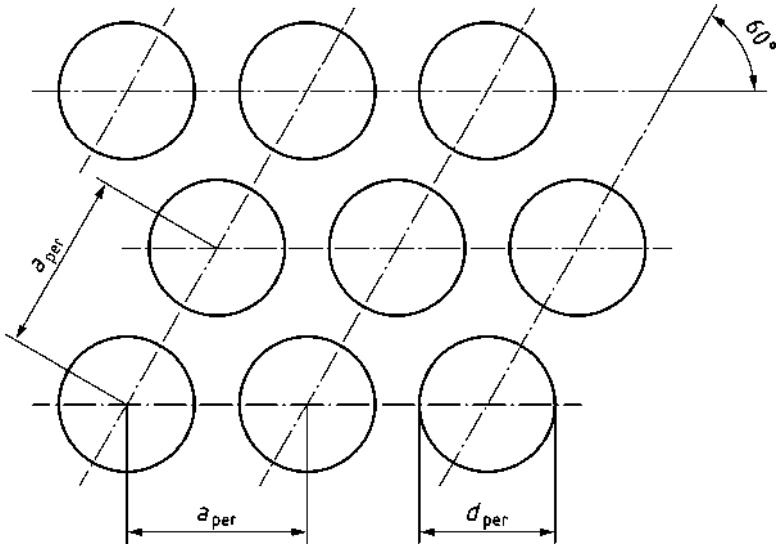


Рисунок 11.14 — Перфорований профільований лист з отворами, розташованими у вершинах рівностороннього трикутника

(2) За умови, що $0{,}2 \le d_{\mathrm{per}}/a_{\mathrm{per}} \le 0{,}9$, характеристики поперечного перерізу брутто дозволено обчислювати за розділом 7, але із заміною значення t на $t_{\mathrm{a,eq}}$, обчисленого за формулою (11.32):

$$t_{\mathrm{a,eq}} = 1{,}18\, t \left(1 - \frac{d_{\mathrm{per}}}{0{,}9\, a_{\mathrm{per}}}\right), \qquad (11.32)$$

де

d_{per} — діаметр перфораційних отворів;

a_{per} — проміжок між центрами перфораційних отворів.

(3) За умови, що $0{,}2 \le d_{\mathrm{per}}/a_{\mathrm{per}} \le 0{,}9$, характеристики ефективного перерізу дозволено обчислювати за розділом 7, але із заміною значення t на $t_{\mathrm{b,eq}}$, обчисленого за формулою (11.33):

$$t_{\mathrm{b,eq}} = t \sqrt[3]{1{,}18 \left(1 - \frac{d_{\mathrm{per}}}{a_{\mathrm{per}}}\right)} \qquad (11.33)$$

(4) Опір окремої стінки зосередженим поперечним зусиллям дозволено розраховувати згідно з 8.1.6 із заміною значення t на $t_{\mathrm{c,eq}}$, визначеного за формулою (11.34):

$$t_{\mathrm{c,eq}} = t\left(1 - \left(\frac{d_{\mathrm{per}}}{a_{\mathrm{per}}}\right)^2 \frac{s_{\mathrm{per}}}{s_{\mathrm{w}}}\right)^{3/2}, \qquad (11.34)$$

де

s_{per} — висота бічної грані перфорованої частини стінки;

s_{w} — повна висота бічної грані стінки.

11.3.3 *Профільований лист з отворами*

(1) Отвори і проплавлення в трапецієподібних або синусоїдальних профільованих листах рекомендовано враховувати під час перевіряння граничних станів за несною здатністю та експлуатаційною придатністю і рекомендовано позначати на компонувальних кресленнях.

(2) Круглі або квадратні отвори діаметром до $d_{\mathrm{per}} = 125$ мм в трапецієподібному або синусоїдальному профільованому листі в прогоні (тільки для моментів провисання) дозволено використовувати без додаткового розрахунку, якщо відстань від кінцевих зон обпирання або точок нульового моменту менше або дорівнює 10% прогону, за умови, що:

— отвори розташовані тільки у полиці, із залишковою шириною $b_{\mathrm{p}} \geq 0{,}2h;$

— навантаження рівномірно розподілене;

— отвори розташовані на відстані не менше чотирьох ребер один від одного, виміряної перпендикулярно напрямку прогону.

(3) Для круглих або квадратних отворів $d_{\mathrm{per}} = 125$ мм (див. рисунок 11.15) в прогоні трапецієподібного профільованого листа (тільки для моментів провисання) рекомендовано визначати ефективну ширину прилеглих до стінок частин полиці, розглядаючи їх як консольні частини шириною b_{p} (див. рисунок 11.15).

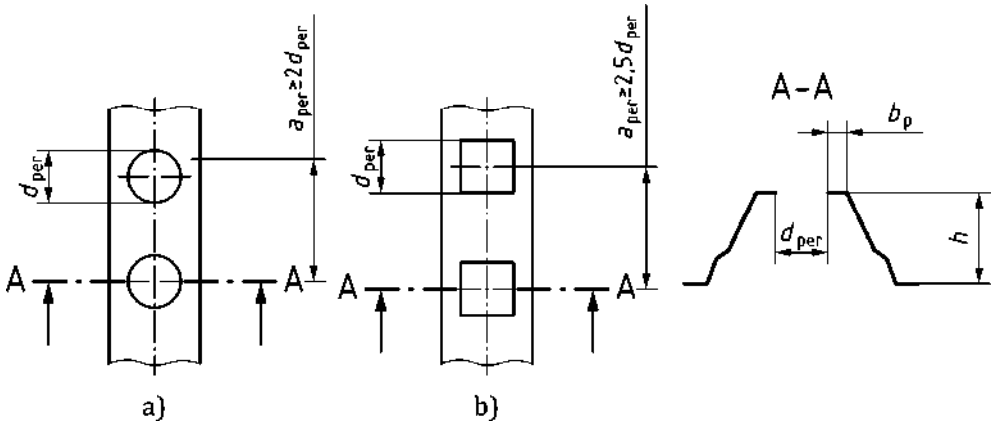
Діапазон застосування наступний:

— отвори розташовані тільки у полиці, із залишковою шириною $b_{\mathrm{p}} \geq 0.2h;$

— навантаження рівномірно розподілене;

— отвори розташовані на відстані не менше чотирьох ребер один від одного, виміряної перпендикулярно напрямку прогону;

— у полиці не більше двох отворів з мінімальними відстанями, показаними на рисунку 11.15.



Умовні познаки:

a) — вид зверху на верхню полицю з круглими отворами;

b) — вид зверху на верхню полицю з квадратними отворами

Рисунок 11.15 — Профільований лист з круглими (a) або квадратними (b) отворами у полиці

(4) Для отворів розміром від 125 мм× 125 мм до 300 мм × 300 мм в трапецієподібному профільованому листі (тільки для моментів провисання) підсилення дозволено не виконувати за наступних умов:

a) отвір рекомендовано укріпити пластиною товщиною $t \geq 1{,}5\ t_{\text{sheet}} \geq 1{,}13$ мм відповідно до таблиці 11.10;

b) профільований лист, на який діє тільки рівномірно розподілене навантаження;

c) ослаблений отвором поперечний переріз розраховують на розрахункове значення згинального моменту, помножене на величину α_{per}, як зазначено у формулі (11.35):

$$\frac{\alpha_{\text{per}}\, M_{\text{Ed}}}{M_{\text{Rd}}} \leq 1\,, \qquad (11.35)$$

де

α_{per} — коефіцієнт підсилення навантаження, див. таблицю 11.11;

d) ослаблений отвором поперечний переріз розраховують на розрахункове

значення згинального моменту, помножене на величину α_{per}, як зазначено у формулі (11.35);

e) рекомендовано влаштовувати не більше одного отвору на кожен метр в напрямку, перпендикулярному ширині профільованого листа;

f) ширину накладної пластини рекомендовано вибирати так, щоб закрити принаймні дві стінки з кожного боку отвору, і вона має бути не менше 600 мм.

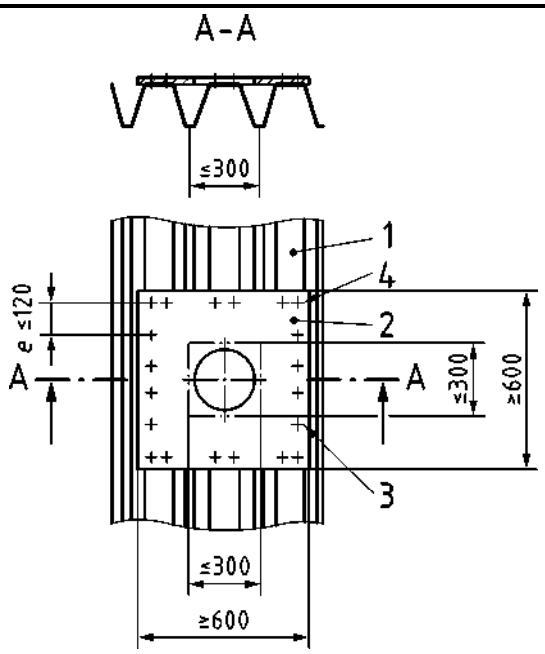
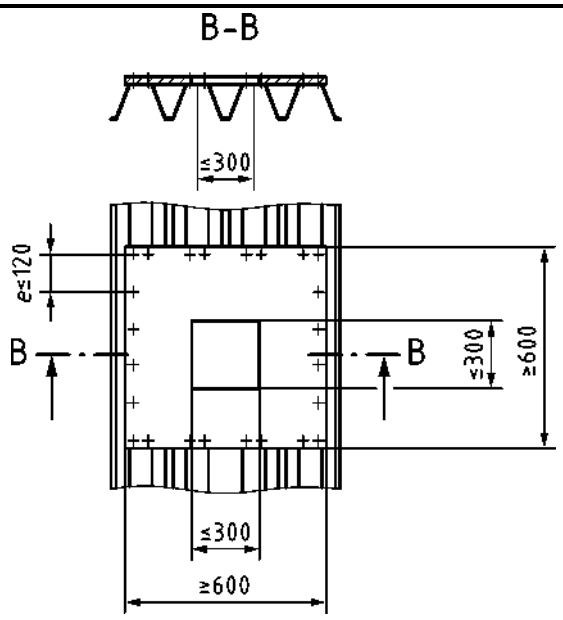
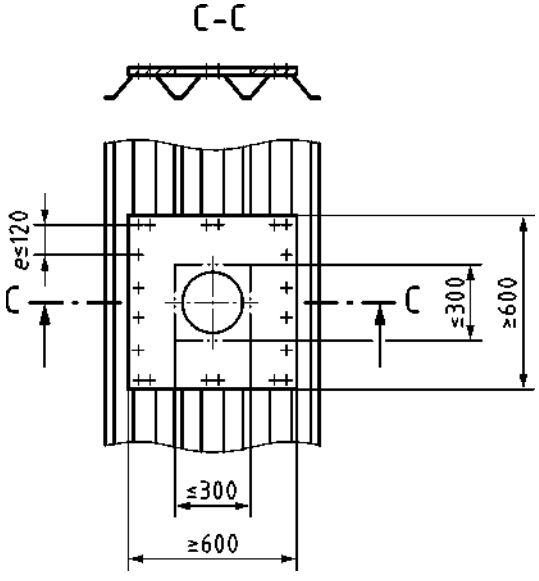
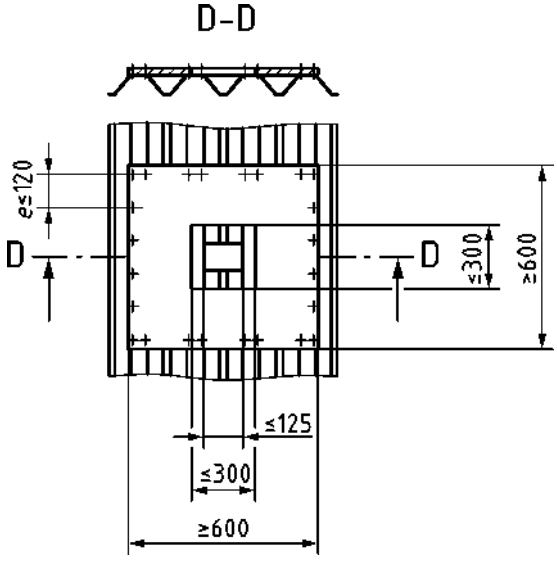
g) накладну пластину рекомендовано прикріплювати до верхніх полиць трапецієподібного або синусоїдального профільованого листа, як показано в таблиці 11.10.

(5) Підсилення круглих або квадратних отворів у касетному профілі дозволено не виконувати, якщо стінки і принаймні 100 мм прилеглої до стінки полиці касетного профілю залишаються на місці. Відстань між отворами, виміряна між їх внутрішніми краями, рекомендовано приймати щонайменше в два рази більше ширини широкої полиці b_{lt} касетного профілю.

(6) Підсилюючі елементи навколо отворів рекомендовано встановлювати так, щоб існуюча геометрія профілю трапецієподібних листів або касетного профілю не змінювалася — навіть у місцях кріплення до підсилювального елемента. Потрібно щоб підсилювальні елементи відповідали щонайменше таким самим вимогам щодо захисту від корозії, що і прилеглий профільований лист.

(7) Мінімальний діаметр глухих заклепок у з'єднанні поздовжнього краю профільованого листа, прилеглого до отвору в зоні укладання, становить 4 мм, а мінімальний діаметр гвинтів 4,2 мм.

Таблиця 11.10 — Отвори у профільованих листах, елементах кріплення накладних пластин до верхніх полиць

 **а) Малий крок ребер** Отвір розташований майже по центру відносно верхньої полиці; Отвір у профільованому листі: 300 мм × 300 мм; Накладна пластина з круглим отвором.	 **а) Малий крок ребер** Отвір розташований майже по центру відносно нижньої полиці; Отвір у профільованому листі: 300 мм × 300 мм; Накладна пластина з квадратним отвором: 300 мм × 300 мм.
 **с) Великий крок ребер** Отвір розташований майже по центру відносно верхньої полиці; Отвір у профільованому листі: 300 мм × 300 мм; Накладна пластина з круглим отвором.	 **с) Великий крок ребер** Отвір розташований майже по центру відносно нижньої полиці; Отвір у профільованому листі: 125 мм × 125 мм (розрахунок засновано на прямокутному отворі в накладній пластині розміром 300 мм × 300 мм).

Таблиця 11.11 — Коефіцієнт підсилення навантаження α_{per} для отворів у зоні укладання

Діаметр отвору d_{per} [мм]	Коефіцієнт підсилення навантаження [a] α_{per}
≤ 200	1,5
300	2,5
[a] Для діаметрів отвору від 200 мм до 300 мм значення α_{per} дозволено обчислювати лінійною інтерполяцією.	

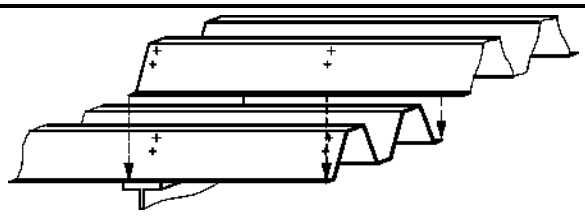
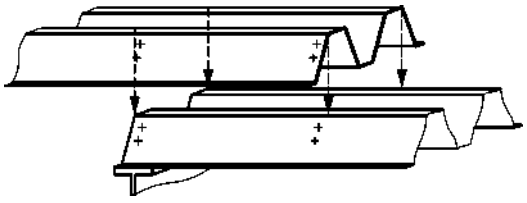
11.3.4 *Трапецієподібний профільований лист з напустками в місці обпирання*

11.3.4.1 *Напустки із опором моменту*

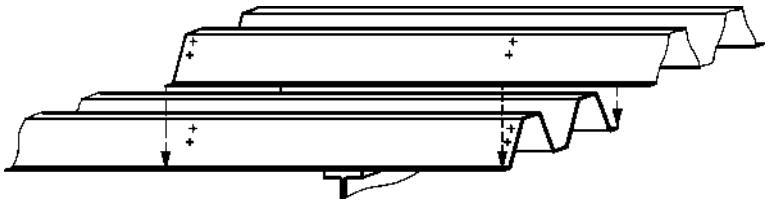
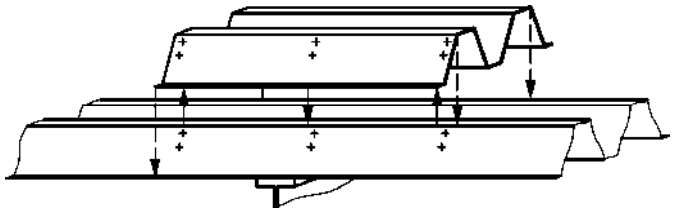
11.3.4.1.1 *Загальні положення*

(1) Зону напустків на кінцях профільованого листа дозволено проєктувати на передавання лише згинальних моментів в зоні навколо внутрішніх опор нерозрізних систем. Різні системи напустків, показані в таблиці 11.12, дозволено приймати з розмірами відповідно до 11.3.4.1—11.3.4.5.

Таблиця 11.12 — Статична схема профільованого листа, розташованого унапусток

11.3.4.2	Одинарний напусток з консольним нижнім профільованим листом **SOL-L**	
11.3.4.3	Одинарний напусток з консольним верхнім профільованим листом **SOL-U**	

Кінець таблиці 11.11

11.3.4.4	Подвійний напусток **DOL**	
11.3.4.5	Суцільний профільований лист, підсилений над опорою **CR**	

(2) Для профільованого листа товщиною більше 1,0 мм, в залежності від поперечного перерізу (наприклад, круті стінки, $\phi > 75°$ і плоский жолоб, див. рисунок 11.16), плоскі листи дозволено розташовувати між нижніми полицями всередині зони обпирання для поліпшення контакту і розподілу навантаження у напустках (див. EN 1090 -4).

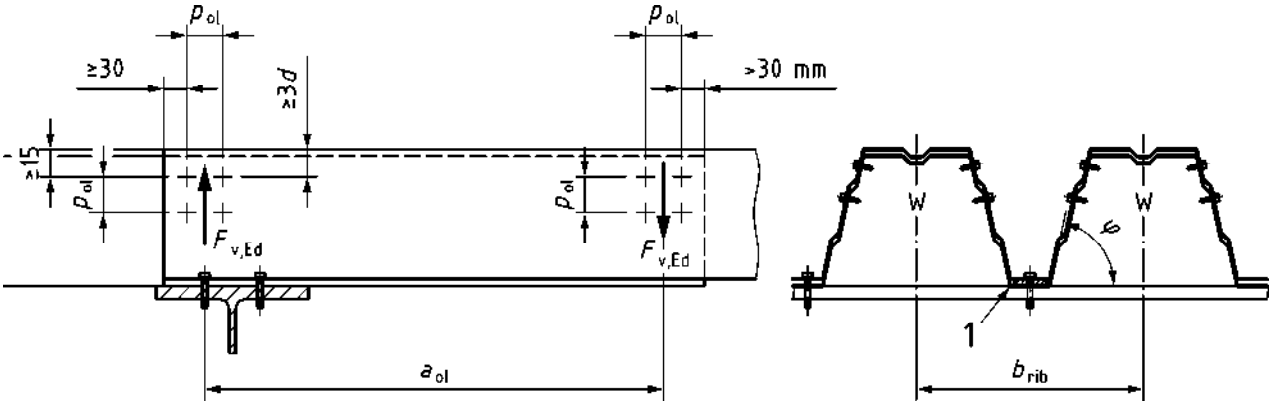
(3) Для профільованого листа з частково перфорованою стінкою, кріпильні вироби рекомендовано розташовувати на неперфорованих ділянках стінки.

(4) Напустки не потрібно розглядати як такі, що передають згинальні моменти в касетному профілі.

11.3.4.1.2 *Суцільний профільований лист у напустках з кріпильними виробами в стінці*

(1) Профільований лист із напустком дозволено вважати суцільним, якщо довжина перекриття a_{ol} становить не менше $0{,}08L$, кріпильні вироби розташовані так, як показано на рисунку 11.16, а довжини сусідніх прогонів приблизно однакові.

(2) Для кріпильних виробів рекомендовано застосовувати обмеження на відстань між краями, зазначені на рисунку 11.16.



де $4d \leq p_{\text{ol}} \leq 10d$

$p_{\text{ol}} \geq 40$ мм

Умовні познаки:

1 — прокладка плоского листа

Рисунок 11.16 — Трапецієподібний профільований лист з одинарним напустком на опорі

(3) У кожному вертикальному ряді, що примикає до вільного краю верхнього профільованого листа, рекомендовано передбачати не менше двох кріпильних виробів.

11.3.4.1.3 *Статична схема, що враховує деформації в напустках і з'єднаннях*

(1) Для цілей розрахунку рекомендовано використовувати статичну схему відповідно до рисунка 11.17, де кріпильні вироби змодельовані у вигляді пружин із жорсткістю пружини $K_{\text{ol,f}}$ або $K_{\text{ol,w}}$ відповідно до (4).

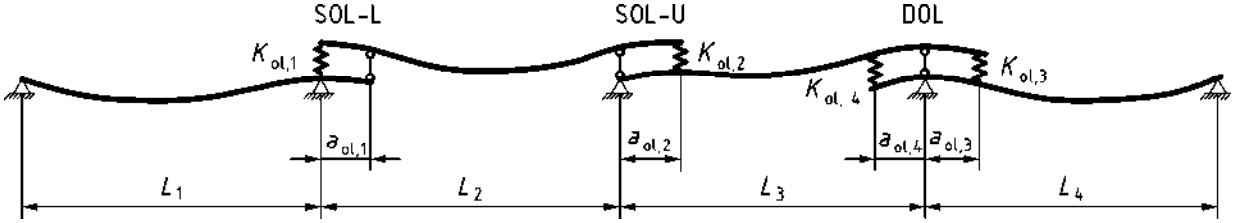


Рисунок 11.17 — Статична схема трапецієподібного профільованого листа з одинарним напустком на опорах

(2) Довжину напустка рекомендовано приймати в межах $0{,}065\ L$ — $0{,}11\ L$, де L — більший з сусідніх прогонів; рекомендовано, щоб довжина напустка не перевищувала $0{,}15$ від довжини меншого з суміжних прогонів.

(3) Відстані між кінцями і краями, а також проміжок між кріпильними виробами рекомендовано приймати відповідними вимогам, зазначеним у 10.3, а для кріпильних виробів у гребені або жолобі — вимогам, зазначеним в таблиці 11.13.

(4) Пружинну жорсткість з'єднань рекомендовано приймати

для кріпильних виробів у полиці за формулою (11.36):

$$K_{\mathrm{ol,f}} = 0{,}5\, k_{\mathrm{ol}}\, E \sqrt{\frac{t^3\, d_{\mathrm{w}}}{h_{\mathrm{w}} b_{\mathrm{p}}}} \qquad (11.36)$$

для кріпильних виробів в полицях: деформацію дозволено виключити, тобто.

$$K_{\mathrm{ol,w}} = \infty\,, \qquad (11.37)$$

де

k_{ol} — коефіцієнт, відповідно до таблиці 11.13;

d — діаметр кріпильного виробу;

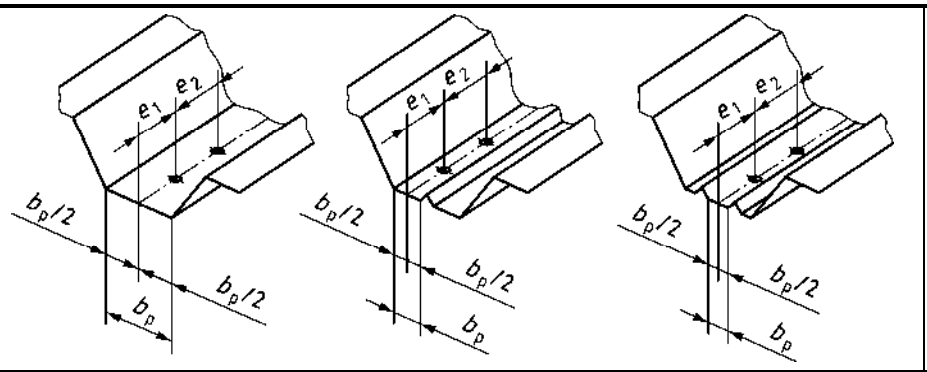
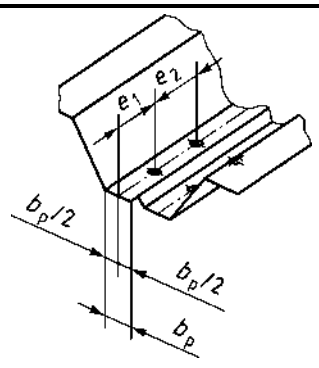
d_{w} — діаметр шайби;

h_{w} — висота профілю;

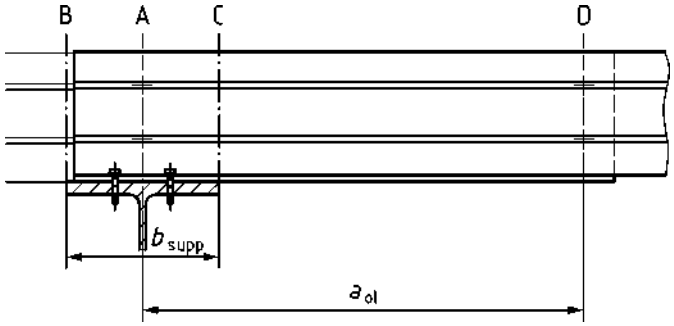
b_{p} — ширина плоскої частини полиці відповідно до таблиці 11.13.

Пружинна жорсткість у формулі (11.36) відноситься до окремої полиці. У випадку з'єднання двох полиць деформації подвоюються, тобто застосовують $K_{\mathrm{ol,i}} = 0{,}5\, K_{\mathrm{ol,f}}$.

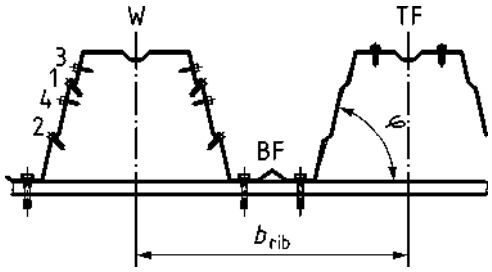
Таблиця 11.13 — Розташування кріпильних виробів у зоні обпирання і коефіцієнт k_{ol}

	
$e_1 \geq b_{\mathrm{p}}$, $e_2 \geq 40$ мм $k_{\mathrm{ol}} = 0{,}07$	$e_1 \geq b_{\mathrm{p}}$,, $e_2 \geq 40$ мм $k_{\mathrm{ol}} = 0{,}13$

(5) Кріпильні вироби на кінцях напустків рекомендовано розподілити по всій висоті стінки і закріпити у порядку, зазначеному на рисунку 11.18 (1,2,3,...); за необхідності їх дозволено розташовувати у два вертикальних ряди.



(a) Одинарний напусток типу SOL-L



(b) Альтернативне розташування кріпильних виробів

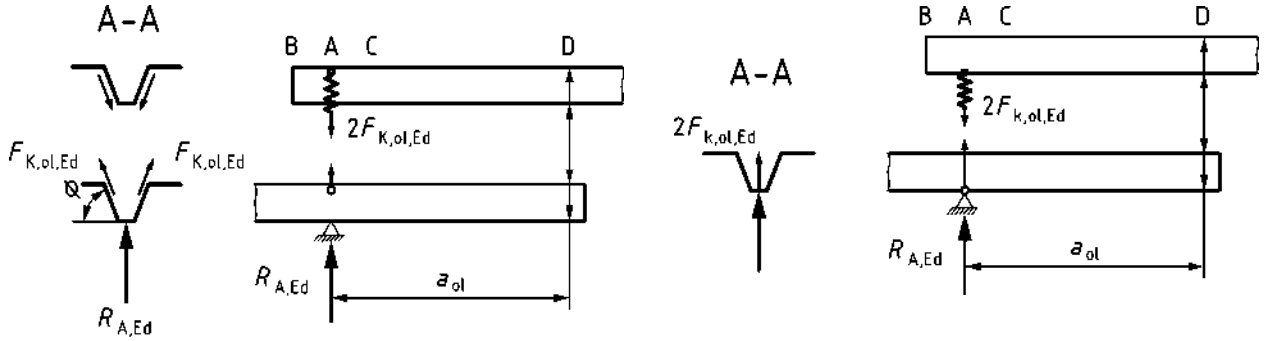
Рисунок11.18 — Трапецієподібний профільований лист з одинарним напустком у зоні обпирання (SOL-L)

(6) Кріпильні вироби рекомендовано розраховувати на зусилля в пружинах статичної схеми відповідно до рисунку 11.17, з урахуванням нахилу стінки.

11.3.4.2 *Одинарний напусток з накладенням нижнього профільованого листа (Single overlap with overlapping lower sheeting; SOL-L)*

(1) Якщо переважає навантаження вагою, кріпильні вироби на консольному кінці (розділ D на рисунку 11.19) у випадку SOL-L дозволено не застосовувати. У випадку дії підйомної сили профільований лист рекомендовано розглядати як опертий шарнірно.

(2) Проєктування нижнього профільованого листа рекомендовано виконувати залежно від розташування кріпильних виробів: W, TF або BF відповідно до рисунка 11.18.



(a) Чергування W або TF (кріпильні вироби у стінках або гребенях)

(b) Чергування BF (кріпильні вироби в жолобі)

Рисунок 11.19 — Опорна реакція на напустку нижнього профільованого листа (SOL-L)

(3) Кріпильні вироби рекомендовано розраховувати на розрахункове значення зсувного зусилля в кожній стінці, взяте з формули (11.38):

$$F_{\mathrm{k,ol,Ed}} = \frac{\left|M_{\mathrm{supp,Ed}}\right|}{2\, a_{\mathrm{ol}} \sin\phi}\; b_{\mathrm{rib}} \quad \text{for SOLL}\,, \tag{11.38}$$

де

$M_{\mathrm{supp,Ed}}$ — розрахункове значення згинального моменту на опорі;

a_{ol} — довжина напустку, показана на рисунку 11.17;

ϕ — кут нахилу стінки відносно полиць, див. рисунок 11.18;

b_{rib} — ширина ребра (крок профілю).

11.3.4.3 *Одинарний напусток з накладенням верхнього профільованого листа (Single overlap with overlapping upper sheeting; SOL-U)*

(1) Для напустку верхнього профільованого листа (SOL -U, відповідно до таблиці 11.12) опорну реакцію приймають розподіленою по верхньому і нижньому профільованому листу відповідно до рисунку 11.20.

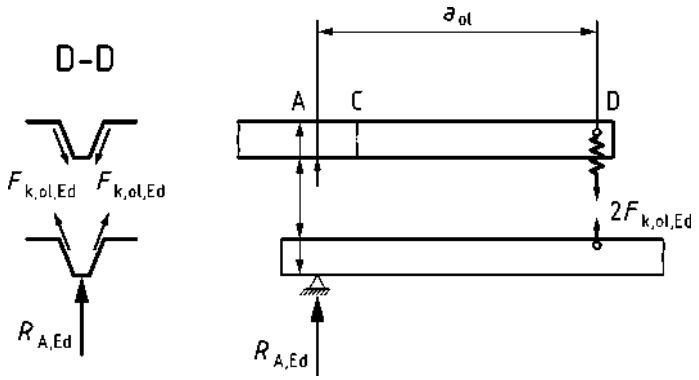


Рисунок 11.120 — Опорна реакція на напустку верхнього профільованого листа (SOL L)

(3) Кріпильні вироби рекомендовано розраховувати на розрахункове значення зсувного зусилля в кожній стінці, прийняте за формулою (11.39):

$$F_{\mathrm{k,ol,Ed}} = \frac{\left|M_{\mathrm{supp,Ed}}\right| + a_{ol}\,\left|V_{\mathrm{supp,l,Ed}}\right|}{2\,a_{\mathrm{ol}}\sin\phi}\;b_{\mathrm{rib}} \text{ для SOLU ,} \qquad (11.39)$$

де

$M_{\mathrm{supp,Ed}}$ — розрахункове значення згинального моменту на опорі;

$V_{\mathrm{supp,l,Ed}}$ — розрахункове значення зсувного зусилля зліва від опори на рисунку 11.20;

a_{ol} — довжина напустку, показана на рисунку 11.20;

ϕ — кут нахилу стінки відносно полиць, див. рисунок 11.18;

b_{rib} — ширина ребра (крок профілю).

11.3.4.4 *Подвійний напусток (Double overlap; DOL)*

(1) Опір згинальному моменту в області подвійного напустку (DOL відповідно до таблиці 11.12), на який одночасно діє згинальний момент і опорна реакція, рекомендовано приймати як суму опору згинальному моменту нижнього профільованого листа у зоні обпирання і опору згинальному моменту верхнього профільованого листа, див. рисунок 11.21.

Рекомендовано, щоб згинальний момент і опорна реакція, обумовлені цими впливами, відображали той факт, що підвищена жорсткість подвійного профільованого листа може змінити розподіл внутрішніх зусиль в профільованому листі, і рекомендовано збільшити їх не менше ніж в 1,1

рази в порівнянні зі значеннями, що виникають у відповідному суцільному профільованому листі.

(2) Якщо згинальний момент обчислено із використанням моделі, показаної на рисунку 11.17, опір згинальному моменту дозволено прийняти як суму опорів згинальному моменту двох листів на опорі.

(3) Рекомендовано, щоб кріпильні вироби на кінці напустку витримували розрахункове значення зсувного зусилля, прийнятого за формулою (11.40):

$$F_{\mathrm{K,ol,Ed}} = \frac{\left|M_{\mathrm{supp,Ed}}\right|/2 + q_{\mathrm{Ed}}\, a_{\mathrm{ol}}^2\, /2}{2\, a_{\mathrm{ol}} \sin\phi}\; b_{\mathrm{rib}} \;\text{ для DOL}\,, \qquad (11.40)$$

де

$M_{\mathrm{supp,Ed}}$ — розрахункове значення згинального моменту на опорі;

ϕ — кут нахилу стінки відносно полиць, див. рисунок 11.18;

a_{ol} — довжина напустку, показана на рисунку 11.21;

b_{rib} — ширина ребра (крок профілю).

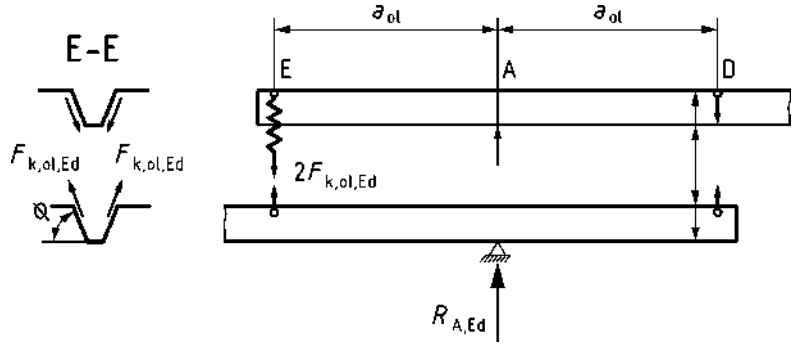


Рисунок 11.21 — Опорна реакція і згинальний момент у профільованому листі із подвійним перекриттям (DOL)

(4) Профільований лист за межами кінців напустку (точки D і E на рисунку 11.21) рекомендовано перевіряти на наявність згинального моменту в цій області, без необхідності враховувати взаємодію з опорною реакцією між двома листами.

(5) Кінець верхнього профільованого листа рекомендовано перевіряти на опорну реакцію $F_{\mathrm{K,ol,Ed}}$, а опір R_{wRd} рекомендовано розраховувати виходячи з навантаженої довжини, що дорівнює

вертикальній відстані між кріпильними виробами в перерізі E.

(6) Якщо переважає навантаження вагою, а за відповідного поєднання навантажень підйомне навантаження відсутнє, кріпильні вироби на консольному кінці D, показаному на рисунку 11.21, дозволено не використовувати.

11.3.4.5 *Місцеве армування (CR)*

(1) Опір профільованого листа, підсиленого додатковим профільованим листом, розташованим поверх суцільного профільованого листа (CR відповідно до таблиці 11.12 і рисунку 11.22), дозволено визначати за методикою, описаною для подвійного напустку в 11.3.4.4.

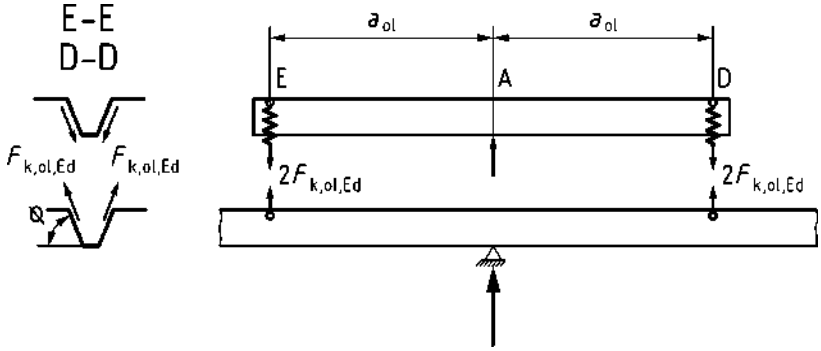


Рисунок 11.22 — Опорна реакція на суцільному профільованому листі із підсиленням (CR)

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

(3) Якщо профільований лист для підсилення розташовують під суцільним профільованим листом, опір зсуву і вигину над зоною обпирання дозволено прийняти рівним сумі опорів двох листів. Профільований лист за межами кінців напустку рекомендовано перевіряти відповідно до 11.3.4.4(4).

11.3.5 ***Трапецієподібний профільований лист з бічним напустком***

(1) Напусток вздовж шва (бічний напусток) профільованого листа дозволено використовувати для збільшення жорсткості і опору згину під

дією розподілених навантажень (які рекомендовано приймати постійними в поперечному напрямку). У такому випадку розрахункове значення опору профільованого листа згинальному моменту дозволено збільшити множенням на коефіцієнт, прийнятий за формулою (11.41):

$$\mu_{\mathrm{so}} = 1 + 1{,}02\,\frac{n_{\mathrm{p}}}{n_{\mathrm{c}}} - 0{,}02\,\frac{n_{\mathrm{c}}}{n_{\mathrm{p}}}, \qquad (11.41)$$

де

n_{c} — кількість гофр між поздовжнім краєм листа і відповідним краєм наступного листа, див. рисунок 11.23;

n_{p} — кількість цілих гофр з напустками профільованого листа в межах шириниn_{c}, помноженої на b_{rib}, див. рисунок 11.23.

з

$$1 \le n_{\mathrm{p}} \le n_{\mathrm{c}} \qquad (11.42)$$

та

$$n_{\mathrm{p}} \ge n_{\mathrm{c}}/7 \qquad (11.43)$$

(2) Детальні правила наведено в EN 1090-4.

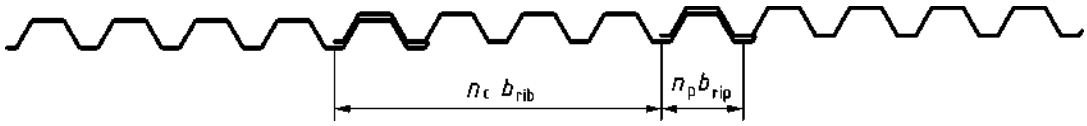


Рисунок 11.23 — Боковий напусток профільованого листа

11.4 Бічні і крутильні обмеження елементів, забезпечені профільованим листом, касетними профілями або сендвіч-панелями

11.4.1 *Бічне розкріплення елементів*

11.4.1.1 *Загальні положення*

(1) Якщо профільований лист, касетні профілі або сендвіч-панелі з'єднані з елементом і виконано умову, виражену формулою (11.44), елемент дозволено розглядати як обмежений з боків в місці з'єднання в площині профільованого листа, касетних профілів або сендвіч-панелей.

$$S \geq \left(EI_{\mathrm{w}} \frac{\pi^2}{L^2} + GI_{\mathrm{T}} + EI_{\mathrm{z}} \frac{\pi^2}{L^2} 0{,}25\, h^2 \right) \frac{70}{h^2}, \qquad (11.44)$$

де

S — зсувна жорсткість, забезпечена профільованими листами, касетними профілями або сендвіч-панелями від деформації в їх площині;

I_{w} — Константа депланації елемента;

I_{T} — константа кручення елемента;

I_{z} — момент інерції навколо другої головної осі поперечного перерізу елемента;

L — проліт елемента;

h — висота елемента.

(2) Формулу (11.44) дозволено також використовувати для перевірки поперечної стійкості полиць елементів, з'єднаних з різними видами облицювання, відмінними від профільованого листа, касетного профілю або сендвіч-панелей, за умови, що з'єднання мають придатну до застосування конструкцію.

11.4.1.2 *Бічне розкріплення забезпечене трапецієподібним профільованим листом*

(1) Зсувну жорсткість трапецієподібного профільованого листа, прикріпленого до елемента на кожному ребрі і з'єднаного з кожним бічним напустком, дозволено визначати за формулою (11.45):

$$S = 1\,000 \sqrt{t^3} \left(50 + 10 \sqrt[3]{L_{\mathrm{dia}}}\right) \frac{a_{\mathrm{pur}}}{h_{\mathrm{w}}} \quad \text{in [N]}, \qquad (11.45)$$

де

t — розрахункова товщина профільованого листа в [мм];

L_{dia} — загальна довжина покрівельної мембрани в напрямку прогону трапецієподібного профільованого листа у [мм];

a_{pur} — відстань між елементами в [мм], див. рисунок 11.24;

h_{w} — висота профілю профільованого листа у[мм];

Формула (11.45) застосовна тільки якщо між профільованим листом і кінцевими кроквами передбачено з'єднувальні елементи, що працюють на зріз.

(2) Якщо профільований лист з'єднаний тільки з крайовим елементом діафрагми на кожному другому ребрі, то значення *S*, задане формулою (11.45), рекомендовано домножити на 0,20.

Примітка. Додаткову інформацію щодо зсувної жорсткості *S* трапецієподібного профільованого листа див. у керівництві ECCS (примітка до 11.5.1 (3)) або проєктування на основі випробувань.

11.4.1.3 *Бічне розкріплення забезпечене касетними профілями*

(1) Для сталевих касетних профілів зсувну жорсткість S визначають за формулою (11.46):

$$S = S_{\mathrm{lt}}\, a_{\mathrm{pur}}\,, \tag{11.46}$$

де

S_{lt} — зсувна жорсткість діафрагми сталевого касетного профілю на одиницю довжини, відповідно до (2);

a_{pur} — відстань між елементами.

(2) Зсувну жорсткість S_{lt} на одиницю довжини дозволено отримувати за формулою (11.47):

$$S_{\mathrm{lt}} = \frac{k_{\alpha}\, L_{\mathrm{dia}}\, b_{\mathrm{lt}}}{p_{1,\mathrm{lt}}(b - b_{\mathrm{lt}})}\,, \tag{11.47}$$

де

L_{dia} — загальна довжина зсувної діафрагми (у напрямку прогону касетних профілів);

b — загальна ширина зсувної діафрагми ($b = \Sigma\, b_{\mathrm{lt}}$);

$p_{1,\mathrm{lt}}$ — відстань між центрами кріпильних виробів у поздовжньому напрямку;

k_{α} — коефіцієнт жорсткості.

(3) Коефіцієнт жорсткості k_{α} дозволено приймати рівним 2000 Н/мм,

якщо тільки в результаті випробувань не було отримано точніші значення.

(4) Рекомендовано щоб розрахункове значення зсувного потоку в касетному профілі $v_{\mathrm{lt,Ed}}$ на одиницю довжини прогону, обумовлене розрахунковими навантаженнями граничного стану за несною здатністю не перевищувало розрахункове значення зсувного потоку $v_{\mathrm{lt,Rd}}$ на одиницю довжини прогону, задане формулою (11.48):

$$v_{\mathrm{lt,Rd}} = 8{,}43\, E \sqrt[4]{I_{\mathrm{lt,a}} (t/b_{\mathrm{lt}})^9}\,, \tag{11.48}$$

де

$I_{\mathrm{lt,a}}$ — момент інерції широкої полиці навколо її центральної осі a-a, див. рисунок 11.7;

b_{lt} — загальна ширина широкої полиці.

(5) зсувний потік у касетному профілі $v_{\mathrm{lt,Ed,ser}}$ на одиницю довжини прогону, обумовлений розрахунковими навантаженнями граничного стану за роботопридатністю $v_{\mathrm{lt,Rd,ser}}$ на одиницю довжини прогону, задано формулою (11.49):

$$v_{\mathrm{lt,Rd,ser}} = \frac{S_{\mathrm{lt}}}{750}\,, \tag{11.49}$$

де

S_{lt} — зсувна жорсткість діафрагми сталевого касетного профілю на одиницю довжини прогону, обчислена за (2).

11.4.1.4 *Бічне розкріплення забезпечене сендвіч-панелями*

(1) Зсувна жорсткість сендвіч-панелей, з'єднаних з елементом не менше ніж однією парою і не більше ніж чотирма парами кріпильних виробів дозволено обчислювати за формулою (11.50):

$$S = \frac{k_{\mathrm{v}}}{2\, b_{\mathrm{sw}}} \sum_{k=1}^{n_{\mathrm{k}}} c_{\mathrm{k}}^2\,, \tag{11.50}$$

де

k_{v} — зсувна жорсткість, визначена за таблицею 11.14;

b_{sw} — ширина панелі;

c_k — відстань між двома кріпильними виробами у парі *k*;

n_k — кількість пар кріпильних виробів на одну панель з опорою.

Сендвіч-панелі рекомендовано розташовувати перпендикулярно елементам.

Примітка. Додаткову інформацію щодо зсувної жорсткості сендвіч - панелей (наприклад, з огляду на відстань між краями з'єднувачів) наведено в публікації ECCS 135/публікації CIB 379: Європейські рекомендації щодо розкріплення сталевих конструкцій сендвіч-панелями (2014).

Таблиця 11.14 — Зсувна жорсткість k_v [кН/мм] кріпильних елементів

Номінальна товщина внутрішнього лицьового листа	Марка сталі		
	S 220GD	S 280GD	≥ S 320GD
0,40 мм	1,6	1,9	2,0
0,50 мм	2,0	2,3	2,5
0,63 мм	2,4	2,9	3,1
0,75 мм	2,8	3,3	3,6
Примітка. Допускається лінійна інтерполяція в залежності від марки сталі і номінальної товщини внутрішнього лицьового листа.			

(2) Таблицю 11.14 дозволено застосовувати в межах діапазонів, наведених у таблиці 11.15. Впливом основного матеріалу на значення k_2 дозволено знехтувати.

Таблиця 11.15 — Діапазон застосування таблиці 11.14

Номінальний діаметр кріпильних виробів d	5,5 мм ≤ d ≤ 8,0 мм
Загальна товщина панелі D	D ≥ 40 мм
Номінальна товщина внутрішньої панелі облицювання, t_{F2}	0,40 мм ≤ t_{F2} ≤ 1,00 мм
Номінальна товщина опорної конструкції, t_{supp}	1,50 мм≤ t_{supp}

11.4.2 *Обмеження повороту елементів*

11.4.2.1 *Загальні положення*

(1) Обмеження повороту, забезпечене елементу профільованим листом, сендвіч-панелями або касетними профілями, з'єднаними з його верхньою полицею, дозволено моделювати як поворотну пружину, що діє на верхню полицю елемента, див. рисунок 11.24. Загальну поворотну жорсткість пружини C_{D} рекомендовано визначати за формулою (11.51)

$$C_{\mathrm{D}} = \frac{1}{\frac{1}{C_{\mathrm{D,A}}} + \frac{1}{C_{\mathrm{D,B}}} + \frac{1}{C_{\mathrm{D,C}}}}, \qquad (11.51)$$

де

$C_{\mathrm{D,A}}$ — поворотна жорсткість пружини (на одиницю довжини елемента) для з'єднання між елементами та профільованим листом, сендвіч-панелями або касетними профілями;

$C_{\mathrm{D,B}}$ — поворотна жорсткість пружини (на одиницю довжини елемента), обумовлена зміною форми поперечного перерізу елемента, визначена за розрахунком деформацій депланації поперечного перерізу елемента з вільною стиснутою полицею. Де стиснута полиця є з'єднаною: $C_{\mathrm{D,B}} = \infty$;

$C_{\mathrm{D,C}}$ — поворотна жорсткість пружини (на одиницю довжини елемента), що відповідає згинальній жорсткості профільованого листа, сендвіч -панелі або касетних профілів.

(2) Значення $C_{\mathrm{D,A}}$, $C_{\mathrm{D,B}}$, $C_{\mathrm{D,C}}$ дозволено отримувати розрахунково або за результатами випробування (див. розділ 12 і А.6), або їх поєднанням.

(3) Значення $C_{\mathrm{D,C}}$ дозволено обчислювати як мінімальне значення за формулою (11.52) , обчислене за аналітичною моделлю типу, показаного на рисунку 11.24, з урахуванням поворотів прилеглих елементів і ступеня жорсткості профільованого листа, касетних профілів або сендвіч-панелей:

$$C_{\mathrm{D,C}} = m/\theta\,, \qquad (11.52)$$

де

m — прикладений згинальній момент на одиницю ширини профільованого листа, касетних профілів або сендвіч-панелей, прикладений як зазначено на рисунку 11.24;

θ — результуючий поворот, виміряний як показано на рисунку 11.24 [радіан].

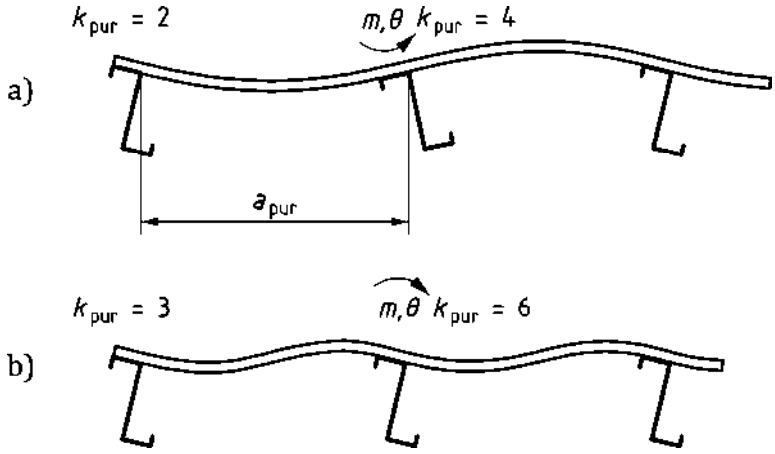


Рисунок 11.24 — Модель для обчислення $C_{D,C}$

(4) Альтернативно, консервативне значення $C_{D,C}$ дозволено обчислювати за формулою (11.53):

$$C_{D,C} = \frac{k_{pur}\, EI_{eff}}{a_{pur}}, \qquad (11.53)$$

де k_{pur} — коефіцієнт, що враховує тип елемента, наприклад, з урахуванням елементів на рисунку 11.24, з наступними значеннями:

— кінцевий елемент, випадок (a) на рисунку 11.24: $k_{pur} = 2$; (11.54)

— кінцевий елемент, випадок (b) на рисунку 11.24: $k_{pur} = 3$; (11.55)

— проміжний елемент, випадок (a) на рисунку 11.24: $k_{pur} = 4$ (11.56)

— проміжний елемент , випадок (b) на рисунку 11.24: $k_{pur} = 6$; (11.57)

де

I_{eff} — ефективний момент інерції на одиницю ширини профільованого листа, касетного профілю або сендвіч-панелей;

a_{pur} — відстань між елементами, див. рисунок 11.24.

11.4.2.2 *Обмеження повороту, забезпечене трапецієподібним профільованим листом*

(1) Для трапецієподібного профільованого листа, прикріпленого до верхньої полиці елемента, за умови, що кріпильні вироби, що з'єднують лист з елементом, розташовані по центру верхньої полиці, значення $C_{D,A}$

дозволено визначати за формулою (11.58):

$$C_{\mathrm{D,A}} = C_{100} \cdot k_{\mathrm{ba}} \cdot k_{\mathrm{t}} \cdot k_{\mathrm{b,corr}} \cdot k_{\mathrm{A}} \cdot k_{\mathrm{bu}}\,, \qquad (11.58)$$

де

$k_{\mathrm{ba}} = (b_{\mathrm{a}}/100)^2$ якщо $b_{\mathrm{a}} < 125$ мм; (11.59)

$k_{\mathrm{ba}} = 1{,}25\ (b_{\mathrm{a}}/100)$ якщо 125 мм ≤ b_{a} < 200 мм; (11.60)

$k_{\mathrm{t}} = (t_{\mathrm{nom}}/0{,}75)^{1{,}1}$ якщо $t_{\mathrm{nom}} \geq 0{,}75$ мм; верхнє (додатне) розташування профільованого листа (відносно нейтральної осі); (11.61)

$k_{\mathrm{t}} = (t_{\mathrm{nom}}/0{,}75)^{1{,}5}$ якщо t_{nom} ≥ 0,75 мм; нижнє (від'ємне) розташування профільованого листа (відносно нейтральної осі); (11.62)

$k_{\mathrm{t}} = (t_{\mathrm{nom}}/0{,}75)^{1{,}5}$ якщо t_{nom} < 0,75 мм; (11.63)

$k_{\mathrm{b,corr}} = 1{,}0$ якщо b_{corr} ≤ 185 мм; (11.64)

$k_{\mathrm{b,corr}} = 185/b_{\mathrm{corr}}$ якщо b_{corr} > 185 мм; (11.65)

K_{a} — коефіцієнт, що залежить від навантаження і розташування профільованого листа наступним чином:

— для навантаження вагою:

$k_{\mathrm{A}} = 1{,}0 + (q_{\mathrm{pur}} - 1{,}0)\cdot 0{,}08$ якщо $t_{\mathrm{nom}} = 0{,}75$ мм; верхнє (додатне) розташування профільованого листа (відносно нейтральної осі) (11.66)

$k_{\mathrm{A}} = 1{,}0 + (q_{\mathrm{pur}} - 1{,}0)\cdot 0{,}16$ якщо $t_{\mathrm{nom}} = 0{,}75$ мм; нижнє (від'ємне) розташування профільованого листа (відносно нейтральної осі); (11.67)

$k_{\mathrm{A}} = 1{,}0 + (q_{\mathrm{pur}} - 1{,}0)\cdot 0{,}095$ якщо $t_{\mathrm{nom}} = 1{,}00$ мм; верхнє (додатне) розташування профільованого листа (відносно нейтральної осі) (11.68)

$k_{\mathrm{A}} = 1{,}0 + (q_{\mathrm{pur}} - 1{,}0)\cdot 0{,}095$ якщо $t_{\mathrm{nom}} = 1{,}00$ мм; нижнє (від'ємне) розташування профільованого листа (відносно нейтральної осі); (11.69)

де

q_{pur} $[\text{кН/м}] \le 12$ кН/м — навантаження, сприйняте елементом від профільованого листа;

з урахуванням того, що:

— дозволено лінійну інтерполяцію між $t_{\text{nom}} = 0{,}75$ і $t_{\text{nom}} = 1{,}0$ мм;

— для $t_{\text{nom}} < 0{,}75$ мм: $k_{\text{A}} = 1{,}0$;

— для $t_{\text{nom}} > 1$ мм, формулу (11.65) і (11.66) для k_{A} рекомендовано застосовувати із $t_{\text{nom}} = 1$ мм.

— для підйомного навантаження:

$k_{\text{A}} = 1{,}0$; (11.70)

$$k_{\text{bu}} = \sqrt{\frac{b_{\text{u,max}}}{b_{\text{u}}}}$$ якщо $b_{\text{u}} > b_{\text{u,max}}$, в інших випадках $k_{\text{bu}} = 1$; (11.71)

де

b_{a} — ширина полиці елемента [у мм];

b_{corr} — ширина гофра [у мм];

b_{u} — ширина прикріпленої до елемента полиці профільованого листа, див. таблицю 11.16;

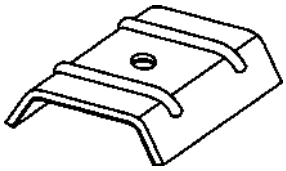
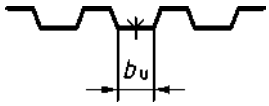
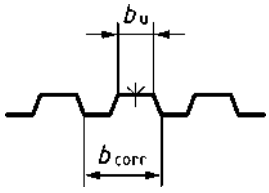
$b_{\text{u,max}}$ — наведено у таблиці 11.16;

C_{100} — коефіцієнт повороту, наведений в таблиці 11.16, що представляє значення $C_{\text{D,A}}$ при $b_{\text{a}} = 100$ мм.

Примітка. Положення профільованого листа вважають додатнім, якщо вузька полиця контактує з елементом, і від'ємним — коли з елементом контактує широка полиця.

(2) За умови, що між профільованим листом і елементом відсутня ізоляція, значення коефіцієнта повороту C_{100} дозволено визначати за Таблицею 11.16.

Таблиця 11.16 — Коефіцієнт повороту C_{100}трапецієподібного профільованого листа

Положення профільованого листа		Лист, прикріплений через		Крок кріпильних виробів;		Діаметр шайби	C_{100}	$b_{u,max}$
Додатне [a]	Від'ємне [a]	Жолоб	Гребінь	$e = b_{corr}$	$e = 2b_{corr}$	[мм]	[кНм/м]	[мм]
Для навантаження вагою:								
×		×		×		22	5,2	40
×		×			×	22	3,1	40
	×		×	×		K_a	10,0	40
	×		×		×	K_a	5,2	40
	×	×		×		22	3,1	120
	×	×			×	22	2,0	120
Для підйомного навантаження:								
×		×		×		16	2,6	40
×		×			×	16	1,7	40
Умовні познаки: b_{corr} — ширина гофра; b_u — ширина прикріпленої до елемента полиці профільованого листа.								
K_a позначає сталеву сідлоподібну шайбу з $t \geq 0{,}75$ мм, див. нижче 							Лист, прикріплений: — через жолоб:  — через гребінь: 		
Значення в цій таблиці дійсні для: — гвинтів для кріплення листів діаметром: $\Phi = 6{,}3$ мм; — сталевих шайб товщиною: $t_w \geq 1{,}0$ мм.								
[a] Положення профільованого листа вважають додатнім, якщо вузька полиця контактує з елементом, і від'ємним — коли з елементом контактує широка полиця.								

11.4.2.3 *Обмеження повороту, забезпечене алюмінієвим трапецієподібним профільованим листом*

(1) Значення $C_{D,A}$ для алюмінієвого трапецієподібного профільованого листа, що відповідає EN 1999-1-4, та прикріпленого до верхньої полиці елемента, дозволено визначати за формулою (11.72):

$$C_{\mathrm{D,A}} = C_{100} \cdot k_{\mathrm{ba}} \cdot k_{\mathrm{t}} \cdot k_{\mathrm{b,corr}} \cdot k_{\mathrm{bu}}\,, \qquad (11.72)$$

де

$k_{\mathrm{ba}} = (\mathrm{b_a}/100)^2$ якщо $b_{\mathrm{a}} < 100$ мм; (11.73)

$k_{\mathrm{ba}} = 1{,}25\ (\mathrm{b_a}/100)$ якщо 125 мм ≤ b_{a} < 200 мм; (11.74)

$k_{\mathrm{t}} = (t_{\mathrm{nom}}/0{,}7\ \text{мм})$ якщо $t_{\mathrm{nom}} \geq 0{,}70$ мм; навантаження вагою; (11.75)

$k_{\mathrm{t}} = 0{,}0$ ящо $t_{\mathrm{nom}} < 0{,}70$ мм; навантаження вагою; (11.76)

$k_{\mathrm{t}} = 1{,}0$ якщо $t_{\mathrm{nom}} \geq 0{,}80$ мм; підйомне навантаження; (11.77)

$k_{\mathrm{t}} = 0{,}0$ якщо $t_{\mathrm{nom}} < 0{,}80$ мм; підйомне навантаження; (11.78)

$k_{\mathrm{b,corr}} = 1{,}0$ якщо $b_{\mathrm{corr}} \leq b_{\mathrm{corr,max}}$; (11.79)

$k_{\mathrm{b,corr}} = b_{\mathrm{corr,max}}/b_{\mathrm{corr}}$ якщо $b_{\mathrm{corr}} > b_{\mathrm{corr,max}}$; (11.80)

$k_{\mathrm{bu}} = \sqrt{\dfrac{b_{\mathrm{u,max}}}{b_{\mathrm{u}}}}$ якщо $b_{\mathrm{u}} > b_{\mathrm{u,max}}$, в інших випадках $k_{\mathrm{bu}} = 1$; (11.81)

де

b_{a} — ширина полиці елемента [у мм];

b_{corr} — ширина гофра [у мм];

$b_{\mathrm{corr,max}}$ — наведено у таблиці 11.17;

b_{u} — ширина прикріпленої до елемента полиці профільованого листа;

$b_{\mathrm{u,max}}$ — наведено у таблиці 11.17;

C_{100} — коефіцієнт повороту, наведений в таблиці 11.16, що представляє значення $C_{\mathrm{D,A}}$ при b_{a} = 100 мм.

(2) За умови, що між профільованим листом і елементом відсутня ізоляція, значення коефіцієнта повороту C_{100} дозволено визначати за Таблицею 11.17.

Таблиця 11.17 — Коефіцієнт повороту C_{100} для алюмінієвого трапецієподібного профільованого листа

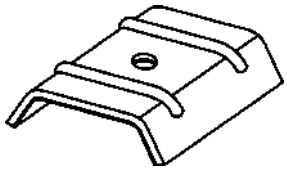
Положення профільованого листа		Лист, прикріплений через		Крок кріпильних виробів;		Шайба		C_{100}	$b_{\mathrm{corr,max}}$	$b_{\mathrm{u,max}}$
Додатне[a]	Від'ємне[a]	Жолоб	Гребінь	$e = b_{\mathrm{corr}}$	$e = 2b_{\mathrm{corr}}$	⌀, [мм]	t, [мм]	[кНм/м]	[мм]	
Для навантаження вагою:										
×		×		×		19	≥ 1,0	7,0	124	35
×		×			×	19	≥ 1,0	4,0	124	35
×			×	×		19	≥ 1,0	3,2	200	35
×			×		×	19	≥ 1,0	2,0	200	35
Для підйомного навантаження:										
	×	×			×	19	≥ 1,0	1,3	124	63
	×		×		×	K_{a}	≥ 0,75	3,0	124	63
×		×			×	19	≥ 1,0	4,1	124	20

Умовні познаки:

b_{corr} — ширина гофра;

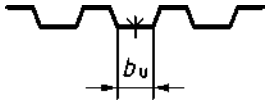
b_{u} — ширина прикріпленої до елемента полиці профільованого листа.

K_{a} позначає сталеву сідлоподібну шайбу з $t \geq 0{,}75$ мм, див. нижче

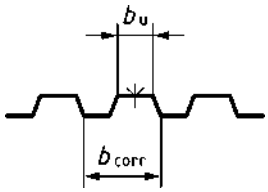


Лист, прикріплений:

— через жолоб:



— через гребінь:



[a] Положення профільованого листа вважають додатнім, якщо вузька полиця контактує з елементом, і від'ємним — коли з елементом контактує широка полиця.

11.4.2.4 *Обмеження повороту, забезпечене касетними профілями*

(1) Якщо не було виконано точніший розрахунок, для сталевих касетних профілів $t_{\mathrm{nom}} \geq 0{,}75$ мм і $b_{\mathrm{lt}} \leq 600$ мм, дозволено використовувати жорсткість з'єднання $C_{\mathrm{D,A}} = 1{,}7$ кНм/м. Касетний профіль рекомендовано закріплювати не менше ніж двома кріпильними виробами на кожній панелі і

на кожній опорі з відстанню ≤ 75 мм між кріпильним елементом і стінкою, як показано на рисунку 5 EN 1090 -4:2018.

Примітка. Також це застосовне до касетних профілів із перфорацією відповідно до 11.3.2.

11.4.2.5 *Обмеження повороту, забезпечене сендвіч-панелями*

(1) Для сендвіч-панелей рекомендовано використовувати знижену поворотну жорсткість $C_{\mathrm{D,A}}$ на основі результатів випробувань, щоб врахувати вдавлювання кріпильного виробу і потенційну наявність зазору між верхньою полицею елемента і внутрішньою поверхнею сендвіч-панелі, викликаних підйомним навантаженням.

Для навантаження вагою поворотну жорсткість $C_{\mathrm{D,A}}$

— для елементів, симетричних відносно головної осі із мінімальним моментом інерції, дозволено приймати значення за формулою (11.82):

$$C_{\mathrm{D,A}} = 0{,}75\, k_{\mathrm{c1}}\, E_{\mathrm{C,t,\theta}}\, b_{\mathrm{a}}^2 \qquad (11.82)$$

— для елементів з Σ-, Z-, U- або C-подібними поперечними перерізами дозволено приймати за формулою (11.83):

$$C_{\mathrm{D,A}} = 0{,}75\, k_{\mathrm{c2}}\, E_{\mathrm{C,t,\theta}}, \qquad (11.83)$$

де

$$E_{\mathrm{C,t,\theta}} = \frac{E_{\mathrm{C}}}{1 + \varphi_{\mathrm{\theta,t}}} \sqrt{k_1^3} \qquad (11.84)$$

із

E_{c} — Модуль пружності основного матеріалу, див. таблицю 11.19;

k_1 — коефіцієнт відповідно A.5.5.5, EN 14509:2013;

b_{a} — ширина полиці елемента;

k_{c2} і k_{c2} — коефіцієнти, наведені у таблиці 11.18;

(2) Інші параметри, а також діапазон застосування формул (11.82)—(11.84) наведено в таблиці 11.19.

Таблиця 11.18 — Коефіцієнти k_{c1} і k_{c2}

Основний матеріал	Геометричні характеристики зовнішньої лицьової поверхні (біля голівки кріпильного виробу)	k_{c1} [—]	k_{c2} [мм^2]
PUR/PIR і XPS/EPS	Профільований [a]	0,180	648
	Слабопрофільований / плоский	0,142	511
Мінеральна вата	Профільований [a]	0 089	320
	Слабопрофільований / плоский	0,048	173
[a] Висота профілю ≥ 30 мм.			

Таблиця 11.19 — Додаткові параметри і діапазон застосування формул (11.82)—(11.84) і таблиці 11.18

Параметри, що залежать від тривалості навантаження [t]	
Основні матеріали — PUR/ PIR і XPS/EPS, t=2000 годин	$\varphi_{\theta,2000}$ = 1,29
Основні матеріали — PUR/ PIR і XPS/EPS, t=100000 годин	$\varphi_{\theta,100000}$ = 1,83[a]
Основний матеріал — мінеральна вата, t = 2000 годин	$\varphi_{\theta,2000}$ = 1,35
Основний матеріал — мінеральна вата, t=100000 годин	$\varphi_{\theta,100000}$ = 2,31[a]
Додаткові параметри і діапазон застосування	
Ширина b_a [мм] полиці елемента, симетричного відносно головної осі з мінімальним моментом інерції	60 мм ≤ b_a ≤ 180 мм
Ширина полиці b_a [мм] Σ-, Z-, U- або C-подібного поперечного перерізу	60 мм ≤ b_a ≤ 80 мм
Модуль пружності основного матеріалу E_C; E_C дозволено приймати як середнє значення модуля пружності під дією стиску E_{Cc} і модуля пружності під дією розтягу E_{Ct} E_C = 0,5 (E_{Cc} + E_{Ct}) [Н / мм²]	2,0 Н/мм^2 ≤ E_C ≤ 8,0 Н/мм^2
Товщина листа t_{cor} з обох сторін панелі	0,38 ≤ t_{cor} ≤ 0,71 мм
Характерне значення міцності основного матеріалу на стиск, f_{Cc}	Основні матеріали — PUR/PIR та XPS/EPS: f_{Cc} ≥ 0,08 Н/мм^2 Основний матеріал — мінеральна вата: f_{Cc} ≥ 0,05 Н/мм^2

Кінець таблиці 11.19

Характеристичне значення міцності основного матеріалу на розтяг, f_{Ct}	$f_{Ct} \geq 0{,}06$ Н/мм^2
Діаметр Шайби, d_W	$d_W \geq 16$ мм
Якщо виникають вищі значення параметрів b_a, E_C і t_{cor} дозволено застосовувати розрахункову методику, але рекомендовано зменшити ці значення до відповідних верхніх меж діапазону застосування. Якщо виявлено нижчі значення рекомендовано провести випробування відповідно до EN 14509.	
[a] Значення, задані для тривалості завантаження $t = 100\ 000$ годин, дозволено також застосовувати для триваліших періодів часу.	

11.5 Проєктування з урахуванням роботи обшивки I

11.5.1 *Загальні положення*

(1) Взаємодія між конструктивними елементами та панелями з профільованого листа, запроєктованими для спільної роботи як частини комбінованої конструктивної схеми, дозволено враховувати, як описано в 11.5.

(2) Положення, наведені в 11.5, рекомендовано застосовувати тільки до діафрагм, виготовлених зі сталі.

(3) Діафрагми можуть бути складені з профільованого листового матеріалу, використаного як покрівельне або стінове облицювання чи як настил перекриття. Вони також можуть включати стінові або покрівельні конструкції, складені з касетних профілів.

Примітка. Додаткову інформацію щодо процедури перевірки таких діафрагм можна знайти в публікації ECCS № 88 (1995): *Європейські рекомендації щодо використання металевих профільованих листів, які працюють як діафрагма*.

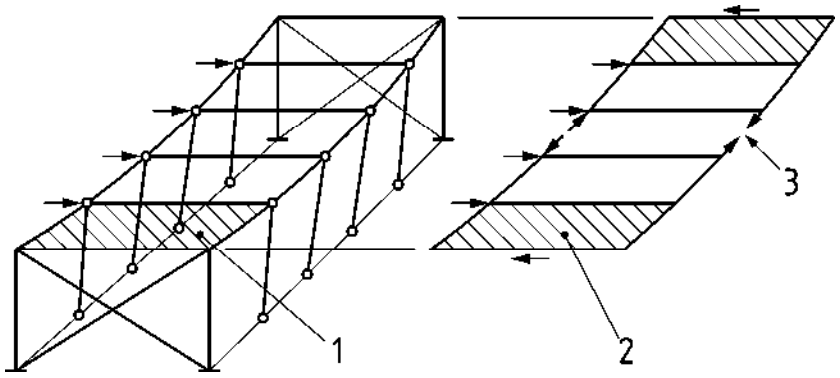
11.5.2 *Діафрагмова робота*

(1) Під час проєктування роботи обшивки, дозволено використовувати внесок діафрагм, застосованих як покрівля, настилу підлоги або облицювання стін, у загальну жорсткість і міцність будівельного каркасу завдяки їх жорсткості і міцності на зсув.

(2) Покрівлі та підлоги дозволено розглядати як високі складані балки,

що простягаються на всю довжину будівлі і сприймають поперечні навантаження в площині та передають їх на торцеві фасади або на проміжні підкріплені рами. Панель обшивки дозволено розглядати як стінку, що сприймає зсувні поперечні навантаження в площині, з крайовими елементами, що діють як полиці, які сприймають осьові розтягувальні та стискальні зусиллям, див. рисунки 11.25 і 11.26.

(3) Аналогічно, прямокутні стінові панелі дозволено розглядати як розкріплювальні системи, що діють як зсувні діафрагми для протидії силам, що діють у площині.



Умовні познаки:

1 — профільовані листи;

2 — поле зсуву у профільованому листі;

3 — зусилля від полиць у крайових елементах;

Рисунок 11.25 — Дія обшивки у будівлі з плоскою покрівлею

11.5.3 *Необхідні умови*

Методи проєктування з урахуванням роботи обшивки, що використовують профільований лист, як невід'ємну частину конструкції, дозволено застосовувати за наступних умов:

— застосування профільованого листа, крім основного призначення, обмежено утворенням зсувних діафрагм для протидії зміщенню конструкції в площині цього профільованого листа;

— діафрагми мають поздовжні крайові елементи, що сприймають зусилля від полиць, які виникають від діафрагмової роботи;

— зусилля від діафрагм у площині покривів і перекриттів

передаються на фундаменти в’язевими рамами, іншими діафрагмами робочої обшивки або іншими методами, які перешкоджають перекосу рам;

— використано відповідні конструкційні з’єднання, що передають зусилля від діафрагми на основний сталевий каркас і об’єднують крайові елементи, що виконують роль полиць;

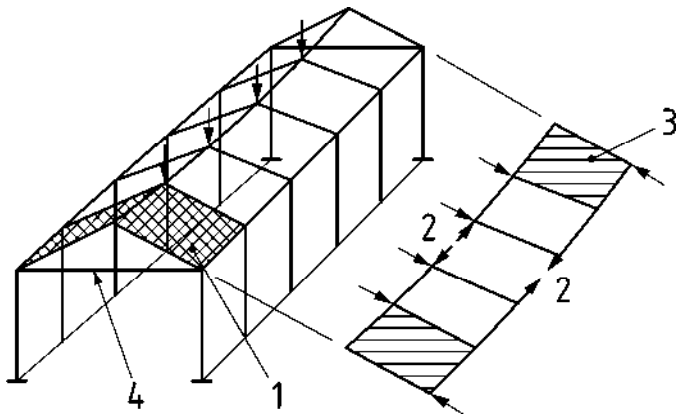
— профільований лист вважають конструкційним складником, що не може бути демонтований без належного розрахунку;

— в проєктній документації, включно з розрахунками і кресленнями, має бути зазначено, що будівля запроєктована з урахуванням роботи обшивки;

— у профільованому листі з гофром, орієнтованим у поздовжньому напрямку покрівлі, зусилля від полиць, обумовлені діафрагмовою роботою, можуть бути сприйняті профільованим листом .

(2) Проєктування з урахуванням роботи обшивки дозволено застосовувати для покрівель, перекриттів та фасадів будівель.

(3) Діафрагми робочої обшивки дозволено застосовувати переважно для опору вітровим, сніговим та іншим навантаженням, прикладеним безпосередньо до профільованого листа. Також їх дозволено використовувати для сприйняття незначних рухомих навантажень, наприклад, гальмівних зусиль легких підвісних кранів або підйомників на монорейках, але не дозволено використовувати для сприйняття тривалих зовнішніх навантажень, наприклад, від обладнання.



Умовні познаки:

1 — профільовані листи;

2 — зусилля від полиць у крайових елементах;

3 — поле зсуву у профільованому листі;

4 — затяжка для сприйняття зусиль від профільованого листа.

Рисунок 11.26 — Робота обшивки у будівлі з двоскатною покрівлею

11.5.4 *Діафрагми з перфорованого профільованого листа*

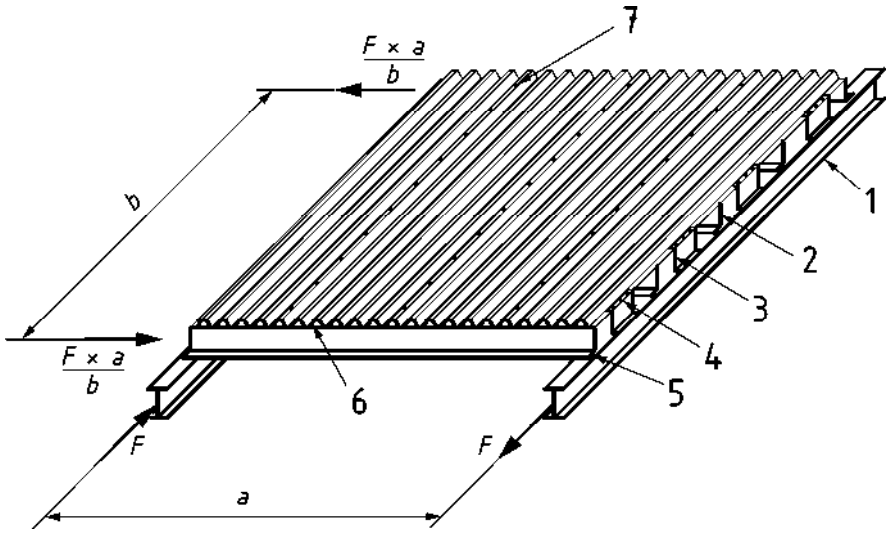
(1) У діафрагмі з профільованого сталевого листа, див. Рисунок 11.27, обидва кінці листів рекомендовано прикріплювати до опорних елементів самонарізувальними гвинтами, пороховими дюбелями, зварюванням, болтами або іншими кріпильними виробами, які не будуть послаблюватися під час експлуатації, вириватися або руйнуватися на зсув раніше, ніж станеться розрив профільованого листа. Всі типи кріпильних виробів рекомендовано встановлювати в опорний елемент безпосередньо через профільований лист, наприклад, через гофри профлистів, якщо розрахунком не передбачено інші заходи щодо забезпечення ефективної передачі зусиль з'єднаннями.

(2) Шви між суміжними профільованими листами рекомендовано з'єднувати заклепками, самосвердлувальними гвинтами, зварюванням або іншими типами кріпильних виробів, які не будуть послаблюватися під час експлуатації, вириватися або руйнуватися на зсув раніше, ніж станеться розрив самого профільованого листа. Крок кріпильних виробів не рекомендовано приймати більшим за 500 мм.

(3) Відстані від усіх типів кріпильних виробів до країв або кінців листів

рекомендовано приймати достатніми для виключення передчасного руйнування профільованого листа.

(4) Невеликі, випадково розташовані отвори, з площею не більше ніж 3% від відповідної площі, дозволено виконувати без спеціального розрахунку за умови, що загальну кількість кріпильних виробів не зменшено. Отвори з площею не більше ніж 15% від відповідної площі (тобто площі діаграми, врахованої у розрахунку) дозволено влаштовувати за наявності детального розрахунку. Області з більшими отворами рекомендовано розділяти на дрібніші, кожна з яких працює як окрема діафрагма.



Умовні познаки:

1 — кроква;

2 — прогін;

3 — з'єднувальні елементи, що працюють на зріз;

4 — кріпильні вироби для профільованих листів, що працюють на зріз;

5 — прогін;

6 — кріпильні вироби, що з'єднують профільований лист із прогоном;

7 — кріпильні вироби, що з'єднують суміжні листи.

Рисунок 11.27 — Розрахункова модель діафрагми

(5) Усі профільовані листи, що також утворюють робочу діафрагму, в першу чергу рекомендовано розраховувати для її основного призначення - роботи на згин. Щоб забезпечити, що будь-яке пошкодження

профільованого листа стане помітним при згині до того, як це вплине на роботу обшивки під навантаженням, рекомендовано щоб зсувні напруження, обумовлені діафрагмовою роботою, не перевищували $0{,}25\, f_{\mathrm{yb}}/\gamma_{\mathrm{M1}}$.

(6) Опір з'єднань швів і з'єднань елементів з профільованими листами в паралельному гофрам напрямку, рекомендовано проєктувати на діюче розрахункове значення навантаження. Рекомендовано щоб опір зсуву кріпильних виробів, що з'єднують профільовані листи з прогонами чи кроквами (для профільованих листів, напряму з'єднаних з основними балками) задовольняв критерії формули (11.82), якщо тільки зусилля відриву, обумовлене зміною форми поперечного перерізу профілю, див. Рисунок 11.28(6), і сили, перпендикулярної до прогону, обумовленої проковзуванням у швах, див. рисунок 11.28(5), не враховано відповідним розрахунком.

$$\frac{1{,}5\, F_{\mathrm{v,Ed}}}{\min(F_{\mathrm{b,Rd}}, F_{\mathrm{n,Rd}})} \leq 1\,, \qquad (11.85)$$

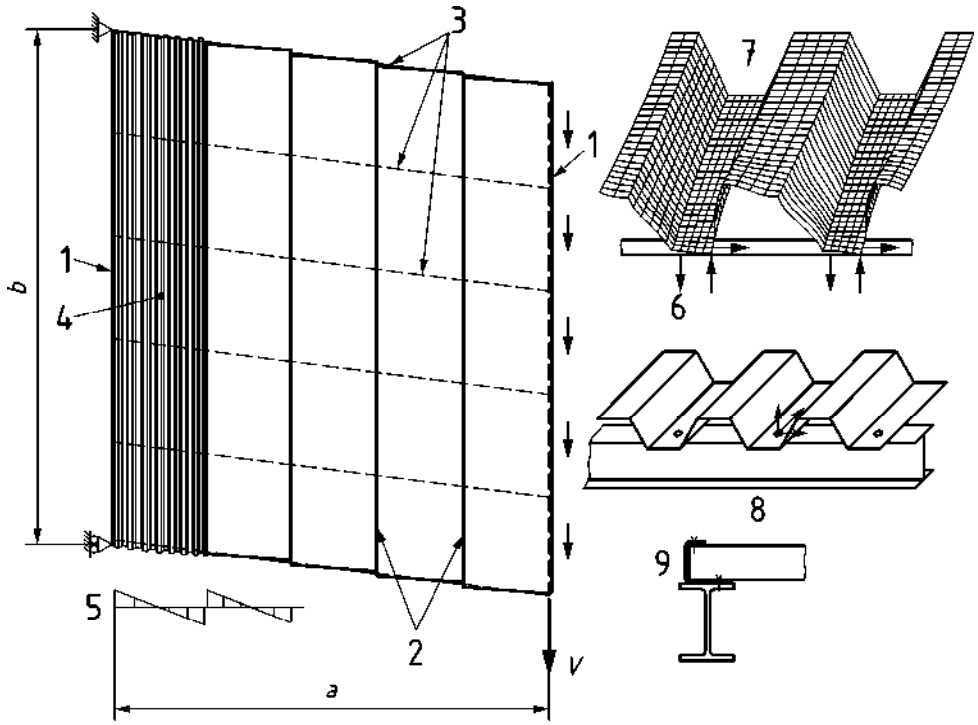
де

$F_{\mathrm{b,Rd}}$ та $F_{\mathrm{n,Rd}}$ — розрахункові значення опорів кріплення, обчислені за таблицями 10.2— 10.5;

$F_{\mathrm{v,Ed}}$ — розрахункове значення задіяного зсувного зусилля;

Зусиллю відриву, обумовленому зміною форми поперечного перерізу профілю, дозволено запобігти, використовуючи підкріплення на кінцях, див. рисунок 11.28(9). Поєднання зсувного зусилля та підйомного тиску вітру рекомендовано перевіряти відповідно до 10.3(8).

Для будь-якого іншого типу руйнування у кріпильних елементах, рекомендовано приймати розрахункове значення несної здатності більше розрахункового значення діючого навантаження щонайменше на 25 %.



Умовні познаки:

1 — кроква;

2 — кріпильні вироби, що з'єднують суміжні листи;

3 — прогони;

4 — крайовий лист;

5 — зсувне зусилля, обумовлене проковзуванням у кріпильних виробах, що з'єднують суміжні листи;

6 — вплив зсуву та зусилля відриву на кінцевій ділянці;

7 — середня ділянка;

8 — зусилля, що діють на вироби для кріплення профільований листів до прогонів;

9 — підкріплення на кінцях, що запобігає впливу виривання на кінцевій ділянці.

Рисунок 11.28 — Розрахункова модель деформацій діафрагми

(1) Рекомендовано, щоб касетні профілі, використовуване для формування зрізних діафрагм, мало підкріплені широкі полиці.

(2) Касетні профілі у зсувних діафрагмах рекомендовано з'єднувати між собою кріпильними виробами для з'єднання суміжних листів (зазвичай глухими заклепками) через стінку з кроком $p_{1,\mathrm{lt}}$ не більше 300 мм і розташовувати на відстані e_{u} від широкої полиці не більше 30 мм, як показано на рисунку 11.29.

(3) Для точнішого оцінювання деформацій, пов'язаних із кріпильними виробами, дозволено застосовувати таку ж методику, як і для трапецієвидного профільованого листа.

Примітка. Можна застосовувати EAD 330046-01-0602.

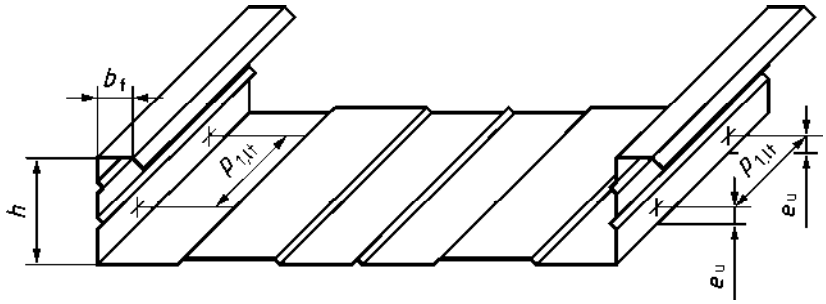


Рисунок 11.29 — Місцерозташування кріпильних виробів шва

12 РОЗРАХУНОК НА ОСНОВІ ВИПРОБУВАННЯ

(1) Проєктування, засноване на випробуваннях відповідно до цього розділу рекомендовано застосовувати з урахуванням принципів, наведених у EN 1990 і EN 1993-1-1; Розділі 12 містить додаткові положення стосовно холодноформованих сталевих елементів і профільованих листів

Примітка. Додаткову інформацію щодо випробувань може бути наведено в національному додатку.

(2) Рекомендовано, щоб кожен випробний зразок був за всіма показниками подібним до складника або конструкції, які він представляє. Рекомендовано враховувати той факт, що у випадку зміни виробничого процесу (наприклад, заміни прокатного обладнання) результати випробувань можуть бути визнані недійсними.

(3) У разі випробування сполучених елементів (наприклад, випробування внутрішньої зони обпирання системи із напустками або накладками) випробні зразки рекомендовано збирати згідно з відповідними технічними вимогами.

(4) Рекомендовано, щоб умови закріплення на кінцях, забезпечені опорними пристроями, використовуваними у випробуваннях, були, за можливості, ідентичні реальним. Якщо цього досягти не можливо, як альтернативу рекомендовано використовувати менш сприятливі умови закріплення, що занижують несну здатність або підвищують гнучкість. За

відсутності обмеження повороту зі сторони опор, рекомендовано використовувати шарнірні та коткові або сферичні опори, залежно від необхідності.

(5) Якщо опір поперечного перерізу залежить від місцевої втрати стійкості, довжину зразка рекомендовано приймати щонайменше в три рази більшою за ширину найширшого пластинчастого елемента. Для поперечного перерізу з крайовими або проміжними елементами жорсткості, рекомендовано забезпечити довжину зразка, достатню щоб вмістити кілька зсувних півхвиль.

(6) Перед випробуванням рекомендовано виміряти розміри поперечного перерізу зразка, щоб переконатися, що вони знаходяться в межах допустимих відхилів, встановлених відповідним стандартом на продукцію.

(7) Якщо задана комбінація навантажень включає сили, що діють вздовж декількох ліній, рекомендовано, щоб під час випробування кожну з цих сил було пропорційно збільшено .

(8) Навантаження рекомендовано прикладати або поетапно, або безперервно. У випадку поетапного додавання навантаження, величину навантаження на кожному етапі рекомендовано обирати так, щоб можна було чітко спостерігати за поведінкою системи. У випадку застосування безперервного навантаження швидкість навантаження рекомендовано приймати настільки повільною, щоб забезпечити збереження статичних умов.

(9) На кожному етапі навантаження рекомендовано вимірювати зміщення та/або деформації в одному або декількох основних місцях конструкції. Показання зміщень або деформацій не рекомендовано приймати доти, поки після збільшення навантаження конструкцію не буде повністю стабілізовано.

(10) Рекомендовано також контролювати осідання опор на обох кінцях випробного зразка.

(11) Результат випробування на опір рекомендовано приймати відповідним максимальному значенню навантаження під час руйнування.

(12) Рекомендовано вважати, що руйнування випробного зразка настає в будь-якому з наступних випадків:

— обвалення або розрив;

— розвиток тріщини у життєво важливій частині зразка;

— надмірні переміщення.

(13) Для кожної серії випробувань рекомендовано підготувати офіційну документацію, яка містить усі відповідні дані, щоб серію випробувань можна було точно відтворити.

(14) Рекомендовано проводити наступні процедури випробувань, зазначені в додатку А:

— випробування матеріалів, див. А.2;

— випробування окремих балок і колон, див. А.3;

— випробування конструкцій і з'єднань елементів, див. А.4;

— випробування профільованих листів і касетних профілів, див. А.5;

— випробування елементів, обмежених профільованим листом , див. А.6;

— випробування кріпильних елементів, див. А.7;

— випробування складського обладнання, див. А.8;

— оцінювання результатів випробувань для визначення розрахункових значень наведено в А.9.

ДОДАТОК А

(обов’язковий)

МЕТОДИКИ ВИПРОБУВАННЯ

А.1 Загальні положення

А.1.1 *Застосування цього додатка*

(1) Цей обов'язковий додаток А містить додаткові положення до розділу 12, стосовно проєктування на основі випробувань.

Примітка. Коефіцієнти перерахунку для існуючих результатів випробувань, щоб вони були еквівалентними результатам стандартних випробувань, проведених відповідно до цього додатка, можуть бути наведені в національному додатку.

А.1.2 Сфера та область застосування

Цей обов'язковий додаток поширюється на:

— випробування матеріалів, див. А.2;

— випробування окремих балок і колон, див. А.3;

— випробування конструкцій і з'єднань елементів, див. А.4;

— випробування профільованих листів і касетних профілів, див. А.5;

— випробування елементів, закріплених від кручення, див. А.6;

— випробування кріпильних елементів, див. А.7;

— випробування складського обладнання, див. А.8;

— оцінювання результатів випробувань для визначення розрахункових значень наведено в А.9.

(2) Рекомендовано, щоб точність усіх вимірів відповідала вимірюваній величині і у жодному разі не перевищувала ± 1% від параметру, що визначається. Також рекомендовано дотримуватися наступних величин точності:

— загальні розміри (ширина, висота та довжина): ±1,0 мм;

— ширини плоских елементів поперечного перерізу: ±1,0 мм;

— радіуси згинів: ±1,0 мм;

— нахили плоских елементів: ±2,0°;

— кути між плоскими поверхнями: ±2,0°;

— розташування і розміри проміжних елементів жорсткості: ±1,0 мм;

— товщина матеріалу: ±0,01 мм;

всі виміри поперечного перерізу: 0,5 % від номінальних значень.

Крім того, рекомендовано занотувати розташування кріпильних виробів і всіх складників відносно один одного.

(3) У разі випробування конструкцій або вузлів з болтовими з'єднаннями, випробні зразки рекомендовано збирати на болтах, гайках і шайбах, а також з використанням інструментів і методик затягування, використовуваних під час монтажу. У випадку болтових з'єднань із щільним затягуванням, для яких не передбачено процедуру затягування, їх рекомендовано збирати з крутним моментом, що не перевищує застосований під час монтажу. Якщо:

— це не забезпечено, або

— прикладений крутний момент не гарантований із часом, або

— ковзання не враховано явно під час оцінювання, розрахунку та проєктування,

значення моменту затягування, зазначені в таблиці А.1, дозволено використовувати як максимальне значення для складання випробних зразків ручним динамометричним ключем.

Таблиця А.1 — Підготовка випробного зразка з щільно прилеглими болтовими з'єднаннями: максимальні моменти затягування для розмірів болтів, зазвичай використовуваних в холодноформованих конструкціях

Розмір болта	M6	M8	M10	M12	M14	M16
$M_{\mathrm{torque,max}}$ [Нм]	1,5	4	8	15	22	35

Примітка. Специфікація на виконання робіт для болтових з'єднань без попереднього натягу (щільно затягнутих), наведена у EN 1090-2 і згадана в EN 1090-4, не визначає момент затягування, який має бути прикладений і перевірений. M_{torque}, як

наведено у таблиці A.1, прийнято з Schmidt, H. et al., Ausführung von Stahlbauten: Kommentare zu DIN EN 1090-1 і DIN EN 10902:2014, таблиця KII.8-1, для мінімального класу міцності болтів 4.6.

НАЦІОНАЛЬНЕ ПОЯСНЕННЯ

Шмідт Г. та інші, Виконання сталевих конструкцій: Коментарі до DIN EN 1090-1 і DIN EN 1090-2:2014

A.2 Випробування матеріалів

Випробування на розтяг

(1) Якщо характеристичні значення властивостей матеріалу визначено в результаті випробувань, то такі випробування рекомендовано проводити відповідно до EN ISO 6892-1. Кількість зразків для випробувань рекомендовано приймати не менше п’яти, і зразки рекомендовано відбирати наступним чином:

1. Рулони:

a) Для рулонів одного походження (однієї плавки) — не менш ніж один зразок на кожен рулон із 30% від загальної кількості рулонів;

b) Для рулонів різного походження — не менше одного зразка на один рулон;

2. Смуги:

a) не менше одного зразка на 2 000 кг сталі спільного походження;

b) не менше одного зразка для смуг різного походження.

Зразки рекомендовано відбирати довільно з кожної партії постачання сталі з орієнтацією вздовж конструкційного елемента. Характеристичні значення рекомендовано визначати на основі статистичного оцінювання відповідно до додатку D EN 1990:2023.

A.3 Випробування окремих балок і колон

A.3.1 *Випробування повного поперечного перерізу на стиск*

A.3.1.1 *Випробування коротких колон*

(1) Випробування коротких колон дозволено використовувати для оцінювання впливу місцевої втрати стійкості та втрати стійкості зі зміною форми перерізу визначенням значення співвідношення $\beta_{\mathrm{A}} = A_{\mathrm{eff}}/A$ і

розташування центру ваги ефективного поперечного перерізу.

(2) Довжину зразків з перфорованими поперечними перерізами рекомендовано приймати такою, щоб зразки містили по довжині не менше п'яти кроків між отворами і щоб кінці зразка були розташовані рівно посередині між двома сусідніми отворами.

(3) Якщо загальна довжина зразка перевищує його 20 мінімальних радіусів інерції поперечного перерізу брутто $i_{\min}$, проміжні бічні розкріплення рекомендовано розташовувати із кроком не більше ніж $20i_{\min}$.

(4) Рекомендовано, щоб кінці зразка після відрізання були плоскими і перпендикулярними до його поздовжньої осі.

(5) Осьове стискальне зусилля рекомендовано передавати на кожен кінець зразка через опорні пластини товщиною не менше ніж 30 мм, що виступають за переріз зразка по контуру не менш ніж на 10 мм.

(6) У випробувальній машині зразок рекомендовано розташовувати між кульовими опорами на кожному кінці. В опорних пластинах рекомендовано передбачати невеликі висвердлені заглиблення для кульових опор. Ці опори рекомендовано розташовувати на одній лінії із центром ваги обчисленого ефективного перерізу зразка. Якщо обчислене розташування центру ваги ефективного перерізу розраховано неточно, його можна уточнити за результатами серії випробувань.

(7) Для відкритих поперечних перерізів можливе коригування пружинного повернення.

(8) Випробування коротких колон дозволено застосовувати для визначення опору стиску поперечного перерізу. Для інтерпретування результатів випробувань рекомендовано вважати змінними наступні параметри:

— товщина $t;$

— співвідношення b_{p}/t складових пластин;

— гранична міцність f_{u};

— границя текучості f_{yb};

— співвідношення f_u/f_{yb};

— положення центру ваги ефективного перерізу;

— геометрична недосконалість поперечного перерізу;

— метод холодного формування (наприклад, збільшення границі текучості за рахунок деформування, яке згодом усувають).

A.3.1.2 *Випробування елемента на втрату стійкості*

(1) Випробування елемента на втрату стійкості дозволено використати для визначення опору стиснутих елементів загальній втраті стійкості (включаючи згинальну, крутильну та згинально-крутильну форми втрати стійкості) і оцінювання взаємодії місцевої та загальної втрати стійкості.

(2) Метод проведення випробувань у цілому, рекомендовано приймати таким же, як і для випробування коротких колон за A.3.1.1.

(3) Для визначення кривої втрати стійкості для конкретного типу профілю та марки сталі, дозволено проводити серію випробувань зразків різної довжини на осьове навантаження за спеціальною методикою. Значення відносної гнучкості, що підлягають перевірці і мінімальну кількість випробувань n для кожного значення наведено в таблиці A.2.

Таблиця A.2 — Значення відносної гнучкості λ і мінімальна кількість випробувань N_{test}

$\bar{\lambda}$	0,2	0,5	0,7	1,0	1,3	1,6	2,0	3,0
N_{test}	3	5	5	5	5	5	5	5

(4) Подібні випробування також дозволено використовувати для визначення впливу введення проміжних розкріплень на опір елемента крутильній втраті стійкості.

(5) Для інтерпретування результатів випробувань рекомендовано враховувати такі параметри:

— параметри для випробування коротких колон згідно з A.3.1.1(8);

— загальні недосконалості у вигляді відхилу від прямолінійності

порівняно зі стандартними значеннями, див. 12(6);

— тип кінцевого або проміжного розкріплення (від згину, кручення або обох одночасно).

(6) Загальне значення відхилу від прямолінійності дозволено враховувати так:

a) Визначити пружне навантаження для елемента відповідним розрахунком з урахуванням дугової недосконалості, що дорівнює недосконалості випробного зразка: $F_{\mathrm{bow,test}}$;
b) Так само, як a), але з початковою дуговою недосконалістю, рівною максимально припустимому значенню, встановленому технічними умовами на виріб: $F_{\mathrm{bow,max,nom}}$;
c) Застосувати коригувальний коефіцієнт $F_{\mathrm{bow,max,nom}}/F_{\mathrm{bow,test}}$ до інших результатів випробувань.

A.3.2 *Випробування повного поперечного перерізу на розтяг*

(1) Ці випробування дозволено застосовувати для визначення середньої величини границі текучості поперечного перерізу f_{ya}.

(2) Довжина зразка повинна бути не менше п'ятикратної ширини найширшої плоскої частини поперечного перерізу.

(3) Навантаження рекомендовано прикладати через кінцеві зони обпирання, що забезпечують рівномірний розподіл напружень у поперечному перерізі.

(4) Рекомендовано, щоб зона руйнування була розташована на відстані від кінцевих зон обпирання не меншій ніж ширина найширшої плоскої частини поперечного перерізу.

A.3.3 *Випробування повного поперечного перерізу на згин*

(1) Ці випробування дозволено застосовувати для визначення опору згинальному моменту та граничного кута повороту поперечного перерізу.

(2) Рекомендовано, щоб довжина зразка була щонайменше в 15 разів

більшою за найбільший поперечний розмір профілю. Відстань між бічними розкріпленнями та стиснутою полицею не рекомендовано приймати меншою за відстань, яку використовують в процесі експлуатації.

(3) Щоб отримати центральну частину з однаковим згинальним моментом, що становить не менше $0{,}2L_{\text{test}}$ (прогону), але не більше $0{,}33L_{\text{test}}$ (прогону), до зразка рекомендовано прикласти пару рівних зосереджених навантажень. Ці навантаження рекомендовано прикладати через центр зсуву поперечного перерізу. Профіль рекомендовано закріпити від скручування в точках прикладання навантаження. За необхідності рекомендовано запобігти місцевій втраті стійкості зразка в місцях навантаження, щоб гарантувати, що руйнування відбудеться в центральній ділянці прогону. Прогини вимірюють в точках прикладання навантажень, в середині прогону і на кінцях зразка.

(4) Для інтерпретування результатів випробувань рекомендовано вважати змінними наступні параметри:

— товщина t;

— співвідношення b_{p}/t;

— гранична міцність f_{u};

— границя текучості f_{yb};

— співвідношення $f_{\text{u}}/f_{\text{yb}}$;

— відмінності між розкріпленням під час випробувань і під час експлуатації;

— умови обпирання.

A.4 Випробування конструкцій і з'єднань елементів

A.4.1 *Приймально-здавальне випробування*

(1) Приймально-здавальні випробування дозволено використовувати для підтвердження нормальної роботи конструкції або її частини.

(2) Навантаження приймально-здавального випробування необхідно

приймати як суму:

1,0 × (фактичної власної ваги під час випробування);

1,15 × (решти постійного навантаження);

1,25 × (змінних навантажень),

але дозволено прийняти меншим за середнє значення загального розрахункового навантаження для граничного стану за несною здатністю та загального розрахункового навантаження для граничного стану за експлуатаційною придатністю для визначальної комбінації навантажень.

(3) Перед проведенням приймально-здавальних випробувань дозволено зробити стабілізаційне навантаження (що не перевищує характеристичне значення навантажень). Таке навантаження прикладають, а потім знімають.

(4) Рекомендовано спочатку завантажити конструкцію повним характеристичним навантаженням. Рекомендовано, щоб під таким навантаженням конструкція працювала тільки в пружному діапазоні. Після того як навантаження знято, рекомендовано, щоб залишковий прогин не перевищував 20% від максимально зафіксованого. Якщо ці критерії не дотримано, рекомендовано повторити цей етап випробувань. Рекомендовано, щоб у повторному циклі навантажена конструкція демонструвала переважно лінійну роботу аж до досягнення характеристичного навантаження, а залишковий прогин не перевищував 10% від максимально зафіксованого.

(5) Під час приймально-здавальних випробувань навантаження прикладають поетапно рівними частинами, з рівними часовими інтервалами і з вимірюванням прогинів на кожному етапі. Якщо прогини стають нелінійними, величину поетапного навантаження рекомендовано зменшити.

(6) Після досягнення необхідного рівня випробувального навантаження, його рекомендовано підтримувати на постійному рівні, щоб перевірити стійкість конструкції або сполучення елементів. Рекомендовано

проводити вимірювання прогинів, щоб визначити, чи піддається конструкція будь-яким залежним від часу деформаціям, таким як деформації кріпильних виробів або деформації, що виникають внаслідок повзучості цинкового шару.

(7) Розвантаження рекомендовано виконувати рівними ступенями із записуванням прогинів на кожному етапі.

(8) Рекомендовано, щоб конструкція витримувала приймально-здавальне навантаження без значної місцевої зміни форми перерізу або дефектів, які б засвідчували непридатність конструкції до експлуатації після випробувань

A.4.2 *Випробування на міцність*

(1) Випробування на міцність дозволено використовувати для підтвердження розрахункової несної здатності конструкції в цілому або її частини. За певної кількості аналогічних виробів, запроєктованих за однією методикою, коли один або більше з їх прототипів під час випробування відповідають всім вимогам щодо їх міцності, решту цих конструкцій, за умови їх тотожності прототипам за всіма відповідними показниками, дозволено використовувати без випробувань.

(2) Перед проведенням випробувань на міцність рекомендовано спочатку провести попередні приймально-здавальні випробування згідно з A.4.1.

(3) Навантаження рекомендовано підвищувати поетапно до рівня, що відповідає випробуванню на міцність F_{str} з вимірюванням основних прогинів на кожному етапі навантаження. Для визначення чи піддається конструкція повзучості, випробувальне навантаження на міцність рекомендовано витримувати не менше однієї години, з одночасним вимірюванням прогину.

(4) Розвантаження рекомендовано виконувати рівними ступенями із записуванням прогинів на кожному етапі.

(5) Повне випробувальне навантаження (з власною вагою включно)

для випробування на міцність F_{str} рекомендовано визначати на підставі повного розрахункового навантаження F_{Ed}, визначеного розрахунком для граничного стану за несною здатністю з використанням формули (А.1):

$$F_{\mathrm{str}} = \gamma_{\mathrm{Mi}}\,\mu_{\mathrm{F}}\,F_{\mathrm{Ed}}\,, \qquad \text{(А.1)}$$

де

μ_{F} — коефіцієнт коригування навантаження;

γ_{Mi} — частковий коефіцієнт для граничного стану за несною здатністю.

(6) Рекомендовано, щоб коефіцієнт коригування навантаження μ_{F} враховував зміни в несній здатності конструкції або її частини, обумовлені впливом змін границі текучості матеріалу, навантаження місцевої втрати стійкості, загального навантаження втрати стійкості і будь-яких інших відповідних параметрів.

(7) Коефіцієнт коригування навантаження μ_{F} дозволено приймати рівним відношенню передбаченої несної здатності, обумовленої середнім значенням границі текучості f_{ym} до відповідного значення, заснованого на номінальному значенні границі текучості f_{yb}, в тому випадку, якщо реалістичне оцінювання несної здатності конструкції або її частини дозволено отримати розрахунково згідно з положеннями додатку А або іншим допустимим методом розрахунку, що враховує вплив усіх форм втрати стійкості.

(8) Значення f_{ym} рекомендовано визначати на основі виміряної основної границі текучості $f_{\mathrm{yb,obs}}$ для різних складників конструкції або її частини з належним урахуванням їх відносної важливості.

(9) Якщо неможливо виконати реалістичне теоретичне оцінювання несної здатності, значення коефіцієнта коригування навантаження μ_{F} рекомендовано приймати рівним коригувальному коефіцієнту за несною здатністю μ_{R} згідно з А.9.2.

(10) Рекомендовано, щоб під дією випробувального навантаження жодна частина зразка не руйнувалася через втрату стійкості чи розрив.

(11) Рекомендовано, щоб після зняття навантаження прогин зменшувався принаймні на 20%.

А.4.3 *Випробування зразка до повного руйнування*

(1) Випробування до повного руйнування дозволено застосовувати для визначення режиму руйнування і граничної несної здатності конструкції або сполучення. Якщо в подальшому зразок не підлягає використанню, після проведення випробувань на міцність згідно з А.4.2, його дозволено використати для отримання додаткової інформації.

(2) Альтернативно, випробування до повного руйнування дозволено здійснювати для визначення реальної несної здатності на дію граничного випробувального навантаження. Оскільки приймально-здавальні випробування і випробування на міцність рекомендовано виконувати першочергово, як основу для таких випробувань рекомендовано оцінити очікувану розрахункову несну здатність.

(3) Перед початком випробувань зразка до повного руйнування спочатку рекомендовано провести випробування на міцність згідно з А.4.2. На підставі роботи зразка під час випробування на міцність для нього дозволено скоригувати значення оціненої розрахункової несної здатності.

(4) В процесі випробувань до руйнування навантаження спочатку рекомендовано прикладати поетапно до рівня, що відповідає випробуванню на міцність. У подальшому розмір поетапного навантаження рекомендовано визначати на основі графіка основних прогинів.

(5) Граничну несну здатність рекомендовано визначати як значення випробувального навантаження в точці, де конструкція або сполучення більше не здатні витримувати подальше збільшення навантаження.

Примітка. У цій точці може статися значна зміна форми поперечного перерізу елемента. В деяких випадках загальна деформація означає завершення випробувань.

А.4.4 Порівняльні випробування

Порівняльні випробування дозволено використовувати для:

— перевіряння роботи конструкції під навантаженням для порівняння з даними, що отримані за аналітичними розрахунковими моделями;

— визначення кількісних значень параметрів розрахункових моделей, таких як міцність або жорсткість елементів чи вузлів.

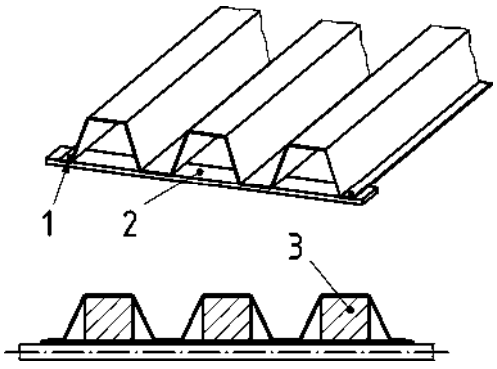
А.5 Випробування профільованого листа і касетних профілів

А.5.1 *Загальні положення*

(1) Хоча ці методики випробувань представлені у вигляді профільованих листів, аналогічні процедури випробувань, засновані на тих же принципах, дозволено також використовувати для касетних профілів та інших типів обшивки.

(2) Навантаження дозволено прикладати через повітряні подушки, у вакуумній камері або через сталеві або дерев'яні поперечні балки, розташовані так, щоб забезпечити навантаження, наближене до рівномірно розподіленого.

(3) Щоб запобігти зминанню гофрів зразків під час випробувань, до випробних зразків дозволено застосовувати поперечні стяжки або інші пристосування, такі як дерев’яні бруси, на опорах та у точках прикладання навантаження. Деякі приклади наведено на рисунку А.1.



Умовні познаки:

1 — заклепка або гвинт;

2 — поперечна стяжка (металева смуга);

3 — дерев'яний брусок

Рисунок А.1 — Приклади відповідних засобів для випробувань

(4) Рекомендовано, щоб з метою дотримання вимог пункту 7.3.2(3) випробні зразки, складені з профільованих листів з більш ніж двома ребрами жорсткості, були складені з цілого числа повних ребер жорсткості, виміряних між центральними лініями ребер жорсткості. Якщо поздовжній край зразка знаходиться в розтягнутому стані, його консольну частину рекомендовано прибрати, як показано на рисунку А.2. Якщо ребро поздовжнього краю знаходиться під дією стиску, крайове ребро рекомендовано прибрати, як показано на рисунку А.3.

Примітка. Частини, які потрібно прибрати, позначено пунктирними лініями

Рисунок А.2 — Методика обрізання поздовжніх кромок під дією розтягу

Примітка. Частини, які потрібно прибрати, позначено пунктирними лініями

Рисунок А.3 — Методика обрізання поздовжніх кромок під дією стиску

А.5.2 *Випробування однопрогонових зразків*

(1) Схему навантаження, еквівалентну тій, що показана в таблиці А.3, дозволено використовувати для визначення опору згинальному моменту в середині прогону (за відсутності сили зсуву) і ефективної згинальної жорсткості.

(2) Згинальну жорсткість рекомендовано визначати за графіком залежності між навантаженням і прогином, як січну жорсткість, що відповідає згинальному моменту, рівному 60 % від граничного згинального моменту.

(3) З метою оцінювання (див. А.9.3) випробування на різних зразках

рекомендовано групувати в серії, якщо вони складені із зразків, що відповідають усім наступним вимогам:

— вони мають однакову номінальну границю текучості f_{yb};

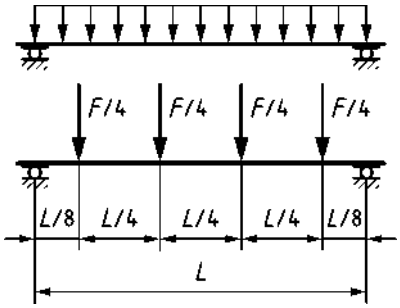
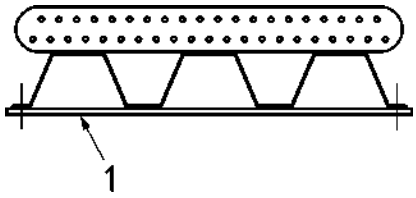
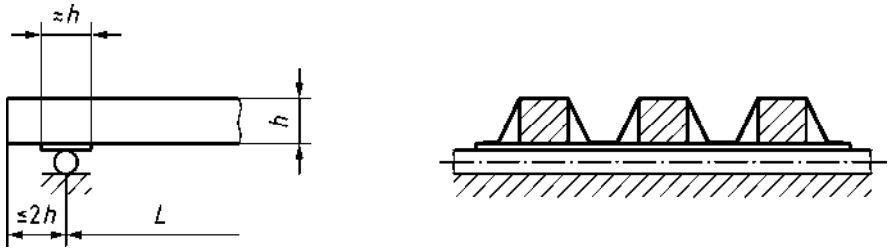
— вони мають або однакові, або різні випробні прогони;

— вони мають або однакову, або різну номінальну товщину $t_{nom.}$

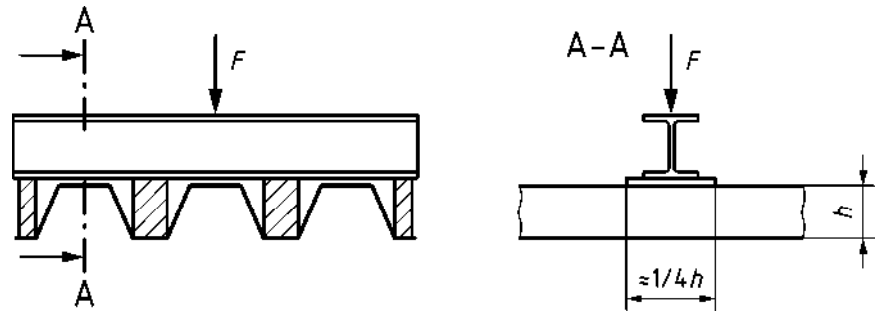
(4) Для кожної номінальної товщини має бути випробувано щонайменше два зразки.

(5) Зразки, складені з перфорованого профільованого листа або профільованого листа з отворами, не рекомендовано об'єднувати в одну групу зі зразками, складеними з неперфорованого профільованого листа або профільованого листа без отворів.

Таблиця А.3 — Схема навантаження для випробування однопрогонового зразка

<table>
<tr><td> 
</td><td> 
</td></tr>
<tr><td>(a) Рівномірно розподілене навантаження та приклад альтернативних еквівалентних лінійних навантажень</td><td>(b) Розподілене навантаження, прикладене через повітряну подушку (альтернативно — вакуумною випробувальною установкою)
Умовні познаки:
1 — Поперечна стяжка</td></tr>
<tr><td colspan="2"> 
</td></tr>
<tr><td colspan="2">(c) Приклад улаштування опор з метою запобігання зміни форми перерізу</td></tr>
</table>

Кінець таблиці А.3



(d) Приклад методу застосування лінійного навантаження

А.5.3 *Випробування двопрогонових зразків*

(1) Схему навантаження, показану на рисунках А.4 та А.5 дозволено використовувати для визначення основного опору профільованого листа або касетних профілів (для заданої ширини зони обпирання b_B), неперервного на двох рівних прогонах і під дією рівномірно розподіленого навантаження.

Примітка. Пункт А.5.1(4) не застосовний до схем навантаження.

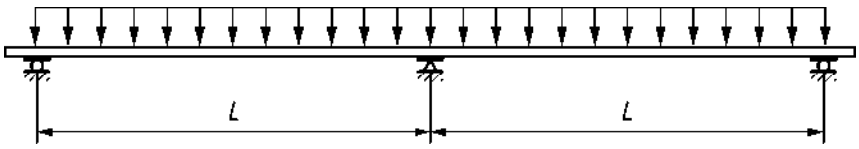


Рисунок А.4 — Схема навантаження для випробування двопрогонових зразків

(2) Рівномірно розподілене навантаження (рисунок А.4) дозволено прикладати, наприклад, через повітряну подушку або вакуумну камеру. Альтернативно, вантаж дозволено розташовувати так, щоб рівномірно розподілити навантаження, як показано на рисунку А.5.

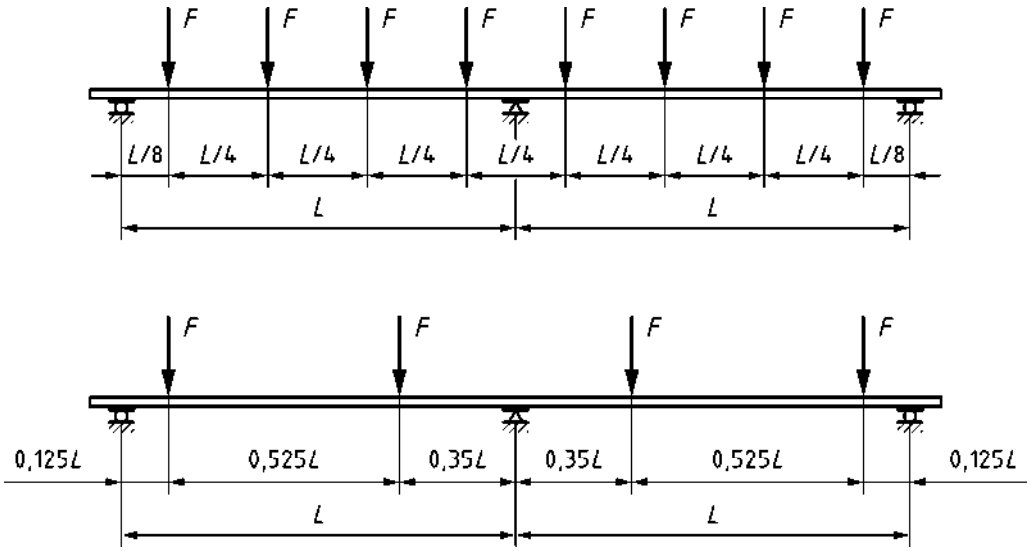


Рисунок А.5 — Приклади еквівалентних лінійних навантажень для двопрогонових зразків

(3) Оскільки ці схеми випробувань не забезпечують безпосередніми даними щодо поведінки під спільною дією згинального моменту і реакції на внутрішній зоні обпирання, для визначення опору згинальному моменту, а також залежності моменту від повороту зоні обпирання, і для забезпечення адекватної інтерпретації результатів випробувань, рекомендовано вимірювати опорну реакцію на всіх зонах обпирання.

А.5.4 *Випробування на внутрішній зоні обпирання*

(1) Схема навантаження, наведена у таблиці А.4 придатна для визначення поведінки безперервного профільованого листа на внутрішніх зонах обпирання під спільною дією згинального моменту і сили реакції для заданої ширини зони обпирання b_{supp}. Це випробування застосовне для рівних або нерівних прогонів під дією рівномірно або нерівномірно розподіленого навантаження.

(2) Щоб отримати таке ж співвідношення згинального моменту до опорної реакції, як і у випадку двох безперервних прогонів довжиною L, випробний прогон L_{test} дозволено розраховувати за формулою (А.2):

$$L_{\text{test}} = 0{,}4L \qquad \text{(А.2)}$$

(3) Для визначення поведінки для різних прогонів, випробування

рекомендовано проводити не менше ніж на трьох різних прогонах L_{test}, переважно з рівними інтервалами.

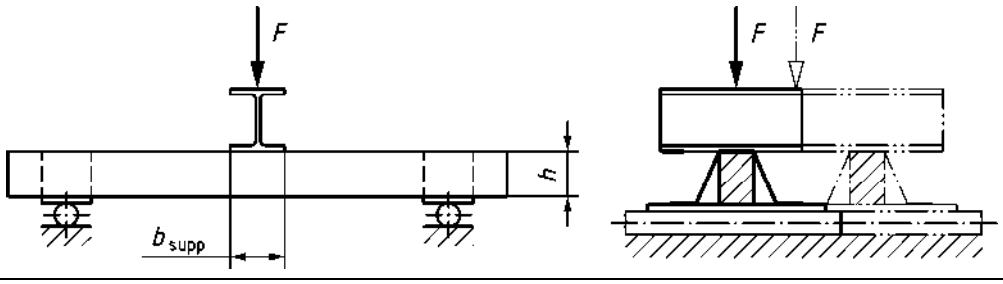
(4) Для кожного значення випробного прогона L_{test} опорну реакцію F_{supp} рекомендовано приймати як середнє скориговане значення пікового навантаження $F_{\max}$ для значення L_{test}. Потім рекомендовано визначити відповідне значення опорного моменту *M* за формулою (А. 3):

$$M = \frac{L_{\text{test}}\, F_{\text{supp}}}{4} \qquad \text{(A.3)}$$

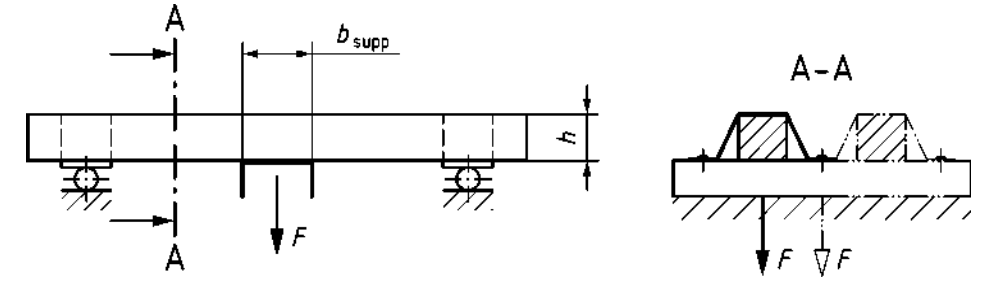
Вплив постійного навантаження рекомендовано враховувати під час розрахунку згинального моменту *M* за формулою (А.3).

(5) Значення M і F_{supp} для кожного значення L_{test} рекомендовано позначати на графіку як показано на рисунку А.6. Значення для проміжних поєднань M і F_{supp} дозволено визначати лінійною інтерполяцією. Замість ламаної лінії (2), як показано на рисунку А.6, дозволено використовувати консервативно обрану пряму або вигнуту лінію, використовуючи відповідні формули взаємодії.

Таблиця А.4 — Схема навантаження для випробування внутрішньої зони обпирання

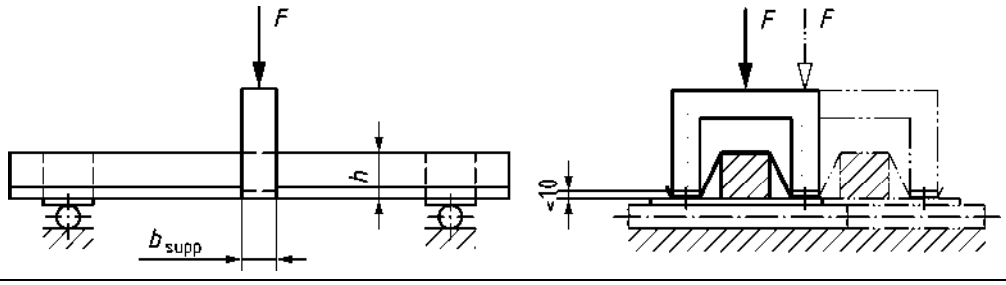


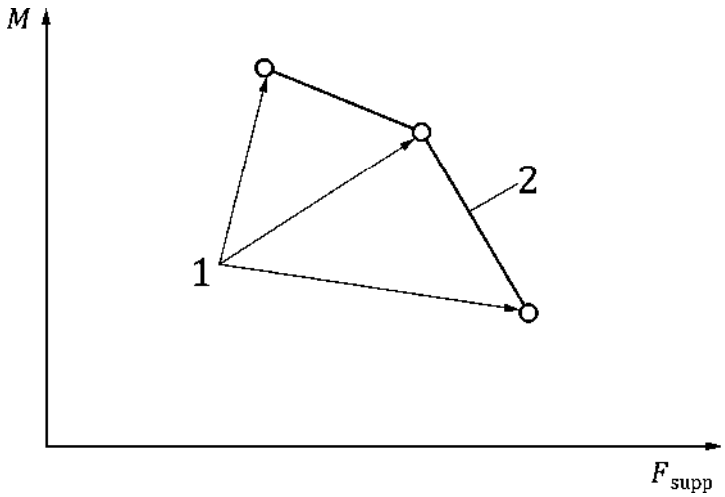
(a) Внутрішня зона обпирання під дією навантаження вагою



(b) Внутрішня зона обпирання під дією підйомного навантаження

Кінець таблиці А.4


(c) Внутрішня зона обпирання з навантаженням, прикладеним до розтягнутої полиці (геометричні характеристики зони контакту в місці прикладання навантаження на нижню полицю, відповідають геометричним характеристикам кріпильного виробу)



Умовні познаки:

1 — результати випробування для різних випробних прогонів;

2 — лінійна інтерполяція

Рисунок А.6 — Співвідношення між опорним моментом M і опорною реакцією F_{supp}

(6) Чистий прогин у точці прикладання навантаження C, показаний на рисунку А.7, рекомендовано отримувати із загальних виміряних значень обчисленням середнього значення відповідних відхилів, виміряних в точках B і D, розташованих на відстані L_{e} від точок обпирання A і E, див. рисунок А.7.

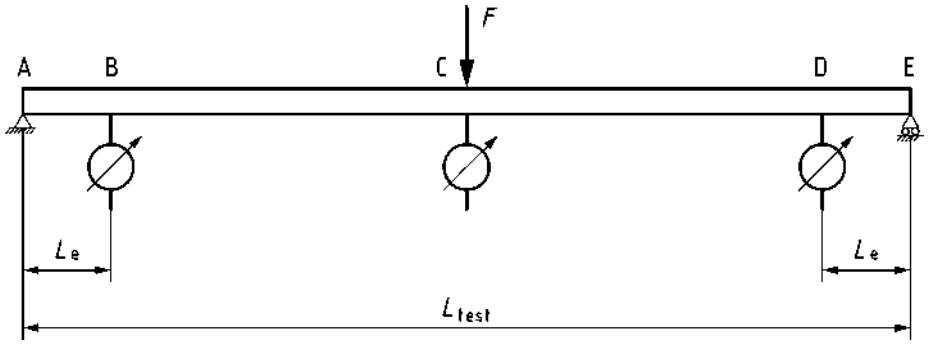


Рисунок А.7 — Схема навантаження для випробувань на внутрішніх зонах обпирання

(5) Для кожного випробування прикладене навантаження рекомендовано позначати на графіку навпроти відповідного значення чистого прогину, див. рисунок А.8 З цього графіка рекомендовано отримати поворот θ для діапазону значень прикладеного навантаження за формулами (А.4) і (А. 5):

$$\theta = \frac{2\left(\delta_{\mathrm{pl}} - \delta_{\mathrm{e}} - \delta_{\mathrm{el}}\right)}{0{,}5\,L_{\mathrm{test}} - L_{\mathrm{e}}}$$ для розрахунку, заснованому на ефективному поперечному перерізі (А.4)

$$\theta = \frac{2\left(\delta_{\mathrm{pl}} - \delta_{\mathrm{e}} - \delta_{\mathrm{lin}}\right)}{0{,}5\,L_{\mathrm{test}} - L_{\mathrm{e}}}$$ для розрахунку, заснованому на поперечному перерізі брутто (А.5)

де

δ_{el} — чистий прогин, що відповідає заданому навантаженню на висхідній частині випробувальної кривої (до F_{max});

δ_{pl} — чистий прогин для однакового навантаження на низхідній частині кривої (за межами F_{max});

δ_{lin} — фіктивний чистий прогин, що відповідає заланому навантаженню, обчисленому для лінійної поведінки, див. рисунок А.8;

δ_{e} — середній прогин, виміряний на відстані L_{e} від опори, див. рисунок А.7;

L_{test} — випробний прогін;

L_{e} — відстань від точок вимірювання прогинів B і D до опори, див. рисунок А.7.

Якщо використано дерев'яні бруски відповідно до А.5.1(3),

вимірювання прогину δ_e в точках B і D дозволено пропустити, а δ_e і L_e дозволено прийняти рівним нулю.

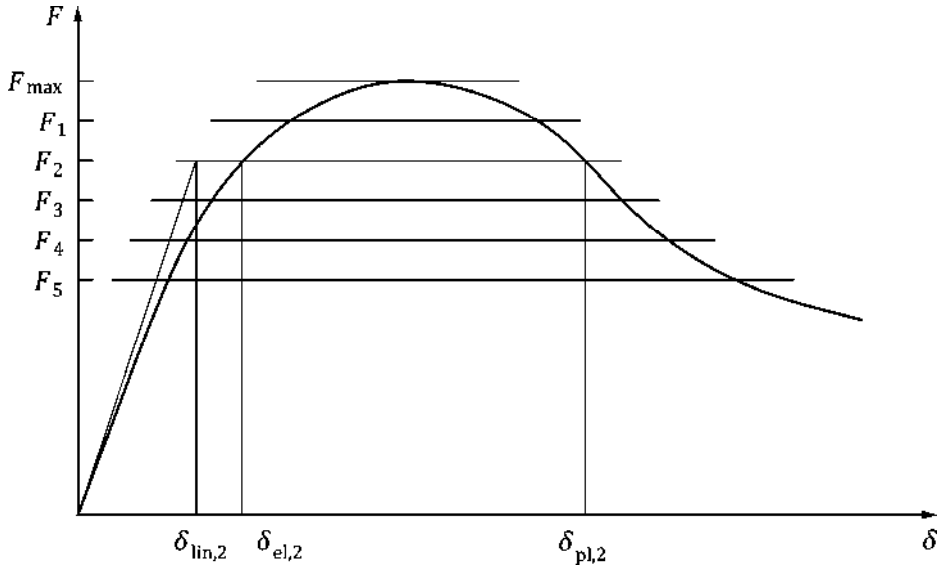
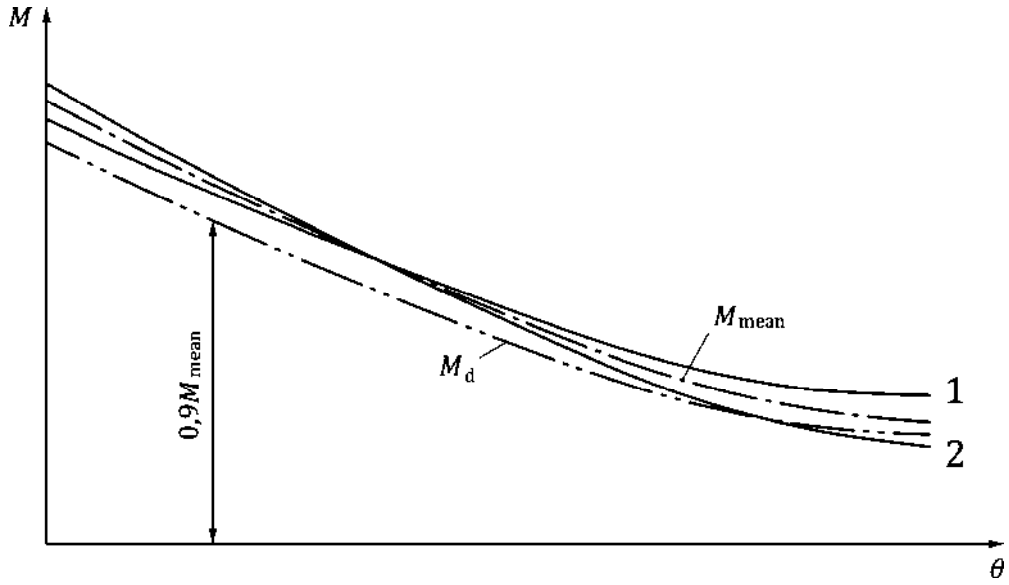


Рисунок А.8 — Співвідношення між навантаженням F і прогином δ

(8) Співвідношення між M і θ рекомендовано позначати на графіку для всіх випробувань, виконаних для однакових випробних прогонів L_{test}, відповідно до конкретного значення реального прогону L, як показано на рисунку А.9. Розрахункову криву $M-\theta$ для профільованого листа над внутрішньою зоною обпирання рекомендовано приймати рівною $0{,}9$ - кратному значенню середньої кривої $M-\theta$ для всіх випробувань, що відповідає цьому значенню фактичного діапазону L.



Умовні познаки:

M_{mean} — середнє значення згинального моменту;

M_{d} — розрахункове значення згинального моменту;

1 — дані з випробування 1;

2 — дані з випробування 2

Рисунок А.9 — Визначення залежності моменту від повороту ($M - \theta$)

(9) Консервативне спрощене проєктування дозволено виконувати з використанням постійного значення опорного моменту $M_{\mathrm{d,lim}}$, що відповідає довільно обраному граничному повороту θ_{lim}. В рамках процесу проєктування рекомендовано переконатися, що поворот у граничному стані за несною здатністю не перевищує граничного значення повороту θ_{lim}.

Примітка. Фактичне значення повороту θ зазвичай становить менше 0,15 рад.

(10) З метою оцінювання (див. А.9.3) випробування на різних зразках рекомендовано групувати в сімейства, якщо вони складені із зразків, що відповідають усім наступним вимогам:

— вони мають однакову номінальну границю текучості f_{yb}

— вони мають однакову номінальну товщину t_{nom}

— вони мають однакову ширину зони обпирання b_{supp}

— вони мають або однакові, або різні випробні прогони L_{test}

Для кожного прогону має бути випробувано щонайменше два зразки.

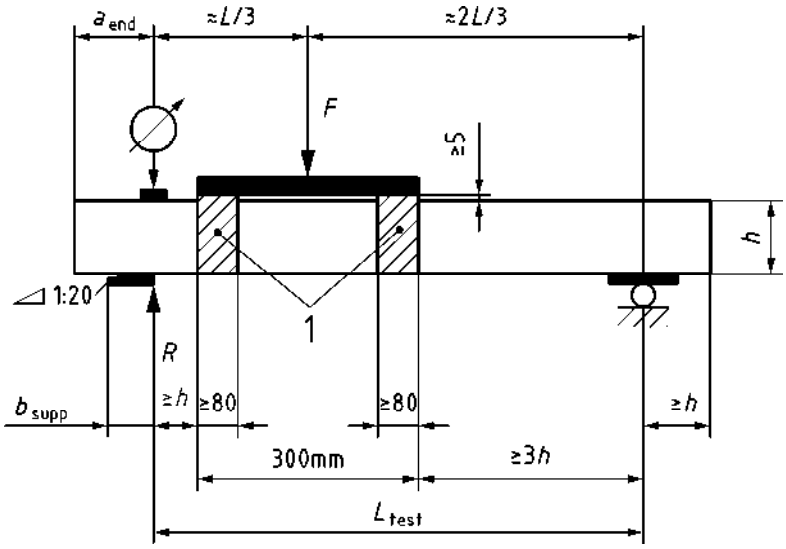
(11) Застосовний А.5.2(5).

(12) Якщо характеристики залежності моменту від повороту отримано в результаті випробувань з іншою шириною зони обпирання b_{B}, характеристики для ширини проміжної опори дозволено визначити лінійною інтерполяцією.

А.5.5 *Випробування на кінцевій зоні обпирання*

(1) Схему навантаження профільованого листа, наведену на рисунку А.10 дозволено застосовувати для визначення опору зсуву і повзучості стінки профільованого листа на кінцевих зонах обпирання.

Примітка. Випробування на кінцевих зонах обпирання, виконані відповідно до EN 1993 -1-3: 2006, дають більш консервативні результати.



Умовні познаки:

b_{supp} —довжина опори;

a_{end} — відстань від внутрішнього краю кінцевої зони обпирання до кінця листа;

1 — дерев'яний брусок

Рисунок А.10 — Схема навантаження для випробування на кінцевих зонах обпирання

(2) Опір кінцевої зони обпирання дозволено прийняти за максимальне значення реакції R, що відповідає руйнуванню зразка.

Примітка. Незважаючи на те, що навантаження до нижньої полиці прикладають через дерев'яні бруски, у деяких випадках відбувається руйнування через вигин в місці його прикладання, що призводить до більш консервативних результатів.

(3) Якщо характеристики отримано в результаті випробувань з іншою шириною зони обпирання b_{supp}, характеристики для ширини проміжної опори дозволено визначити лінійною інтерполяцією.

(4) З метою оцінювання (див. A.9.3) випробування на різних зразках рекомендовано групувати в серії, якщо вони складені із зразків, що відповідають усім наступним вимогам:

— вони мають однакову номінальну границю текучості f_{yb}

— вони мають або однакову, або різну номінальну товщину t_{nom}

— вони мають однакові випробні прогони L_{test}

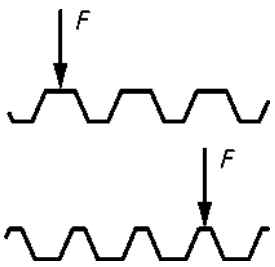
Для кожної номінальної товщини потрібно випробувати щонайменше два зразки.

(5) застосовний A.5.2(5).

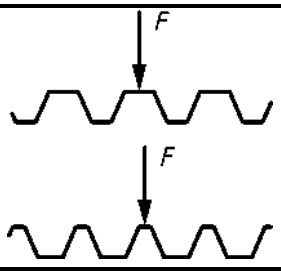
A.5.6 *Витримування навантаження від пішохода*

(1) Профільований лист витримує навантаження від пішохода до максимального прогону, для якого виконано критерії оцінювання, наведені в таблиці A.5.

Таблиця A.5 — Критерії оцінювання витримування навантаження від пішохода

Тип навантаження	Схема навантаження	Навантаження F_{min} [кН]	Критерій оцінювання
Навантаження на край Найбільш віддалене від центру повне ребро в напрямку укладання		1,2	значна залишкова деформація
		1,5	навантаження руйнування [a]
		2,0	раптове руйнуванння без суттєвої загальної деформації

Кінець таблиці А.5

Центральне навантаження		2,0	навантаження руйнування [b]

[a] Критерії оцінювання $F_{min} \leq 1{,}5$ кН рекомендовано застосовувати до першого пікового навантаження.

[b] Після першого піка навантаження, коли навантаження зменшується, мембранні ефекти можуть викликати його наступне збільшення. Критерії оцінювання дозволено застосовувати до другого пікового навантаження за умови, що заоволено додатковий критерій $F_{min} \geq 1{,}5$ кН під час першого пікового навантаження.

(2) Випробний профільований лист рекомендовано розміщувати на плоских рейках шириною 40 мм. Виступ профільованого листа рекомендовано вибирати в діапазоні від h до $2h$. Для крайового навантаження, яке є показником витримування пішохідного навантаження під час монтажу, пункт А.5.1(3) не застосовний. Для центрального навантаження використання випробувальних пристосувань згідно з А.5.1(3) дозволено застосовувати на опорах і третіх точках прогону.

(3) Зосереджене квазістатичне навантаження рекомендовано прикладати в середині прогону однопрогонового листа у напрямку дії навантаження вагою на ділянці розміром 100 мм х 150 мм, причому довша сторона цієї ділянки має бути паралельною напрямку прогону. Для запобігання виникненню будь-яких концентраторів напружень, навантаження рекомендовано прикладати через м'який шар товщиною близько 10 мм, наприклад повстяну прокладку.

(4) Значну залишкову деформацію дозволено прийняти рівною 3 мм. Раптове руйнування без значної загальної деформації дозволено вважати таким, якщо руйнування відбулося до прогину в 1/100 прогону,

(5) Випробування рекомендовано починати з найбільшого прогону, передбаченого для використання на практиці. Якщо критерії оцінювання, наведені в таблиці А.5, виконано не у всіх необхідних випробуваннях, перелічених у таблиці А.6, прогон зменшують, поки необхідна кількість

випробувань не відповідатиме критеріям оцінювання.

Таблиця А.6 — Мінімальна кількість випробувань

Кількість номінальних товщин листів, що підлягають випробуванню		Кількість випробувань;
для $t_{\text{nom}} \geq 0{,}60$ мм	≥ 3	≥ 2
	2	≥ 3
	1	≥ 4
для $t_{\text{nom}} \geq 0{,}60$ мм		≥ 4

(6) Максимальний проліт профільованого листа L_{lim} по якому дозволено пройти одній особі — це найменший з прогонів $L_{\text{lim,test}}$, обумовлений навантаженням на краях або центральним навантаженням.

(7) Результати випробувань рекомендовано скоригувати відповідно до А.9.2, але статистичне оцінювання відповідно до А.9.3 дозволено не проводити. Для $R_{\text{adj,i}} < F_{\text{min}}$, результати випробування дозволено скоригувати за формулою (А.6):

$$L_{\text{lim}} = L_{\text{test}} \cdot \min\left\{ \frac{R_{\text{obs,min}}}{\mu_{\text{R}}\, F_{\text{min}}}; 1 \right\}, \qquad \text{(А.6)}$$

де

L_{test} — проліт, застосовний у випробуванні;

$R_{\text{obs,min}}$ — мінімальне значення, отримане в результаті обох серій випробувань (крайове навантаження та центральне навантаження);

μ_{R} — коригувальний коефіцієнт відповідно до А.9.2.

А.6 Випробування елементів, закріплених від кручення

А.6.1 *Загальні положення*

(1) А.6 застосовний до холодноформованих сталевих елементів, таких як прогони, бічні напрямні, балки перекриття та інші аналогічні типи елементів, у яких одна полиця з боків і/або частково обмежена на кручення сталевим профільованим листом.

(2) А.6 не застосовний до елементів, обмежених сендвіч-панелями,

для яких процедури та схеми випробувань вказано в EN 14509 -2.

Примітка 1. Схему, показану на рисунку А.11, можна використовувати для сендвіч-панелей під дією гравітаційного навантаження.

Примітка 2. Додаткову інформацію щодо методики випробувань сендвіч-панелей можна знайти в Європейських рекомендаціях щодо розкріплення сталевих конструкцій сендвіч-панелями. ECCS Pub. No. 135/CIB Pub. No. 320 (2014).

Випробування на внутрішній зоні обпирання

(1) Рекомендовано використовувати схему випробувань для перевірки внутрішньої зони обпирання, наведену в розділі А.5.4, рисунок А.7.

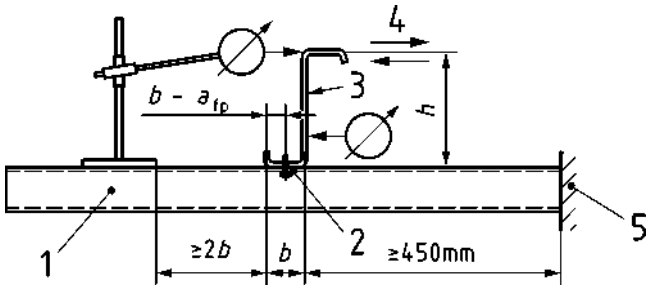
(2) Інтерпретацію результатів випробувань рекомендолвано проводити відповідно до А.5.4.

Оцінювання обмеження ручення

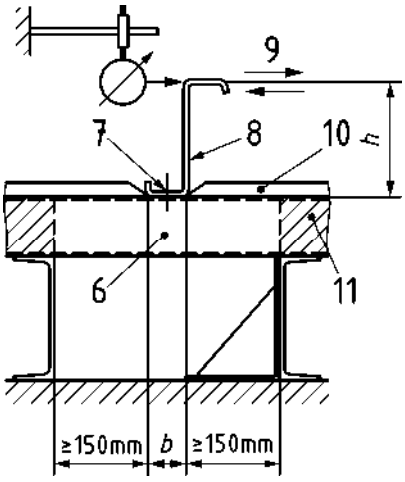
(1) Схему навантаження, показану на рисунку А.11 дозволено застосовувати для визначення рівня обмеження кручення, забезпеченого відповідно закріпленим профільованим листом або окремим (самостійним) елементом, розташованим перпендикулярно до прогону випробовуваного елемента.

(2) Схеми випробувань, наведені на рисунку А.11, вимірюють загальну величину розкріплення від двох комбінованих впливів:

a) бічної жорсткості K_{A} на одиницю довжини, обумовленої поворотною жорсткістю з'єднання між профільованим листом і елементом;
b) бічної жорсткості K_{B} на одиницю довжини, обумовленої зміною форми поперечного перерізу поперечного перерізу елемента.



a) Схема навантаження 1



b) Схема навантаження 2

Умовні познаки:

1 — профільовані листи;
2 — кріпильний виріб;
3 — елемент;
4 — навантаження;
5 — защемлена опора;
6 — профільовані листи (sheeting);
7 — кріпильний виріб;
8 — елемент;
9 — навантаження;
10 — ізоляція (якщо застосовна);
11 — дерев'яний брусок

Рисунок А.11 — Альтернативна схема випробування для визначення значень жорсткості пружини K_{A} і K_{B}

(3) Оцінювання результатів випробування рекомендовано проводити за формулою (А.7):

$$\frac{1}{K_{\mathrm{A}}\, l_{\mathrm{A}}} + \frac{1}{K_{\mathrm{B}}\, l_{\mathrm{B}}} = \frac{\delta_{\mathrm{lat}}}{F_{\mathrm{lat}}}, \qquad \text{(А.7)}$$

де

L_{a} — ширина випробовуваного профільованого листа;

l_{B} — довжина випробовуваного елемента;

F_{lat} — навантаження, що викликає поперечний прогин *h*/10;

δ_{lat} — бічне переміщення верхньої полиці в напрямку навантаження F_{lat}.

(4) Значення $C_{\mathrm{D,A}}$ для навантаження вагою і для підйомного навантаження рекомендовано визначати за формулою (A.8):

$$C_{\mathrm{D,A}} = \frac{\frac{h_{\mathrm{w}}^2}{l_{\mathrm{A}}}}{\frac{\delta_{\mathrm{lat}}}{F_{\mathrm{lat}}} - \frac{4(1-\upsilon^2)\, h_{\mathrm{w}}^2 (h_{\mathrm{d}} + b_{\mathrm{mod}})}{E\, t^3\, l_{\mathrm{B}}}}, \qquad \text{(A.8)}$$

де

b_{mod}, h_{w} та h_{d} — параметри, визначені в 11.1.5(4);

l_{A} та l_{B} — довжини, визначені у A.6.3(3).

(5) Для інтерпретації результатів випробувань відповідно до A.9, рекомендовано вважати змінними наступні параметри:

— кількість кріпильних виробів на одиницю довжини зразка;

— тип кріпильних виробів;

— згинальна жорсткість елемента відносно його товщини;

— згинальна жорсткість нижньої полиці профільованого листа відносно його товщини;

— розташування кріпильних виробів на полиці профільованого листа;

— відстань від кріпильних виробів до центру повороту елемента;

— загальна висота балки;

— наявність ізоляції між елементом і профільованим листом.

A.7 Випробування кріпильних елементів

(1) Випробування кріпильних виробів у даному документі додатково не уточнюється.

Примітка 1. EAD 330046-01-0602, *Fastening Screws for Metal Members and Sheeting* and EAD 330153-01-0602, *Cartridge fired pin for Connections of thin gauge Steel Members and Sheeting* доступні для оцінки та визначення властивостей кріпильних елементів, необхідних для проектування холодноформованих конструкцій відповідно до цього Єврокодом.

НАЦІОНАЛЬНЕ ПОЯСНЕННЯ

EAD 330046010602, Кріпильні гвинти для металевих елементів і профільованого листа,

і

EAD 330153 01 0602, Пороховий дюбель, для з'єднання тонкостінних сталевих елементів і профільованого листа.

Примітка 2. Додаткову інформацію щодо методик випробування кріпильних елементів наведено в The Design and Testing of Connections in Steel Sheeting and Sections: ECCS Publication No. 124 (2009) (Проєктування і випробування з'єднань в сталевих профільованих листах листах і профілях: Публікація ECCS № 124 (2009)).

НАЦОНАЛЬНЕ ПОЯСНЕННЯ

Проєктування і випробування з'єднань в сталевих профільованих листах листах і профілях: Публікація ECCS № 124 (2009)

(2) Для режиму крихкого руйнування рекомендовано закладати додатковий запас міцності, порівняно з режимом пластичного руйнування.

A.8 Випробування складників складського обладнання

(1) Випробування складників регульованих стелажів для піддонів описано в EN 15512.

Примітка. Для інших типів складського обладнання стандартів не передбачено, проте існує низка галузевих правил і практик:

FEM 10.2.06: Стелажі;

FEM 10.2.07: В'їзні та наскрізні стелажі;

FEM 10.2.09: Консольні стелажі.

A.9 Оцінювання результатів випробування

A.9.1 Загальні положення

(1) Випробний зразок рекомендоавно вважати таким, що не пройшов випробування, якщо прикладені навантаження досягли своїх максимальних значень, у життєво важливій частині зразка утворилася тріщина або загальні деформації перевищили встановлені границі.

(2) Рекомендовано, щоб загальна деформація елементів у цілому задовольняла критеріям:

Для випробування прогонів:

$$\delta \le L/50 \qquad \text{(A.9)}$$

Для випробування опор:

$$\theta \le 1/50\,, \qquad \text{(A.10)}$$

де

δ — максимальний прогин елемента прогона *L*;

θ — поворот (кут перекосу) конструкції.

(3) Під час випробування з'єднань або складників, в яких для точного оцінювання необхідно досліджувати великі деформації (наприклад, для оцінюавання характеристик залежності «момент-поворот» для накладок), не потрібно встановлювати обмеження на загальну деформацію під час випробування.

A.9.2 *Коригування результатів випробування*

(1) Результати випробувань рекомендовано належним чином скоригувати для урахування відмінностей між фактичними виміряними властивостями випробних зразків і їх номінальними значеннями.

(2) Рекомендовано, щоб виміряна основна границя текучості $f_{\mathrm{yb,obs}}$ не відхилялася більш ніж на -25% від номінальної основної границі текучості f_{yb}, таким чином: $f_{\mathrm{yb,obs}} \ge 0{,}75\, f_{\mathrm{yb}}$.

(3) Рекомендоавно, щоб виміряна товщина t_{obs} не перевищувала номінальну товщину матеріалу t_{nom} (див. 5.2.4) більше ніж на 12%.

(4) Для всіх випробувань рекомендовано провести коригування з урахуванням фактичних виміряних значень товщини основного матеріалу $t_{\mathrm{cor,obs}}$ і основної границі текучості $f_{\mathrm{yb,obs}}$, за винятком випадків, коли значення, виміряні в ході випробувань, використано для калібрування розрахункової моделі. В останньому випадку застосовувати положення A.9.2(5) немає необхідності.

(5) Скориговане значення опору $R_{\mathrm{adj,i}}$ i-того результату випробувань ($i = 1…n$) дозволено визначати на основі виміряного результату випробування $R_{\mathrm{obs,i}}$ за формулою (A. 11):

$$R_{\mathrm{adj,I}} = R_{\mathrm{obs,i}}/\mu_{\mathrm{R}} \,, \qquad \text{(A.11)}$$

де

μ_{R} — коригувальний коефіцієнт опору, заданий за:

$$\mu_{\mathrm{R}} = \left(\frac{f_{\mathrm{yb,obs}}}{f_{\mathrm{yb}}}\right)^{\alpha} \left(\frac{t_{\mathrm{cor,obs}}}{t_{\mathrm{cor}}}\right)^{\beta} \qquad \text{(A.12)}$$

(6) показник ступеня α для використання у формулі (A.12) рекомендовано обчислювати за формулами (A.13) і (A.14):

— якщо $f_{\mathrm{yb,obs}} \le f_{\mathrm{yb}}$: $\alpha = 0$ (A.13)

— якщо $f_{\mathrm{yb,obs}} > f_{\mathrm{yb}}$: $\alpha = 1$ (A.14)

Для профільованого листа або касетних профілів, в яких стиснуті елементи мають такі великі співвідношення b_{p}/t, що місцева втратиа стійкості, безсумнівно, буде ознакою руйнування: $\alpha = 0{,}5$.

(7) Показник ступеня β для використання у формулі (A.12) рекомендовано обчислювати так:

— якщо $t_{\mathrm{cor,obs}} \leq t_{\mathrm{cor}}$: $\beta = 1$ (A.15)

— якщо $t_{\mathrm{cor,obs}} > t_{\mathrm{cor}}$:

— для випробувань профільованого листа чи касетних профілів:

$\beta = 2$ (A.16)

— для випробувань елементів, конструкцій або з'єднань елементів:

— якщо $b_{\mathrm{p}}/t \leq (b_{\mathrm{p}}/t)_{\mathrm{lim}}$: $\beta = 1$ (A.17)

— якщо $b_{\mathrm{p}}/t > 1{,}5\ (b_{\mathrm{p}}/t)_{\mathrm{lim}}$: $\beta = 2$ (A.18)

— якщо$(b_{\mathrm{p}}/t)_{\mathrm{lim}} < b_{\mathrm{p}}/t < 1{,}5\ (b_{\mathrm{p}}/t)_{\mathrm{lim}}$: β обчислюють лінійною інтерполяцією.

з граничним відношенням ширини до товщини $(b_{\mathrm{p}}/t)_{\mathrm{lim}}$ заданим формулою:

$$\left(\frac{b_{\mathrm{p}}}{t}\right)_{\mathrm{lim}} = 0{,}64\sqrt{\frac{Ek_\sigma}{f_{\mathrm{yb}}}}\sqrt{\frac{f_{\mathrm{yb}}/\gamma_{\mathrm{M0}}}{\sigma_{\mathrm{com,Ed}}}} \cong 19{,}1\,\varepsilon\sqrt{k_\sigma}\sqrt{\frac{\frac{f_{\mathrm{yb}}}{\gamma_{\mathrm{M0}}}}{\sigma_{\mathrm{com,Ed}}}}, \quad \text{(A.19)}$$

де

b_{p} — умовна плоска ширина плоского елемента;

k_σ — відповідний коефіцієнт для втрати стійкості за таблицею 6.1 або 6.2 у EN 1993-1-5:2024;

$\sigma_{\mathrm{com,Ed}}$ — обчислене максимальне стискальне напруження в елементі в граничному стані за несною здатністю;

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_{\mathrm{yb}}}} \text{ із } f_{\mathrm{y}} \text{ у } \mathrm{Н/мм^2} \quad \text{(A.20)}$$

(8) Під час коригування моменту інерції, якщо в граничному стані експлуатаційної придатності спостерігається лінійна поведінка, показники у формулі (A.12) рекомендовано приймати наступними: $\alpha = 0{,}0$ і $\beta = 1{,}0$.

A.9.3 *Характеристичні значення*

A.9.3.1 *Загальні положення*

(1) Характеристичні значення вопробовуваних властивостей дозволено визначати статистично за умови, що є принаймні три результати випробування.

(2) Додаткові правила застосовні до серій випробувань, як зазначено в A.9.3.2, або до випадків, коли доступна лише обмежена кількість результатів випробувань, як зазначено в A.9.3.3.

(3) Статистичне оцінювання, що призводить до визначення характеристичних значень, рекомендовано проводити відповідно до EN 1990:2023, додаток D.

(4) Значення коефіцієнта k_{n} рекомендовано визначати за таблицею D.1, EN 1990:2023 залежно від кількості результатів випробувань і для невідомого значення V_{x}.

A.9.3.3 *Характеристичні значення для серій випробувань*

(1) Серійні випробування, які проводять на деякій кількості подібних конструкцій, їх частин, елементів, листів, інших складників конструкцій, в яких один або декілька параметрів відрізняються, дозволено розглядати як одну групу випробувань за умови, що всі вони мають однакову форму руйнування. До змінних параметрів дозволено включати розміри поперечного перерізу, довжину прогону, товщину і міцність матеріалу.

Для випробування однопрогонового зразка серії випробувань внутрішньої зони обпирання і кінцевої зони обпирання визначено в A.5.2, A.5.4 і A.5.5 відповідно.

(2) Для обчислення характеристичного значення опору $R_{\mathrm{k,j}}$ з *j*-тої серії випробувань, кожен результат випробувань рекомендовано спочатку нормалізувати, розділивши його на середнє значення опору *j*-тої серії $R_{\mathrm{adj,m,j,}}$ див. формулу (A.21):

$$x_{\mathrm{i,j}} = \frac{R_{\mathrm{adj,i,j}}}{R_{\mathrm{adj,m,j}}} \qquad i = 1...n_{\mathrm{j}} \qquad \text{(A.21)}$$

де

n_{j} — кількість окремих випробувань у серії випробувань*j*;

$R_{\mathrm{adj,i,j}}$ — скориговане значення опору *i*-того зразка *j*-тої серії випробувань;

$R_{\mathrm{adj,m,j}}$ — середнє значення скоригованого опору $R_{\mathrm{adj,i,j}}$ *j*-тої серії.

(3) Значення k_{n}, обчислене за таблицею D.1 EN 1990:2023, рекомендовано засновувати на загальній кількості випробувань n_{tot} у групі за формулою (A.22):

$$n_{\mathrm{tot}} = \sum_{\mathrm{j}} n_{\mathrm{j}}\,, \qquad \text{(A.22)}$$

де

n_{j} — кількість окремих випробувань у серії випробувань *j*.

(4) Стандартний відхил s_{x} рекомендовано розрахувати за формулою (A.23):

$$s_{\mathrm{x}} = \sqrt{\frac{1}{n_{\mathrm{tot}} - 1} \sum_{\mathrm{j}} \sum_{\mathrm{i}} \left(x_{\mathrm{i,j}} - 1\right)^2} \qquad \text{(A.23)}$$

(5) Характеристичне значення опору R_{k} рекомендовано обчислювати за формулою (A.24):

$$R_{\mathrm{k,j}} = R_{\mathrm{adj,m,j}} \cdot \left(1 \pm k_{\mathrm{n}} s_{\mathrm{x}}\right), \qquad \text{(A.24)}$$

де

s_{x} — стандартний відхил, як зазначено в (4);

k_{n} — відповідний коефіцієнт з таблиці D.1 EN 1990:2023;

$R_{\mathrm{adj,m,j}}$ — середнє значення скоригованого опору $R_{\mathrm{adj,i,j}}$.

У формулі (A.24) рекомендолвано використовувати найнесприятливіший знак «+» або «−».

(6) A.9.3.2 аналогічно застосовний для визначення характеристичних значень в граничному стані експлуатаційної придатності для деформацій,

поворотів і жорсткості елементів, профільованого листа і конструкцій.

Для характеристичних значень поворотів у формулі (A.24) рекомендовано враховувати обидва знака.

A.9.3.3 *Характеристичні значення, засновані на невеликій кількості випробувань*

(1) Якщо проведено тільки одне випробування, характеристичне значення опору R_{k}, відповідне цьому випробуванню, рекомендовано отримувати зі скоригованого значення результату випробування R_{adj} за формулою (A.25):

$$R_{\mathrm{k}} = 0{,}9\,\eta_{\mathrm{k}}\,R_{\mathrm{adj}} \qquad \text{(A.25)}$$

де η_{k} рекомендовано приймати залежно від режиму відмови наступним чином:

— текучість $\eta_{\mathrm{k}} = 0{,}9$;

— надмірна загальна деформація: $\eta_{\mathrm{k}} = 0{,}9$;

— місцева втрата стійкості: $\eta_{\mathrm{k}} =$ від $0{,}8$ до $0{,}9$, залежно від впливу на загальну поведінку під час випробування;

— загальна втрата стійкості: $\eta_{\mathrm{k}} = 0{,}7$.

(2) Для серії з двох випробувань, за умови, що кожен скоригований результат випробування $R_{\mathrm{adj,i}}$ знаходиться в межах ±10% від середнього значення $R_{\mathrm{adj,m}}$ скоригованих результатів випробування, характеристичне значення опору R_{k} рекомендовано отримувати за формулою (A.26):

$$R_{\mathrm{k}} = \eta_{\mathrm{k}}\,R_{\mathrm{adj,m}} \qquad \text{(A.26)}$$

(3) Якщо проведено лише одне випробування, характеристичне значення жорсткості рекомендовано помножити на 0,95 у випадках, коли вища жорсткість є сприятливою, і помножити на 1,05 у випадках, коли вища жорсткість є несприятливою.

(4) Характеристичні значення жорсткісних властивостей (наприклад, згинальна або поворотна жорсткість) дозволено прийняти за середнє значення принаймні двох випробувань за умови, що результат кожного

випробування знаходиться в межах ±10% від середнього значення.

A.9.4 *Розрахункові значення*

(1) Розрахункове значення опору R_{d} рекомендовано отримувати з відповідного характеристичного значення опору R_{k}, визначеного в результаті випробувань за формулою (A.27):

$$R_{\mathrm{d}} = \eta_{\mathrm{sys}} \frac{R_{\mathrm{k}}}{\gamma_{\mathrm{M}}}, \qquad \text{(A.27)}$$

де

γ_{M} — частковий коефіцієнт опору, див. розділ 4;

η_{sys} — коефіцієнт перерахування, що враховує відмінності в роботі в умовах випробувань і у фактичних умовах експлуатації.

(2) Відповідне значення η_{sys} рекомендовано визначати в залежності від моделювання схеми навантаження аналітичними або числовими моделями в порівнянні з реальністю.

(3) Для випробування

— окремих балок і колон, відповідно до A.3;

— профільованого листа, відповідно до A.5;

— елементів з обмеженням кручення, відповідно до A.6;

— кріпильних елементів, відповідно до A.7;

— складників складського обладнання, відповідно до пункту A.8;

а для інших чітко визначених стандартних методик випробування значення η_{sys} дозволено прийняти рівним 1,0.

Примітка. Частковий коефіцієнт γ_{M} може бути встановлено в національному додатку. Значення γ_{M}, зазначені в розділі 4, є застосовними, якщо тільки інші значення не визначено за додатком D, EN 1990:2023.

ДОДАТОК В

(довідковий)

ДОВГОВІЧНІСТЬ КРІПИЛЬНИХ ВИРОБІВ

В.1 Застосування цього додатка

(1) Цей довідковий додаток містить додаткові вказівки до розділу 6 щодо довговічності, що враховують випадки спільної роботи листа і кріпильних виробів із різних матеріалів. У таблиці В.1 наведено рекомендовані конфігурації щодо корозії.

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

В.2 Сфера та область застосування

(1) У цьому довідковому додатку наведено профільовані листи і матеріали кріпильних виробів, зазначені в таблиці В.1.

(2) Класифікацію середовищ відповідно до EN ISO 12944-2 наведено в таблиці В.2.

Таблиця В.1 — Матеріал кріпильних виробів в залежності від корозійного середовища (матеріал профільованого листа вказано тільки для інформації). Розглядають лише ризик корозії. Класифікація середовищ за EN ISO 12944-2

Класифікація середовищ	Матеріал листа	Матеріал кріпильного виробу				
		Алюміній	Електролізно-оцинкована сталь. Товщина покриву ≥ 8 мкм	Гарячеоцинкована сталь, [b] Товщина покриву > 45 мкм	Нержавка сталь [d]	Сплав [a]
C1	A, B, C	X	X	X	See EN 1993-1-4	X
	D, E, S	X	X	X		X
C2	A	X	—	X		X
	C, D, E	X	—	X		X
	S	X	—	X		X

Кінець таблиці В.1

Класифікація середовищ	Матеріал листа	Матеріал кріпильного виробу				
		Алюміній	Електролізно--оцинкована сталь. Товщина покриву ≥ 8 мкм	Гарячеоцинкована сталь, [b] Товщина покриву > 45 мкм	Нержавка сталь [d]	Сплав [a]
C3	A	X	—	X		X
	C, E	X	—	X		—
	D	X	—	X		X
	S	—	—	X		X
C4	A	X	—	(X)[C]		—
	D	—	—	X		—
	E	X	—	X		—
	S	—	—	X		X
C5-I	A	X	—	—		—
	D[f]	—	—	X		—
	S	—	—	—		—
C5-M	A	X	—	—		—
	D[f]	—	—	X		—
	S	—	—	—		—

Умовні позначки:

A = Алюміній незалежно від типу обробки поверхні

B = Сталевий лист без покриву

C = Гарячеоцинкована сталь (Z275) або сталеві листи з покривом алюмінієво-цинковим сплавом (AZ150)

D = Гарячеоцинковані сталеві листи + покрив фарбою або пластиком

E = Сталеві листи з покривом алюмінієво-цинковим сплавом (AZ185)

S = Нержавка сталь

X = Тип матеріалу, рекомендований з урахуванням захисту від корозії

(X) = Тип матеріалу, рекомендований з урахуванням захисту від корозії тільки за специфічних умов

- = Тип матеріалу, не рекомендований з урахуванням захисту від корозії

Примітка. Кріпильні вироби з вуглецевої сталі без покриву можуть бути використані в корозійному класі C1.

[a] стосується тільки заклепок.

[b] стосується тільки гвинтів і гайок.

[c] ізолювальна шайба із довговічного матеріалу між листом і кріпильним виробом.

[d] Нержавка сталь EN 10088.

[e] Ризик зникнення кольору

[f] Обов’язкова перевірка з постачальником листів.

Таблиця В.2 — Класифікація корозійної агресивності атмосферного середовища згідно з EN ISO 12944 2 і приклади типових середовищ

Категорія корозійної агресивності	Ступінь корозійної агресивності	Приклади типових середовищ помірного клімату (довідкові)	
		Зовнішнє середовище	Внутрішнє середовище
C1	Дуже низький	—	Опалювальні будівлі з чистим повітрям, такі як офіси, магазини, школи та готелі.
C2	Низький	Атмосфера з низьким рівнем забруднення. В основному сільська місцевість.	Неопалювані будівлі, де можливе утворення конденсату, наприклад, склади, спортивні зали.
C3	Середній	Міська і промислова атмосфера з помірним вмістом сірчистого ангідриду. Прибережні області з низьким вмістом солі.	Виробничі приміщення з високою вологістю і деякими виділеннями у повітря, наприклад, підприємства з виготовлення харчових продуктів, пральні, броварні.
C4	Високий	Промислові і прибережні зони з середнім вмістом солі.	Хімічні заводи, плавальні басейни, прибережні корабле- і судноверфі.
C5-I	Дуже високий (промисловий)	Промислові зони з високою вологістю і агресивною атмосферою.	Будівлі або райони з майже постійним конденсатом і високим забрудненням повітря.
C5-M	Дуже високий (морський)	Прибережні приморські райони з високим вмістом солей	Будівлі або райони з майже постійним конденсатом і високим забрудненням повітря.

ДОДАТОК С

(обов’язковий)

ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНИХ ШИРИНИ І ТОВЩИНИ КРАЙОВИХ ЕЛЕМЕНТІВ ЗМІШАНИМ МЕТОДОМ

С.1 Застосування цього додатка

(1) Цей обов'язковий додаток містить додаткові положення до 7.6.2, щодо проєктування консольних елементів, під дією місцевої втрати стійкості.

С.2 Сфера та область застосування

(1) Цей обов’язковий додаток охоплює розрахунок місцевої втрати стійкості консольних елементів під дією стиску та/або згину на основі змішаного методу ефективної ширини / товщини.

С.3 Опір поперечного перерізу

(1) Для консольних елементів під дією стиску та/або вигину потрібно застосовувати змішаний метод визначення ефективної ширини і ефективної товщини, відповідно до положень цього додатка С.

(2) Консольний елемент розділено на повністю ефективну частину і приведену частину, послаблену місцевим прогином. Площа ефективного поперечного перерізу консольного елемента складена з ефективної ширини b_{e0}, помноженої на повну товщину елемента t, і ширини елемента $(b_p - b_{e0})$, помноженої на ефективну товщину t_{eff}, див. таблицю С.1.

(3) Понижувальний коефіцієнт місцевої втрати стійкості визначають за формулою (С.1):

$$\rho = \begin{cases} \dfrac{1}{\bar{\lambda}_p} - \dfrac{0{,}188}{\bar{\lambda}_p^2} \le 1 \text{ if } 0{,}749 \le \bar{\lambda}_p < 1{,}2 \\ \dfrac{0{,}77}{\sqrt{\bar{\lambda}_p}} \text{ if } 1{,}2 \le \bar{\lambda}_p \le 3{,}2 \end{cases} \qquad \text{(С.1)}$$

де

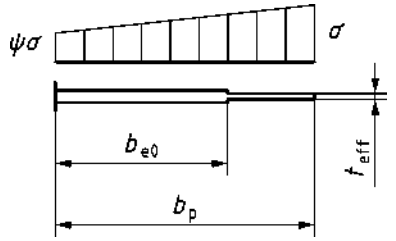
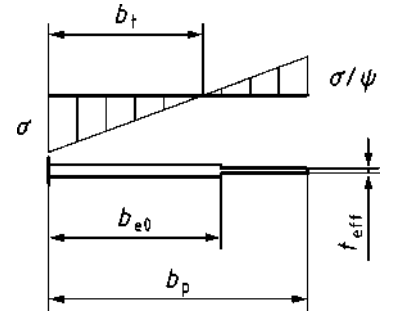
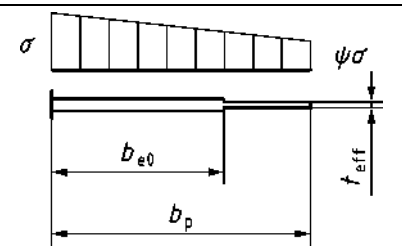
$\bar{\lambda}_{\mathrm{p}}$ — відносна гнучкість для місцевої втрати стійкості плоских елементів, наведена у 7.6.2.

(4) Коефіцієнт втрати стійкості k_{σ} для різних розподілів напружень дозволено визначати числовими методами. Консервативно, дозволено застосовувати значення, наведені в таблиці 6.2, EN 1993 -1-5:2024.

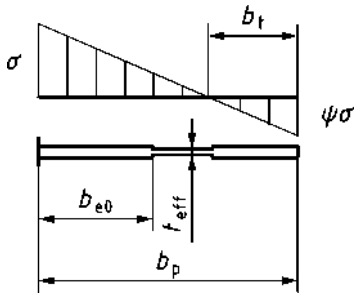
(5) Рекомендовано, щоб коефіцієнт напруження ψ, застосовний у (4) та таблиці С.1, базувався на характеристиках поперечного перерізу брутто.

(6) Опір поперечного перерізу рекомендовано засновувати на розподілі пружних напружень в ефективному поперечному перерізі.

Таблиця С.1 — Консольні стиснуті елементи

Максимальне стиснення на вільному поздовжньому краї	
Розподіл напружень	Ефективні ширина і товщина
	$1 \geq \psi \geq 0$ $b_{e0} = 0{,}42\ b_{\mathrm{p}}$ $t_{\mathrm{eff}} = (1{,}75\ \rho - 0{,}75)\ t$
	$\psi < 0$ $b_{\mathrm{e0}} = \frac{0{,}42\ b_p}{(1-\psi)} + b_{\mathrm{t}} < b_{\mathrm{p}}$ $b_{\mathrm{t}} = \frac{\psi\ b_{\mathrm{p}}}{(\psi - 1)}$ $t_{\mathrm{eff}} = (1{,}75\ \rho - 0{,}75 - 0{,}15\ \psi)\ t$
Максимальний стиск на обпертому поздовжньому краї	
Розподіл напружень	Ефективні ширина і товщина
	$1 \geq \psi \geq 0$ $b_{\mathrm{e0}} = 0{,}42\ b_p$ $t_{\mathrm{eff}} = (1{,}75\ \rho - 0{,}75)\ t$

Кінець таблиці С.1

	$\psi < 0$ $b_{e0} = \frac{0{,}42\ b_p}{(1-\psi)}$ $b_t = \frac{\psi\ b_p}{(\psi-1)}$ $t_{eff} = (1{,}75\ \rho - 0{,}75)\ t$

БІБЛІОГРАФІЯ

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

Посилання на нижчеперелічені документи наведено в тексті так, що частина або весь їх вміст, хоча і не є суворими вимогами, яких необхідно дотримуватися, являють собою настійно рекомендований вибір або напрям дій в рамках даного стандарта. Застосування альтернативних стандартів дозволено за умови технічного обґрунтування відповідно до національного законодавства та/або будь-яких відповідних договірних положень. У разі датованих посилань застосовують тільки наведені видання. У разі недатованих посилань потрібно користуватись останнім виданням нормативних документів (разом зі змінами).

1. EN 1993-1-5:2024, Eurocode 3 — Design of steel structures — Part 1-5: Plated structural elements

2. EN 1993-1-8:2024, Eurocode 3 — Design of steel structures — Part 1-8: Joints

НАЦІОНАЛЬНЕ ПОЯСНЕННЯ

1. EN 1993-1-5:2024 Проєктування сталевих конструкцій. Частина 1-5. Пластинчасті конструктивні елементи

2. EN 1993-1-8 Єврокод 3. Проєктування сталевих конструкцій. Частина 1-8. З’єднання елементів

Посилання, наведені у дозволах (тобто через пункти «дозволено»)

Посилання на нижчеперелічені документи наведено в тексті так, що частина або весь їх вміст, хоча і не є суворими вимогами, яких необхідно дотримуватися, відображають допустимий в рамках Єврокодів порядок дій. У разі датованих посилань застосовують тільки наведені видання. У разі

недатованих посилань потрібно користуватись останнім виданням нормативних документів (разом зі змінами).

1. EN 10143, Continuously hot-dip coated steel sheet and strip — Tolerances on dimensions and shape

НАЦІОНАЛЬНЕ ПОЯСНЕННЯ

1. EN 10143 Лист і штаба сталеві з покривом, нанесеним методом безперервного гарячого занурювання. Допуски на розміри та форму

Посилання, наведені у можливостях (тобто через пункти «можна») і примітки

1. CEN/TR 1993-1-103, Eurocode 3 — Design of Steel Structures Part 1-103: Elastic Critical Buckling of Members

2. EN 1994 (all parts), Eurocode 4: Design of composite steel and concrete structures

3. EN 10025 (all parts), Hot rolled products of structural steels

4. EN 10088 (all parts), Stainless steels

5. EN 10149 (all parts), Hot rolled flat products made of high yield strength steels for cold forming

6. EN 10219 (all parts), Cold formed welded structural hollow sections of non-alloy and fine grain steels

7. EN 10268, Cold rolled steel flat products with high yield strength for cold forming — Technical delivery conditions

8. EN 10346, Continuously hot-dip coated steel flat products for cold forming — Technical delivery conditions

9. EN 14509-1 [4] Factory-made double skin metal faced insulating sandwich panels — Part 1: Self-supporting applications

[4] На етапі підготування. Етап на момент публікації: prEN 14509-1.

10. EN 14509-2[5] Double skin metal faced insulating panels — Factory made products — Specifications — Part 2: Structural applications — Fixings and potential uses of stabilization of individual structural elements

11. EN 14782, Self-supporting metal sheet for roofing, external cladding and internal lining — Product specification and requirements

12. EN 15512, Steel static storage systems — Adjustable pallet racking systems — Principles for structural design

13. EN ISO 1478, Tapping screws thread (ISO 1478)

14. EN ISO 10684, Fasteners — Hot dip galvanized coatings (ISO 10684)

15. EN ISO 12944-2, Paints and varnishes — Corrosion protection of steel structures by protective paint systems — Part 2: Classification of environments (ISO 12944-2)

16. ISO 4997, Cold-reduced carbon steel sheet of structural quality

17. EAD 330046-01-0602, Fastenings Screws for Metal Members and Sheeting

18. EAD 330153-01-0602, Cartridge fired pin for Connections of thin gauge Steel Members and Sheeting

19. ECCS Publication No. 135/CIB Publication No.320: 2014, European recommendations on the stabilization of steel structures by sandwich panels. ECCS European convention for steel construction. Brussels.

Available from: http://site.cibworld.nl/dl/publications/pub320.pdf

20. ECCS Publication No. 088: 1995, European recommendations for the application of metal sheeting acting as a diaphragm. ECCS European convention for steel construction. Brussels. Available from:

http://www.steelconstruct.com

21. ECCS Publication No. 124; 2009, The Testing of Connections with Mechanical Fasteners in Steel Sheeting and Sections. ECCS European convention for steel construction. Brussels. Available from:

http://www.steelconstruct.com

[5] На етапі підготування. Етап на момент публікації: prEN 14509-2.

22. FEM 10.2.06: Shelving. Available from: www.erfed.org

23. FEM 10.2.07: Drive-in and drive-through racking. Available from: www.erfed.org

24. FEM 10.2.09: Cantilever racking. Available from: www.erfed.org

25. Schmidt, H. et al., Ausführung von Stahlbauten: Kommentare zu DIN EN 1090-1 und DIN EN 1090-2, January 2014 — ISBN: 978-3-433-60410-6

26. Blanc, M.; Renaux, T.; Izabel, D: Strength capacities of metal interlocking plank: Justification by calculation according to Eurocodes. Revue construction métalique. No.4 — 2020.

27. PACTE — Programme d'action pour la qualité de la construction et de la transition énegétique: Recommendations professionelles pour la conception et la realisation de planchers collaborants acier béton. AQC, 2020

НАЦІОНАЛЬНЕ ПОЯСНЕННЯ

1. CEN/TR 1993-1-103 Єврокод 3. Проєктування сталевих конструкцій. Частина 1-103. Пружна критична втрата стійкості елементами

2. EN 1994 (всі частини) Єврокод 4. Проєктування сталезалізобетонних конструкцій

3. EN 10025 (всі частини) Вироби гарячекатані з конструкційної сталі

4. EN 10088 (всі частини) Нержавка сталь

5. EN 10149 (всі частини) Гарячекатаний плоский прокат із сталі з високою межею текучості для холодного формування

6. EN 10219 (всі частини) Холодноформовані зварні сталеві конструкційні порожнисті профілі

7. EN 10268 Вироби плоскі сталеві з покривом, нанесеним методом безперервного гарячого занурювання. Технічні умови постачання

8. EN 10346 Вироби плоскі сталеві з покривом, нанесеним методом безперервного гарячого занурювання. Технічні умови постачання

9. EN 14509-1 Панелі теплоізоляційні самонесні з двобічним

металевим облицюванням. Вироби заводського виготовлення. Частина 1. Самонесні конструкції

10. EN 14509-2 Панелі теплоізоляційні самонесні з двостороннім металевим облицюванням. Вироби заводського виготовлення. Технічні умови. Частина 2. Застосування в конструкціях кріплень і можливі способи стабілізації окремих елементів конструкції

11. EN 14782 Листи металеві самонесучі для покрівлі, зовнішнього обшиття і внутрішнього облицювання. Технічні умови на продукцію та вимоги

12. EN 15512 Сталеві статичні системи зберігання. Регульовані стелажні системи для палет. Принципи структурного проєктування

13. EN ISO 1478 Різьба саморізів (ISO 1478)

14. EN ISO 10684 Кріпильні вироби. Покриття гарячеоцинковані (ISO 10684)

15. EN ISO 12944-2 Фарби та лаки. Захист від корозії сталевих конструкцій захисними лакофарбовими системами. Частина 2. Класифікація середовищ (ISO 12944-2)

16. ISO 4997 Холоднообтиснені профільовані листи з вуглецевої сталі конструкційної якості

17. EAD 330046-01-0602 Гвинти для кріплення металоконструкцій і профнастилу

18. EAD 330153-01-0602 Пороховий дюбель для з’єднання тонкоколійних сталевих елементів та листів

19. Публікація ECCS No. 135/ Публікація CIB No.320:2014, Європейські рекомендації щодо розкріплення сталевих конструкцій сендвіч-панелями. ECCS Європейська конвенція щодо сталевих конструкцій. Брюссель.

Доступно з: http://site.cibworld.nl/dl/publications/pub320.pdf

20. Публікація ECCS No. 088: 1995 Європейські рекомендації щодо використання металевих профільованих листів, які працюють як

діафрагма.. ECCS Європейська конвенція щодо сталевих конструкцій. Брюссель.

Доступно з: http://www.steelconstruct.com

21. Публікація ECCS No. 124; 2009 Випробування з'єднань з механічним кріпильними виробами в сталевих профільованих листах і профілях". ECCS Європейська конвенція щодо сталевих конструкцій. Брюссель.

Доступно з: http://www.steelconstruct.com

22. FEM 10.2.06: Стелажі. Доступно з: www.erfed.org

23. FEM 10.2.07: В'їзні та наскрізні стелажі. Доступно з:

www.erfed.org

24. FEM 10.2.09: Консольні стелажі. Доступно з: www.erfed.org

25. Шмідт Г. та інші, Виконання сталевих конструкцій: Коментарі до DIN EN 1090-1 і DIN EN 1090-2:2014, Січень 2014 — ISBN: 978-3-433-60410-6

26. Бланк М.; Рено Т.; Ізабель, Д: Характеристики міцності металевої з'єднувальної планки: обгрунтування розрахунками відповідно до Єврокодів. Журнал «Металеве будівництво». No.4 — 2020

27. PACTE — Програма дій для забезпечення якості будівництва та енергетичного переходу: Професійні рекомендації щодо проєктування та виконання сталезалізобетонних перекриттів. AQC, 2020

ДОДАТОК НА

(довідковий)

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

1. ДСТУ Б EN 1090-2 Виконання сталевих і алюмінієвих конструкцій. Частина 2. Технічні вимоги до сталевих конструкцій

2. ДСТУ EN 1090-4 Виконання сталевих та алюмінієвих конструкцій. Частина 4. Технічні вимоги до холодноформованих сталевих будівельних елементів та конструкцій для покрівель, стель, підлог і стін

3. ДСТУ-Н Б EN 1990 Єврокод. Основи проєктування конструкцій

4. ДСТУ-Н Б EN 1991 (усі частини) Єврокод 1. Дії на конструкції

5. ДСТУ-Н Б EN 1993 (усі частини) Єврокод 3. Проєктування сталевих конструкцій

6. ДСТУ EN 1993-1-1:20XX (EN 1993-1-1:2022, IDT) Єврокод 3. Проєктування сталевих конструкцій. Частина 1-1. Загальні правила і правила для споруд

7. ДСТУ EN 14509 Панелі теплоізоляційні самонесні з двобічним металевим облицюванням. Вироби заводського виготовлення. Технічні умови

8. ДСТУ EN ISO 7438 Металеві матеріали. Випробування на вигин.

Код згідно з НК 004: 91.080.10

Ключові слова: випробування, граничні стани, елементи жорсткості, з’єднання елементів, касетні профілі, кріпильні вироби, міцність, надійність, несна здатність, проєктування, профільовані листи, сендвіч-панелі, сталеві конструкції, холодноформовані профілі, стійкість.