



НАЦІОНАЛЬНИЙ СТАНДАРТ УКРАЇНИ

ДСТУ EN 1993-1-13:202__

(EN 1993-1-13:2024, IDT)

ЄВРОКОД 3.
ПРОЄКТУВАННЯ СТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ
Частина 1-13. Балки з великими отворами в стінці

(Проект, остаточна 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 1993-1-13:2024 Eurocode 3 — Design of steel structures — Part 1-13: Beams with large web openings (Єврокод 3. Проєктування сталевих конструкцій. Частина 1-13: Балки з великими отворами в стінці) 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 УВЕДЕНО ВПЕРШЕ

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

НАЦІОНАЛЬНИЙ ВСТУП.....	С. V
ПЕРЕДМОВА до EN 1993-1-13:2024	VI
0. ВСТУП	VII
1 СФЕРА ЗАСТОСУВАННЯ	0
1.1 Сфера застосування EN 1993-1-13	0
1.2 Припущення	3
2 НОРМАТИВНІ ПОСИЛАННЯ.....	3
3 ТЕРМІНИ, ВИЗНАЧЕННЯ ПОНЯТЬ ТА ПОЗНАКИ.....	4
3.1 Терміни та визначення понять.....	4
3.2 Позначки.....	6
4 ОСНОВИ ПРОЄКТУВАННЯ	15
4.1 Загальні положення.....	15
4.2 Перевірки.....	15
4.3 Методи розрахунку для згину <i>Віренделя</i>	16
4.3.1 <i>Метод еквівалентного прямокутного отвору</i>	16
4.3.2 <i>Альтернативні способи</i>	16
4.4 Допуски та виробництво.....	17
5 МАТЕРІАЛИ.....	17
5.1 Загальні положення.....	17
5.2 Зварювання.....	18
6 ДОВГОВІЧНІСТЬ.....	18
(1) Основні вимоги до довговічності викладено в EN 1993-1-1.	18
7 КОНСТРУКЦІЙНИЙ РОЗРАХУНОК	18
7.1 Методи розрахунку	18
7.2 Жорсткість елементів для загального конструкційного розрахунку	18
7.3 Граничний стан експлуатаційної придатності.....	21
7.4 Класифікація за загальним вигином.....	21
7.5 Класифікація таврових профілів під дією згину <i>Віренделя</i>	22
7.6 Класифікація профілів поздовжніх елементів жорсткості	24
8 ГРАНИЧНІ СТАНИ ЗА НЕСНОЮ ЗДАТНІСТЮ	24
8.1 Загальні вимоги до всіх отворів	24
8.1.1 <i>Загальні положення</i>	24
8.1.2 <i>Геометричні обмеження для непідкріплених отворів у стінці</i>	25

8.1.3 Геометричні обмеження для непідкріплених отворів у стінці	26
8.2 Опір зсуву в місцях розташування отворів у стінці.....	27
8.3 Опір згину балки з перфорованою стінкою	29
8.3.1 Загальні положення.....	29
8.3.2 Опір втраті стійкості стиснутого тавра для довгих отворів	30
8.4 Опір таврових профілів згину Віренделя	31
8.5 Втрата стійкості стінки поруч із отворами, розташованими з великим кроком..	34
8.5.1 Загальні положення.....	34
8.5.2 Втрата стійкості стінки	35
8.6 Правила для отворів, розташованих з малим кроком.....	37
8.6.1 Загальні положення.....	37
8.6.2 Згин перемички.....	37
8.6.3 Втрата стійкості перемички	39
8.6.4 Зсув перемички.....	41
8.7 Отвори, підкріплені у поздовжньому напрямку.....	42
8.7.1 Область застосування правил для отворів з поздовжніми елементами жорсткості.....	42
8.7.2 Область застосування правил для отворів з поздовжніми елементами жорсткості.....	42
8.8 Додаткові вимоги для інших випадків.....	46
Рисунок 8.6 — Типи торцевих з'єднань	49
8.9 Альтернативний метод згину Віренделя для круглих отворів	50
8.10 Альтернативний метод забезпечення стійкості перемички між круглими отворами	52
8.11 Альтернативний спосіб для синусоїдальних отворів	55
8.12 Поперечно–крутильна втрата стійкості.....	57
9 ГРАНИЧНІ СТАНИ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ ПРИДАТНОСТІ	58
БІБЛІОГРАФІЯ	61
ДОДАТОК НА (довідковий) ПЕРЕЛІК НАЦІОНАЛЬНИХ СТАНДАРТІВ УКРАЇНИ, ІДЕНТИЧНИХ ЄВРОПЕЙСЬКИМ ТА МІЖНАРОДНИМ НОРМАТИВНИМ ДОКУМЕНТАМ, ПОСИЛАННЯ НА ЯКІ Є В ЦЬОМУ СТАНДАРТІ.....	63

НАЦІОНАЛЬНИЙ ВСТУП

Цей національний стандарт ДСТУ EN 1993-1-13:202__ (EN 1993-1-13:2024, IDT) Єврокод 3. Проектування сталевих конструкцій. Частина 1-13. Балки з перфорованою стінкою, прийнятий методом перекладу, — ідентичний щодо EN 1993-1-13:2024 (версія en) «Eurocode 3 — Design of steel structures — Part 1-13: Beams with large web openings».

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 1993-1-13» 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» та в «Бібліографії» наведено «Національне пояснення», виділене рамкою;

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

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

ПЕРЕДМОВА до EN 1993-1-13:2024

Цей стандарт (EN 1993-1-13:2024) підготував Технічний комітет CEN/TC 250 «Будівельні Єврокоди», секретаріат якого підтримує BSI. CEN/TC 250 призначений CEN відповідальним за будівельні та геотехнічні питання проектування та несе відповідальність за всі будівельні єврокоди.

Цьому стандарту буде надано статус національного з публікуванням ідентичного тексту або схваленням не пізніше ніж у вересні 2027 року, 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.

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 1993-1-13

У цьому стандарті наведено вказівки і рекомендації щодо проектування балок перфорованою стінкою.

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 1993-1-13

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 1999-1-13, 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 проєкта відповідальними сторонами.

У EN 1993-1-13 національний вибір дозволено у таких пунктах:

1.1.3(1) 8.1.2(1) 8.1.3(2) 9(5)

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 1-13. БАЛКИ З ПЕРФОРОВАНОЮ СТІНКОЮ

EUROCODE 3 — DESIGN OF STEEL STRUCTURES — PART 1-13:
BEAMS WITH LARGE WEB OPENINGS

Чинний від 202X-XX-XX

1 СФЕРА ЗАСТОСУВАННЯ

1.1 Сфера застосування EN 1993-1-13

1.1.1 Загальні положення

(1) Цей документ містить додаткові положення, що розширюють застосування стандартів EN 1993-1-1 і EN 1993-1-5 до проєктування катаних і зварних сталевих профілів з отворами різної форми в стінках. Розглянуто наступні випадки:

- катані або зварні балки з одинарними або розташованими з великим кроком отворами в стінці;
- катані або зварні балки з отворами в стінці, розташованими з малим кроком;
- комірчасті балки з круглими отворами, виготовлені розрізанням і повторним зварюванням двох частин сталевих профілів, які можуть відрізнятися за розмірами;
- балки з шестигранними і синусоїдальними отворами, виготовленими розрізанням і повторним зварюванням двох частин сталевих профілів, які можуть відрізнятися за розмірами.

(2) Цей стандарт поширюється на однорідні елементи з двотавровими профілями, симетричними відносно осі мінімальної

жорсткості. Він не поширюється на непризматичні або вигнуті балки, хоча його принципи можуть бути до них застосовними.

(3) Цей стандарт поширюється на сталеві балки з перфорованою стінкою, на які діє момент, що викликає прогин (додатній) або вигин (від'ємний).

(4) Цей стандарт описує перевірку опору в отворах та їх вплив на загальну роботу балки, включно з поперечно-крутильною втратою стійкості.

(5) Для балок з круглими і синусоїдальними отворами, в яких зусилля і опори розраховують за допомогою припущення навколо або вздовж отворів, і які придатні для комп'ютерних методів, представлено альтернативні методи.

(6) Цей стандарт поширюється на гнучкість стінки h_w/t_w , що не перевищує 121ε . До цієї границі для забезпечення гнучкості стінки застосовують місцеві перевірки в сусідніх отворах і між ними. Параметр матеріалу ε визначено в 5.2.5(2), EN 1993-1-1:2022.

Примітка. Границя, що дорівнює 121ε , є границею для стінки класу 4 сталевого профілю з рівними полицями. Вона є зручним обмеженням для застосування даного стандарту, включно з моносиметричними перерізами.

(7) Цей стандарт не поширюється на втому. Для втому застосовують EN 1993-1-9.

(8) Цей стандарт не поширюється на розрахунок конструкцій на вогнестійкість. Для розрахунку конструкцій на вогнестійкість, застосовують EN 1993-1-2.

(9) Цей стандарт не містить перевірку на втрату стійкості елементів з отворами в стінках під дією осьового зусилля.

1.1.2 Форми отворів у стінках

(1) Розглянуті в цьому документі отвори різної форми у стінці, показані на рисунку 1.1.

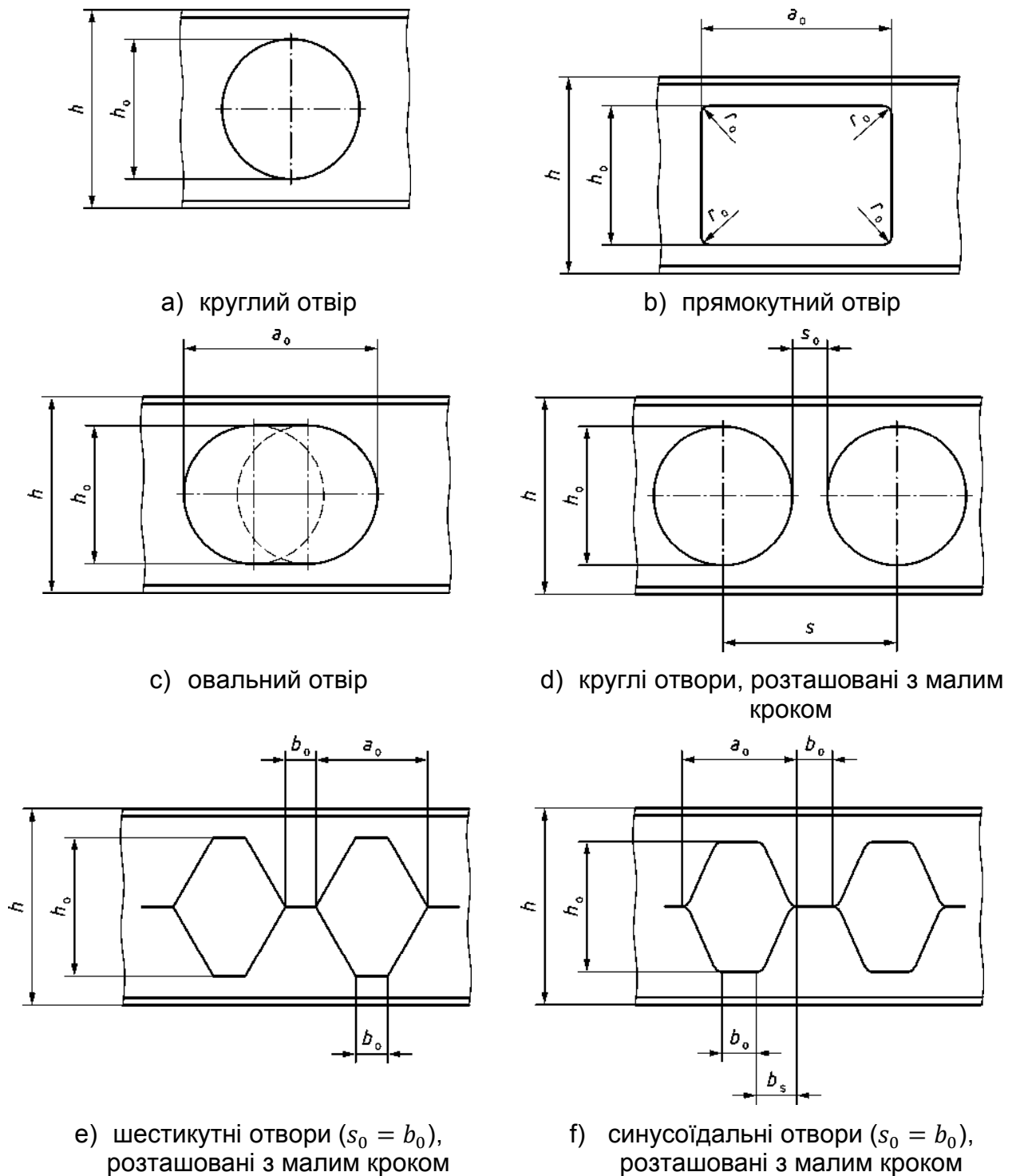


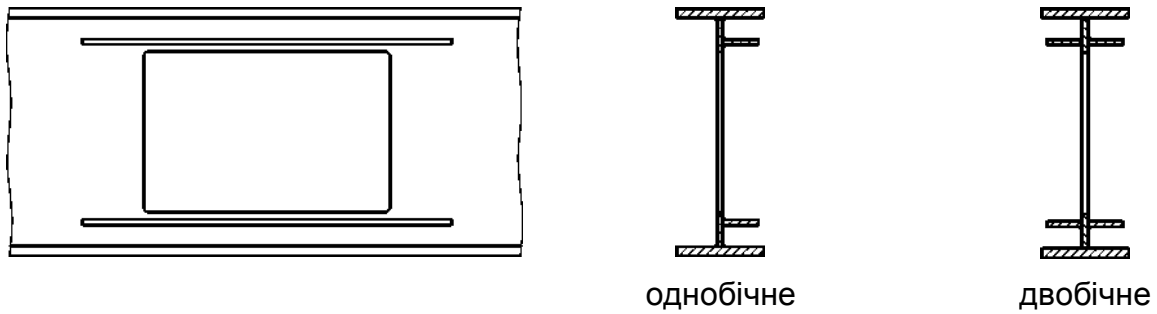
Рисунок 1.1 — Отвори різної форми у сталевих балках

1.1.3 Форми отворів у стінках

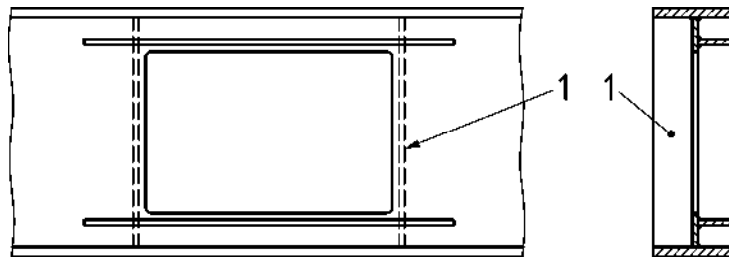
(1) Цей стандарт також застосовний до отворів у стінках балок, підкріплених поздовжніми і/або поперечними елементами жорсткості з однієї або обох сторін стінки, див. рисунок 1.2.

Примітка. Національний додаток може містити правила для

альтернативних типів елементів жорсткості.



а) поздовжні елементи жорсткості на одній або обох сторонах стінки



б) поперечні елементи жорсткості в поєднанні з поздовжніми елементами жорсткості на протилежних сторонах стінки

Умовні позначки:

1 — поперечний елемент жорсткості.

Рисунок 1.2 — Підкріплення отворів у стінках балки

1.2 Припущення

(1) Якщо не вказано інше, застосовні стандарти EN 1990, EN 1991(всі частини) та EN 1993-1-1.

(2) Методи розрахунку, наведені в EN 1993-1-13, застосовні, якщо:

- якість виконання відповідає вимогам стандарту EN 1090-2, і
- будівельні матеріали та вироби відповідають вимогам відповідних частин стандарту EN 1993 або технічним умовам на відповідні матеріали та вироби.

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 1990, Eurocode — Basis of structural and geotechnical design

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

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

НАЦІОНАЛЬНЕ ПОЯСНЕННЯ

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

EN 1990 Єврокод. Основи проектування конструкцій;

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

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

3 ТЕРМІНИ, ВИЗНАЧЕННЯ ПОНЯТЬ ТА ПОЗНАКИ

3.1 Терміни та визначення понять

У цьому стандарті вжито такі позначки та скорочення.

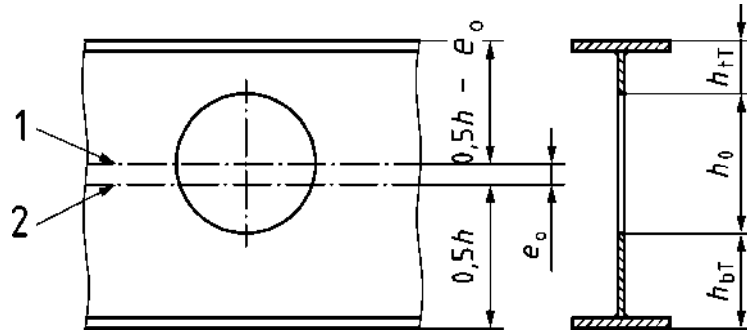
3.1.1 несиметричний профіль (*asymmetric section*)

Сталевий профіль з різними розмірами верхнього і нижнього таврів.

3.1.2 ексцентриситет отвору (*eccentricity of opening*)

Відстань e_o від центру отвору до серединної лінії сталевого профілю.

Примітка 1. Значення ексцентриситету отвору e_o є додатнім, якщо серединна лінія отвору розташована вище серединної лінії перерізу, і від'ємним, — якщо нижче, див. рисунок 3.1.



Умовні позначки:

- 1 — серединна лінія отвору;
- 2 — серединна лінія перерізу;

Рисунок 3.1 — Визначення ексцентриситету отвору у стінці

3.1.3 тавр (tee)

Поперечний переріз, складений з полиці і частини стінки над отвором або під ним.

3.1.4 згин Віренделя (*Vierendeel bending*)

Місцевий згин таврів, викликаний передаванням зсувного зусилля в поперечному перерізі, що проходить через отвір.

3.1.5 перемичка (*web-post*)

Частина стінки між сусідніми отворами, як показано на рисунку 3.2.

3.1.6 кінцева перемичка (*end-post*)

Частина стінки, розташована між отвором і кінцем балки або найближчою опорою, як показано на рисунку 3.2.

3.1.7 отвори в стінці, розташовані з великим кроком (*widely*

spaced web openings)

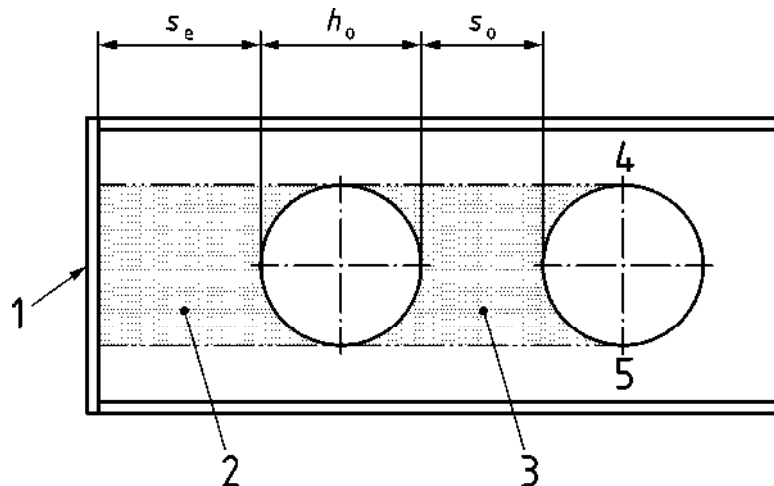
Отвори, в зоні яких стійкість стінки не залежить від впливу сусідніх отворів.

3.1.8 отвори в стінці, розташовані з малим кроком (*closely spaced web openings*)

Отвори, в яких на стійкість стінки впливають сусідні отвори, як визначено у 8.6.1.

3.1.9 підкріплений тавр (*stiffened Tee*)

Таври з привареними до стінки поздовжніми елементами жорсткості і відповідним закріпленням з обох сторін отвору.



Умовні позначки:

- 1 — торцева пластина;
- 2 — кінцева перемичка;
- 3 — перемичка;
- 4 — верхній тавр;
- 5 — нижній тавр.

Рисунок 3.2 — Визначення перемички і кінцевої перемички для круглих отворів

3.2 Позначки

a_{eff} — ефективна довжина отвору для розрахунку втрати стійкості і прогину;

- a_{eq} — еквівалентна довжина отвору для вигину Віренделя;
- a_o — загальна довжина отвора;
- a_v — довжина закріплення елемента жорсткості за кінцем отвора;
- A_{bT} — площа поперечного перерізу нижнього тавра;
- A_s — площа поперечного перерізу елемента жорсткості;
- A_{tT} — площа поперечного перерізу верхнього тавра;
- $A_{v,bT}$ — зсувна площа нижнього тавра;
- $A_{v,tT}$ — зсувна площа верхнього тавра;
- b_o — ширина горизонтальної частини шестикутного або синусоїдального отвору, див. рисунок 1.1
- b_s — довжина синусоїдальної частини отвору, див. рисунок 1.1
- b_w — ефективна ширина стінки біля отвору, яку враховують для втрати стійкості стінки;
- d_t — висота консольної частини стінки тавра; Для прокатних профілів консоль d_t вимірюють від радіусу заокруглення; Для зварних профілів d_t вимірюють від кромки зварного шва;
- d_{wp} — висота критичного поперечного перерізу перемички над центральною лінією отвору (індексами b і t позначено нижню і верхню частини перемички, відповідно);
- e_o — ексцентриситет центральної -лінії отвору (приймають додатнім вище центральної -лінії балки і від'ємним — нижче центральної лінії), див. рисунок 3.1
- E — модуль пружності сталі;
- f_y — границя текучості;
- f_{ys} — границя текучості елементів жорсткості;
- $f_{y,bT}$ — границя текучості нижнього тавра;
- $f_{y,tT}$ — границя текучості верхнього тавра;

$f_{y,red}$ — знижена границя текучості з урахуванням ефекту зсуву;

h — висота сталевого перерізу;

h_{bT} — висота нижнього тавра;

h_{eff} — ефективна висота сталевого профілю між центрами ваги таврів;

h_o — висота отвору (або діаметр круглого отвору);

h_{tT} — висота верхнього тавра;

h_T — висота тавра;

h_{eq} — висота еквівалентного прямокутного отвору;

h_w — висота стінки суцільного профілю стінки;

I_a — момент інерції приведенного перерізу суцільного профілю стінки;

I_{bT} — момент інерції приведенного перерізу нижнього тавра з поздовжніми елементами жорсткості або без них, залежно від обставин;

$I_{eff,a,o}$ — ефективний момент інерції приведенного перерізу для перерізу в зоні отвору, використаного для загального розрахунку;

I_{tT} — момент інерції приведенного перерізу верхнього тавра з поздовжніми елементами жорсткості або без них, залежно від обставин;

k_o — коефіцієнт зсувного прогину при згині *Вірendela*, обумовленому впливом поздовжніх елементів жорсткості;

L — довжина прольоту балки;

$M_{add,Ed}$ — розрахункове значення згинального моменту, обумовленого рівномірно розподіленими навантаженнями, прикладеними до стиснутого тавра в зоні отвору, за умови, що обидва кінці пояса закріплено нерухомо, і з урахуванням довжини пояса a_{eff} .

$M_{bT,Rd}$ — розрахункове значення опору згину нижнього тавра;

M_{Ed} — розрахункове значення загального згинального моменту на рівні осьової лінії отвору;

$M_{Ed,i}$ — прикладений згинальний момент у i -тому поперечному перерізі тавра;

$M_{el,wp,Rd}$ — розрахункове значення опору пружному згину стінки-стійки;

$M_{N,bT,Rd}$ — розрахункове значення приведенного опору згину нижнього тавра, обумовлене осьовим зусиллям;

$M_{NV,T,Rd}$ — розрахункове значення приведенного опору згину тавра, обумовлене осьовим зусиллям і зсувом;

$M_{NV,bT,Rd}$ — розрахункове значення приведенного опору згину нижнього тавра, обумовлене осьовим зусиллям і зсувом;

$M_{NV,tT,Rd}$ — розрахункове значення приведенного опору згину верхнього тавра, обумовлене осьовим зусиллям і зсувом;

$M_{pl,Rd}$ — розрахункове значення пластичного опору згину тавра;

$M_{V,pl,Rd,i}$ — розрахунок пластичного опору згину i -тих поперечних перерізів тавра, зниженого через наявність зсувного зусилля;

$M_{o,Rd}$ — розрахункове значення опору згину балки у зоні отвору;

$M_{o,pl,Rd}$ — розрахункове значення пластичного опору згину балки у зоні отвору;

$M_{o,el,Rd}$ — розрахункове значення пружного опору згину балки у зоні отвору;

$M_{wp,Ed}$ — розрахункове значення -моменту в площині, що діє на стінку--стійку

$M_{tT,Rd}$ — розрахункове значення опору згину верхнього тавра;

$M_{\phi,Ed}$ — розрахункове значення згинального моменту, що діє на похилий поперечний переріз тавра, під кутом нахилу ϕ до вертикалі;

$M_{\phi,Rd}$ — розрахункове значення опору згину похилого поперечного перерізу тавра, під кутом нахилу ϕ до вертикалі;

Розрахункове значення опору пружному згину тавра;

$M_{T,eI,Rd}$ — розрахункове значення пластичного опору згину тавра;

$M_{T,Rd}$ — розрахункове значення опору згину стиснутого таврового профілю в площині стінки;

$M_{wp,Rd}$ — розрахункове значення опору пружному згину перемички;

N_{Ed} — розрахункове значення осьового зусилля

$N_{Ed,i}$ — прикладене осьове зусилля у i -тому поперечному перерізі тавра;

$N_{b,Ed}$ — розрахункове значення осьового зусилля у поперечному перерізі нижнього тавра;

$N_{T,Ed}$ — розрахункове значення осьового зусилля, прикладеного до стиснутого тавра, обумовлене загальним згином і додатковими осьовими зусиллями;

$N_{ep,Rd}$ — розрахункове значення опору втраті стійкості кінцевої перемички;

$N_{bT,Rd}$ — розрахункове значення осьового опору нижнього тавра;

$N_{b,Rd}$ — розрахункове значення опору втраті стійкості стиснутого тавра для втрати стійкості в площині стінки, визначене для розрахункової довжини, що дорівнює $0,5a_{eff}$;

$N_{m,Ed}$ — розрахункове значення осьового зусилля в поперечному перерізі тавра, обумовлене загальним згином на середині довжини отвору i /або загальним осьовим зусиллям;

$N_{o,pl,Rd}$ — розрахункове значення пластичного осьового опору сталевих профілів з отвором;

$N_{pl,Rd}$ — розрахункове значення осьового опору;

$N_{t,Ed}$ — розрахункове значення осьового зусилля у верхньому таврі;

$N_{T,el,Rd}$ — пружний опір тавра стиску;

$N_{T,pl,Rd}$ — пластичний опір тавра стиску;

$N_{tT,Rd}$ — розрахункове значення осьового опору верхнього тавра;

$N_{V,pl,Rd,i}$ — розрахункове значення пластичного осьового опору i -того поперечного перерізу тавра, зниженого через наявність зсувного зусилля;

$N_{w,Ed}$ — розрахункове значення стискального зусилля у стінці біля отвору;

$N_{w,Rd}$ — розрахункове значення опору втраті стійкості стінки біля отвору;

$N_{wp,Ed}$ — розрахункове значення стискального зусилля в перемичці між сусідніми отворами;

$N_{wp,Rd}$ — розрахункове значення опору втраті стійкості перемички між сусідніми отворами;

$N_{\phi,Ed}$ — розрахункове значення осьового зусилля, що діє на похилий поперечний переріз тавра, під кутом нахилу ϕ до вертикалі;

$N_{\phi,Rd}$ — розрахункове значення осьового опору похилого поперечного перерізу тавра, під кутом нахилу ϕ до вертикалі;

n_o — кількість рівномірно розташованих уздовж балки отворів;

r — радіус заокруглення прокатних профілів;

r_o — радіус у кутах прямокутних отворів;

s — відстань між центрами сусідніх отворів;

s_e — ширина кінцевої перемички між з'єднанням і найближчим краєм першого отвору;

$s_{e,eff}$ — ефективна ширина кінцевої перемички;

s_o — ширина перемички ($= s - a_o$), тобто відстань між краями сусідніх отворів;

$s_{o,eff}$ — ефективна ширина перемички з урахуванням гнучкості під час втрати нею стійкості;

s_{wp} — ширина критичного перерізу перемички;

t_f — товщина полиці (індекси b і t позначають нижню і верхню полиці);

t_w — товщина стінки (індекси b і t позначають нижню і верхню стінки);

$t_{w,min}$ — мінімальне значення товщини стінки для балок зі стінками різної товщини;

$t_{w,tT}$ — товщина стінки верхнього тавра;

$t_{w,bT}$ — товщина стінки нижнього тавра;

$V_{\phi,Ed}$ — розрахункове значення сили, прикладеної паралельно площині під кутом ϕ до вертикалі навколо отвору;

$V_{b,Ed}$ — розрахункове значення зсувного зусилля у поперечному перерізі нижнього тавра;

$V_{b,Rd}$ — розрахункове значення опору зсуву нижнього тавра, обмежене чистим зсувом або згином Віренделя;

V_{Ed} — розрахункове значення зсувного зусилля, що діє на балку по центральній лінії отвору;

$V_{Ed,i}$ — прикладене зсувне зусилля у i -тому поперечному перерізі тавра;

$V_{m,Ed}$ — розрахункове значення зсувного зусилля, що діє на тавр, обумовленого загальним згином по серединній довжині отвору;

$V_{pl,Rd,b}$ — розрахункове значення пластичного зсувного опору нижнього тавра;

$V_{pl,Rd,t}$ — розрахункове значення пластичного зсувного опору

верхнього тавра;

$V_{o,pl,Rd}$ — розрахункове значення пластичного зсувного опору на рівні отвору;

$V_{pl,Rd}$ — розрахункове значення пластичного зсувного опору суцільної балки-стілки;

$V_{ser, Ed}$ — зсувне зусилля, що діє на серединну довжини отвору в граничному стані експлуатаційної придатності;

$V_{t,Ed}$ — розрахункове значення зсувного зусилля у поперечному перерізі верхнього тавра;

$V_{t,Rd}$ — розрахункове значення опору зсуву верхнього тавра, обмежене чистим зсувом або згином Віренделя;

$V_{Vier,Rd}$ — розрахункове значення опору зсуву, обумовлене згином *Віренделя* в поперечному перерізі, що проходить через отвір;

$V_{w,Rd}$ — розрахункове значення опору втраті стійкості стінки;

$V_{bw,Rd}$ — розрахунковий зсувний опір суцільної стінки у випадку втрати стійкості за 7.3 EN 1993 -1 -5:2024;

$V_{wp,Ed}$ — розрахункове значення зсувного зусилля у горизонтальному поперечному перерізі перемички;

$V_{wp,Rd}$ — розрахункове значення опору горизонтальному зсуву перемички;

$w_{Vier,add}$ — додатковий прогин між кінцями отвору, обумовлений згином *Віренделя*;

$w_{Vier,max}$ — границя зсувного прогину, обумовлена згином *Віренделя*;

w_{add} — додатковий прогин в середині прольоту, обумовлений отворами в стінці;

w_b — прогин балки з суцільною стінкою в середині прольоту;

x_o — відстань від центру отвору до найближчої опори;

z_b, z_t — відстань від центру ваги таврового перерізу до зовнішнього краю полиці (індекси b і t позначають нижню і верхню полиці);

α — відношення міжцентрової відстані круглих отворів до їх діаметру; $\alpha = s/h_o$;

α_v — коефіцієнт взаємодії для визначення опору згину Віренделя балок з синусоїдальними отворами;

ε — параметр матеріалу, що залежить від f_y ; $\varepsilon = (235/f_y)^{0.5}$, де f_y виражений у [МПа];

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

$\bar{\lambda}$ — відносна гнучкість;

$\bar{\lambda}_{ep}$ — відносна гнучкість кінцевої перемички;

$\bar{\lambda}_{wp}$ — відносна гнучкість перемички між отворами, розташованими з малим кроком;

λ_1 — еталонна гнучкість;

γ_{M0}, γ_{M1} — часткові коефіцієнти для сталі;

Γ_{MNV} — критерій взаємодії моменту, зсуву і осьової сили для тавра (індекси bT і tT позначають нижній і верхній тавр, відповідно);

Γ_{MNV0} — критерій взаємодії моменту, зсуву і осьової сили в отворі;

κ — посткритичний коефіцієнт для втрати стійкості перемичкою;

ψ — співвідношення моментів;

ϕ — кут нахилу поперечного перерізу до вертикалі на осі отвору;

$\sigma_{w,cr}$ — критичне головне напруження в стінці;

χ_{ep} — понижувальний коефіцієнт, обумовлений втратою стійкості кінцевої перемички;

χ_w — понижувальний коефіцієнт, обумовлений втратою стійкості

стілки;

χ_{wp} — понижувальний коефіцієнт, обумовлений втратою стійкості перемички;

ξ — коефіцієнт форми;

4 ОСНОВИ ПРОЄКТУВАННЯ

4.1 Загальні положення

(1) Потрібно, щоб розрахунок балок з перфорованою стінкою у стінках відповідав загальним правилам, які наведені в EN 1990 і EN 1991 (всі частини) та спеціальним проєктним положенням для сталевих конструкцій, наведеним у EN 1993 1-1.

(2) Потрібно, щоб сталеві конструкції, запроєктовані відповідно до цього стандарту, 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 Перевірки

(1) Сталеву балку потрібно перевіряти за EN 1993-1-1 та EN 1993-1-5.

(2) Наступні додаткові перевірки, розглянуті в цьому стандарті, потрібно виконати для кожного положення отвору в стінці:

- а) загальний опір згину,
- б) опір зсуву,
- с) комбінований опір таврів згину Віренделя, знижений через дію осьових зусиль і зсуву,
- д) стійкість тавра під дією стиску в зоні довгих отворів,
- е) опір зсуву, згин і втрата стійкості перемички.

(3) Для балок з перфорованою стінкою необхідні наступні додаткові перевірки:

- а) опір поперечно-крутильний втраті стійкості, що міститься у

цьому стандарті,

b) прогин балки, включно з обумовленими отворами додатковими прогинами, що містяться у цьому стандарті,

c) перевірки з'єднань і точки прикладання навантажень в отворах або біля них, не описані в цьому стандарті.

(4) Для сталевих балок, виготовлених шляхом зварювання двох таврів, рекомендовано перевіряти опір зварних швів між верхнім і нижнім таврами відповідно до EN 1993-1-8.

(5) Отвори, розташовані з великим кроком з максимальним розміром менше 30% від висоти перерізу і ексцентриситетом його центральної лінії, що не перевищує 10% від висоти перерізу, перевірку на зсув, зазначену у 8.2, дозволено вважати достатньою для виконання умов інших перевірок, зазначених в (2), за умови, що гнучкість стінки не перевищує 72ε. Для круглого отвору максимальний діаметр дозволено збільшити до 40% від висоти профілю.

4.3 Методи розрахунку для згину Віренделя

4.3.1 Метод еквівалентного прямокутного отвору

(1) Принцип розрахунку таврових профілів на згин Віренделя полягає в тому, щоб замінити отвір будь-якої форми еквівалентним прямокутним отвором для визначення прикладених моментів і опору вигину таврових профілів.

(2) Для форм отворів, показаних на рисунку 1.1, розміри еквівалентних прямокутних отворів, які дозволено використовувати для перевірки на згин Віренделя, наведено у 8.4.

4.3.2 Альтернативні способи

(1) Для круглих отворів дозволено використати альтернативний спосіб, представлений у 8.9, заснований на перевірці опору похилого поперечного перерізу тавра навколо отвору. Цей спосіб

дозволено об'єднувати з альтернативними способами розрахунку на втрату стійкості перемичок за 8.10 в межах визначеного діапазону застосування.

(2) Для синусоїдальних отворів дозволено використовувати альтернативний спосіб, представлений у 8.11.

4.4 Допуски та виробництво

(1) Для профілів з перфорованою стінкою рекомендовано застосовувати допуски, зазначені в EN 1090-2.

(2) Рекомендовано, щоб розміри отвору не перевищували номінальні розміри більше ніж на 5 мм.

(3) Щоб уникнути надмірного прорізання прямокутних отворів по кутах прорізів, кути, до яких виконуються горизонтальні та вертикальні прорізи, рекомендовано заокруглити або попередньо просвердлити в них отвори. Мінімальний радіус кутів заокруглень отворів становить 10 мм.

5 МАТЕРІАЛИ

5.1 Загальні положення

(1) У цьому стандарті описано розрахунок сталевих балок з перфорованими стінками, зі сталі, що відповідає маркам, зазначеним у таблицях 5.1 і 5.2 EN 1993-1-1:2022, .

(2) Для перевірок зони навколо отворів у стінці, які залежать від пластичного опору, максимальна марка сталі — S460.

(3) Для марок сталі вище S460 і до S700 рекомендовано використовувати пружний опір.

(4) Для полиць і стінок, а також для верхніх і нижніх таврів дозволено використовувати різні марки сталі за умови, що для перевірок, описаних у цьому стандарті, використано їхню відповідну міцність.

(5) Властивості матеріалу рекомендовано приймати згідно 5.2, EN 1993-1-1:2022.

5.2 Зварювання

(1) Для зварних профілів і для зварювання перемички між прокатаними профілями зварний шов рекомендовано розраховувати за EN 1993-1-8 з урахуванням прикладених зусиль.

(2) Рекомендовано, щоб зварні шви перемички були суцільними.

(3) Для зварних профілів зварні шви між стінкою і полицями рекомендовано робити суцільними з обох сторін стінки вздовж отворів.

(4) Обумовлене зварюванням викривлення стінки рекомендовано контролювати в межах встановлених виробничих допусків.

6 ДОВГОВІЧНІСТЬ

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

7 КОНСТРУКЦІЙНИЙ РОЗРАХУНОК

7.1 Методи розрахунку

(1) Загальний пружний розрахунок рекомендовано використовувати для балок з перфорованою стінкою, за винятком випадків, зазначених у (2).

(2) Загальний пластичний розрахунок дозволено застосовувати згідно EN 1993-1-1, за умови, що можна продемонструвати, що будь-який пластичний шарнір формується на відстані, що вдвічі перевищує висоту балки, від краю отвору.

7.2 Жорсткість елементів для загального конструкційного розрахунку

(1) Для загального розрахунку рам, складених з елементів з одним або багатьма отворами в стінках, рекомендовано враховувати

вплив отворів на згинальну жорсткість елементів. Для отворів з максимальним розміром, що не перевищує 50% висоти профілю, цей вплив у загальному розрахунку може бути проігноровано.

(2) Для балок із $L/h \geq 18$ вплив рівномірно розташованих круглих або шестикутних отворів на зсувну жорсткість, як правило, можна не враховувати, оскільки їхній вплив на жорсткість елементів у конструкційному розрахунку є незначним. У такому випадку ефективний момент інерції приведенного перерізу балки з отворами отворів дозволено прийняти як:

$$I_{\text{eff},a,o} = I_a - n_o \left(\frac{a_{\text{eff}}}{L} \right) \frac{h_o^3 t_w}{12}, \quad (7.1)$$

де

I_a — момент інерції приведенного перерізу бруто на середній ширині перемички;

n_o — кількість рівновіддалених отворів у стінках;

a_{eff} — ефективна довжина отвору, наведена в 7.5 (4).

(3) Для балок з $L/h < 18$ рекомендовано враховувати додаткову гнучкість, обумовлену впливом зсуву на ряд рівномірно розташованих круглих або шестикутних отворів. Ефективну згинальну жорсткість балки, обумовлену згином та зсувом на рівні отворів дозволено зменшувати, а відповідний ефективний момент інерції приведенного перерізу визначати як:

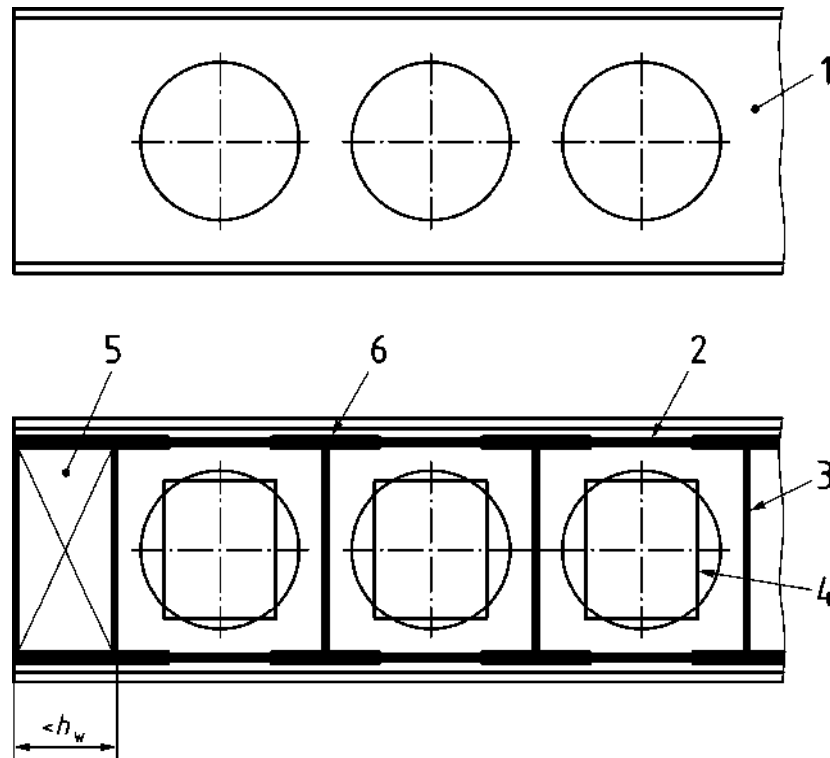
$$I_{\text{eff},a,o} = I_a \left[1 + \frac{n_o}{12} \left(\frac{a_{\text{eff}}}{L} \right) \frac{h_o^3 t_w}{I_a} + 0,8 n_o \left(\frac{a_{\text{eff}}}{L} \right)^3 \frac{I_a}{(I_{bT} + I_{tT})} \right]^{-1}, \quad (7.2)$$

де

I_{bT} і I_{tT} — моменти інерції приведенного перерізу нижнього і верхнього таврів, відповідно.

(4) Для балок з нерівномірно розташованими отворами або для балок з рівновіддаленими отворами і складнішим навантаженням рекомендовано використовувати більш досконалі методи конструкційного розрахунку. У таких способах балку дозволено моделювати як балку Віренделя на рівні отворів.

Балку з великою кількістю отворів і з $L/h \geq 8$ дозволено моделювати для загального розрахунку як балку Віренделя із застосуванням еквівалентних прямокутних отворів з розмірами відповідно до таблиці 8.3. Пояси дозволено моделювати за допомогою балкових елементів, розташованих у центрах ваги таврових профілів еквівалентного прямокутного отвору. Пояс на рівні отвору (2 — на рисунку 7.1) є тавром, що відповідає еквівалентному прямокутному отвору. Перемички (3 — на рисунку 7.1) дозволено моделювати з використанням балкового елемента, розташованого на їх осях та із характеристиками поперечних перерізів, що відповідають еквівалентним прямокутним отворами. Рекомендовано щоб частина поясів між сусідніми отворами (6 — на рисунку 7.1), довжина якої дорівнює відстані між центрами отворів за вирахуванням ширини еквівалентного прямокутного отвору, мала характеристики поперечного перерізу, що відповідають площі полиці із додаванням половини площі стінки. Віддалену від отвору стінку дозволено моделювати як ферму (5 на рисунку 7.1) з діагональними елементами, площа поперечного перерізу яких становить 50% від площі всієї висоти стінки.



Умовні позначки:

- 1 — балка з рівновіддаленими круглими отворами;
- 2 — пояс;
- 3 — стійка;
- 4 — еквівалентний отвір;
- 5 — панель без отвору (площа розкосу = $0,5 h_w t_w$);
- 6 — пояси з підвищеною жорсткістю

Рисунок 7.1 — Моделювання балки з рівновіддаленими круглими отворами

7.3 Граничний стан експлуатаційної придатності

(1) Підвищений прогин балок, обумовлений наявністю отворів, рекомендовано враховувати у граничному стані експлуатаційної придатності.

(2) Додатковий прогин, обумовлений згином і зсувною деформацією одиночних і множинних отворів, дозволено розраховувати відповідно до спрощених правил, наведених в розділі 9.

7.4 Класифікація за загальним вигином

(1) Для визначення загального опору згину поперечні перерізи рекомендовано класифікувати для кожного отвору в стінці та перемичці. На рівні отвору, полицю або консольну стінку, яку розглядають як "консольну полицю", рекомендовано класифікувати відповідно до таблиці 7.3 EN 1993-1-1:2022, із урахуванням припущення про чистий стиск.

(2) У полицях 1 або 2 класу, консольну частину стінки класу 3 в зоні отвору дозволено віднести до класу 2, якщо прийняти її висоту рівною граничному значенню для класу 2 під дією рівномірного стиску.

(3) Якщо полиця відноситься до класу 1-3, то консольну частину стінки класу 4 в зоні отвору дозволено віднести до класу 3, якщо прийняти її висоту рівною граничному значенню для класу 3 під дією рівномірного стиску.

(2) У полицях класу 4, консольну частину полиці класу 4 в зоні отвору дозволено віднести до класу 3, якщо прийняти її ширину рівною граничному значенню для класу 3 під дією рівномірного стиску.

7.5 Класифікація таврових профілів під дією згину Віренделя

(1) Згинальні характеристики таврових профілів для згину Віренделя рекомендовано визначати залежно від класу перерізу полиці і стінки.

(2) Клас полиці рекомендовано визначати відповідно до EN 1993-1-1.

(3) Консольну стінку рекомендовано класифікувати залежно від ефективної довжини тавра на рівні отвору, a_{eff} , і висоти консолі d_t . Для прокатних профілів консоль d_t вимірюють від радіусу заокруглення. Для зварних профілів d_t вимірюють від кромки зварного шва.

(4) Ефективну довжину отвору a_{eff} , використовувану для оцінювання стійкості консольної стінки для різних форм отворів, рекомендовано приймати як:

$a_{\text{eff}} = a_o$ — прямокутні отвори;

$a_{\text{eff}} = 0,7h_o$ — круглі та шестикутні отвори;

$a_{\text{eff}} = a_o - 0,3h_o$ — овальні отвори;

$a_{\text{eff}} = b_o + 0,5b_s$ — синусоїдальні отвори.

(5) У випадку застосування формули 7.3, якщо $a_{\text{eff}} > 32 t_w \varepsilon$, то для згину Віренделя рекомендовано вважати, що консольна стінка висотою d_t належить до класу 2.

$$d_t \leq \frac{10 t_w \varepsilon}{\sqrt{1 - \left(\frac{32 t_w \varepsilon}{a_{\text{eff}}} \right)^2}} \quad (7.3)$$

(6) Якщо $a_{\text{eff}} \leq 32 t_w \varepsilon$, то для згину Віренделя рекомендовано вважати, що консольна стінка висотою d_t належить до класу 2.

(7) Будь-яку консольну частину стінки класу 3, згідно (8) або (9), дозволено віднести до класу 2 за умови, що її висота прийнята рівною граничному значенню d_t , визначеному за формулою (7.3), але не більшому за фактичне значення d_t .

(8) У випадку застосування формули 7.4, якщо $a_{\text{eff}} > 36 t_w \varepsilon$, то для згину Віренделя рекомендовано вважати, що консольна стінка висотою d_t належить до класу 3.

$$d_t \leq \frac{14 t_w \varepsilon}{\sqrt{1 - \left(\frac{36 t_w \varepsilon}{a_{\text{eff}}} \right)^2}} \quad (7.4)$$

(9) Якщо $a_{\text{eff}} \leq 36 t_w \varepsilon$, то для згину Віренделя рекомендовано вважати, що консольна стінка належить до класу 3.

(10) Будь-яку консольну стінку класу 4 дозволено віднести до класу 3 за умови, що її висоту прийнято рівною граничному значенню d_t , визначеному за формулою (7.4).

(11) У полицях класу 4, консольну частину полиці класу 4 для згину Віренделя дозволено віднести до класу 3, якщо прийняти її ширину рівною граничному значенню для класу 3 під дією рівномірного стиску.

(12) Розтяг тавра може змінити клас консольної стінки для згину Віренделя, і цей ефект дозволено враховувати відповідно до таблиці 7.3 EN 1993-1-1:2022.

7.6 Класифікація профілів поздовжніх елементів жорсткості

(1) Профілі поздовжніх елементів жорсткості рекомендовано класифікувати за таблицею 7.3 EN 1993-1-1:2022.

(2) Для опору згину Віренделя поздовжні елементи жорсткості класу 3 дозволено вважати елементами жорсткості класу 2 за умови, що їх ефективну ширину зменшено до граничного значення для перерізу класу 2.

8 ГРАНИЧНІ СТАНИ ЗА НЕСНОЮ ЗДАТНІСТЮ

8.1 Загальні вимоги до всіх отворів

(1) Загальний пружний розрахунок рекомендовано використовувати для балок з перфорованою стінкою, за винятком випадків, зазначених у (2).

8.1.1 Загальні положення

(1) Для граничних станів за несною здатністю рекомендовано проводити перевірку кожного отвору в стінці, а також області, на яку впливають отвори. Під час проведення цих перевірок рекомендовано застосовувати наступні положення цього стандарту:

- a) опір загальному зсуву — 8.2,
- b) опір загальному згину і стійкість стиснутого тавра — 8.3,
- c) опір зсуву для згину Віренделя у таврах — 8.4,
- d) опір втраті стійкості стінки поруч із отворами,

розташованими з великим кроком — 8.5,

е) опір втраті стійкості, зсуву і згину перемички між близько отворами, розташованими з малим кроком — 8.6,

ф) вплив елементів жорсткості на втрату стійкості перемички — 8.7,

г) втрата стійкості торцевої перемички і зсувного опору у зоні з'єднань — 8.8.1,

h) у місцях прикладання навантажень або сил, може знадобитися застосування поперечних елементів жорсткості — 8.8.2,

і) альтернативний спосіб для згину Віренделя біля круглих отворів із використанням радіальних напружень — 8.9,

ж) альтернативний спосіб для втрати стійкості перемичкою між круглими отворами — 8.10,

к) альтернативний спосіб для згину Віренделя синусоїдальних отворів у стінці — 8.11.

(2) Стійкість балки до поперечно-крутильної форми втрати стійкості рекомендовано перевіряти за 8.12.

(3) Методи проектування, описані в цьому стандарті, застосовні до балок, на які діють осьові навантаження, що не перевищують $N_{o,pl,Rd}/50$, де $N_{o,pl,Rd}$ — осьовий опір сталевго профілю в зоні найбільшого отвору. Для більших осьових навантажень рекомендовано використовувати досконаліші методи.

(4) Виконуючи перевірку опору таврів поперечно-крутильній втраті стійкості балки, осьові зусилля рекомендовано розподіляти між таврами пропорційно до площі їх поперечного перерізу і об'єднувати із місцевими зусиллями, обумовленими загальним вигином і зсувом.

8.1.2 Геометричні обмеження для непідкріплених отворів у стінці

(1) Для застосування методу, наведеного у розділі 8, рекомендовано, щоб обмеження на максимальні розміри отворів без

поздовжніх елементів жорсткості і мінімальну висоту таврів відповідали умовам, наведеним в таблиці 8.1, де a_{eff} визначено в 7.5(4).

Примітка. Національний додаток може передбачати можливість перевищення граничних значень, якщо це буде обґрунтовано точнішими розрахунками.

Таблиця 8.1 — Граничні розміри для непідкріплених отворів різної форми

Форма отвору	Максимальна висота отвору, h_o	Максимальна довжина отвору, a_o	Мінімальна відстань між краями, s_o	Мінімальна висота тавра	
				Стиснутий тавр	Розтягнутий тавр
Круглий	$0,8 h$	-	$0,1 h_o$	$\text{Max}(t_f+r+10 \text{ м}; t_f+30 \text{ мм})$	$\text{Max}(t_f+r+10 \text{ м}; t_f+30 \text{ мм})$
Шестикутний	$0,75 h$	$1,5 h_o$	$0,25 h_o$		
Прямокутний	$0,75 h$	$2,5 h_o$	$\text{Max}(0,5a_o; h_o)$	$\text{Max}(a_o/12; 0,1 h)$	$0,1 h$
Овальний	$0,8 h$	$3 h_o$	$\text{Max}(0,25a_{\text{eff}}; 0,5 h_o)$	$a_{\text{eff}} / 12$	$\text{Max}(t_f+r+10 \text{ м}; t_f+30 \text{ мм})$
Синусоїдальний	$0,8 h$	$5 h_o$	$0,25 h_o$	$a_{\text{eff}} / 12$	

(2) Для сусідніх отворів різної форми або розмірів дозволено застосувати середнє значення мінімальної відстані між краями s_o , наведене у таблиці 8.1.

8.1.3 Геометричні обмеження для непідкріплених отворів у стінці

(1) Щоб отвір вважався підкріпленим, рекомендовано, щоб площа поперечного перерізу поздовжнього елемента жорсткості над отвором або під ним щонайменше дорівнювала половині зсувної площі таврового профілю, до якого він приєднаний. Для двобічних поздовжніх елементів жорсткості мінімальна площа стосується сумарної площі обох елементів жорсткості.

(2) Рекомендовано, щоб розміри прямокутних, овальних і синусоїдальних отворів з поздовжніми елементами жорсткості і відповідні розміри таврів відповідали вимогам, наведеним в таблиці 8.2, де a_{eff} визначено в 7.5(4).

Рекомендовано, щоб для підкріплених круглих і шестикутних отворів розміри відповідали умовам, наведеним в таблиці 8.1.

Примітка. Національний додаток може передбачати можливість перевищення граничних значень, якщо це буде обґрунтовано точнішими розрахунками.

Таблиця 8.1 — Граничні розміри для підкріплених отворів різної форми

	Максимальна висота отвору, h_o	Максимальна довжина отвору, a_o	Мінімальна відстань між краями, s_o	Мінімальна висота тавра	
				Стиснутий тавр	Розтягнутий тавр
Прямокутний	$0,75h$	$3,2 h_o$	$\text{Max}(0,5a_o; h_o)$	$\text{Max}(a_o/14; 0,1h)$	$0,1h$
Овальний	$0,8h$	$3,5 h_o$	$\text{Max}(0,25a_{eff}; 0,5h_o)$	$\text{Max}(a_{eff}/14; t_f + 50 \text{ мм})$	$t_f + 50 \text{ мм}$
Синусоїдальний	$0,8h$	$5 h_o$	$0,25 h_o$		

(3) Для сусідніх підкріплених отворів різних розмірів або форм дозволено використовувати середню мінімальну відстань між краями s_o , наведену у таблиці 8.2.

(4) Для сусідніх непідкріплених і підкріплених отворів дозволено використовувати середнє значення мінімальної відстані між краями s_o , наведене у таблицях 8.1 і 8.2.

8.2 Опір зсуву в місцях розташування отворів у стінці

(1) Загальний пружний розрахунок рекомендовано використовувати для балок з перфорованою стінкою, за винятком випадків, зазначених у (2).

(1) Для місцевих перевірок біля кожного отвору у стінці дозволено використовувати пластичний зсувний опір таврів. Рекомендовано, щоб розрахункове значення зсувного зусилля, V_{Ed} , на середині довжини отвору задовольняло:

$$V_{Ed} / V_{o,pl,Rd} \leq 1,0 , \quad (8.1)$$

де

$$V_{o,pl,Rd} = V_{pl,Rd,b} + V_{pl,Rd,t} , \quad (8.2)$$

де

$V_{pl,Rd,b}$ і $V_{pl,Rd,t}$ — зсувний опір нижнього та верхнього таврів відповідно, як визначено у 8.2.6(2) і (3) EN 1993-1-1:2022.

Для симетричних профілів дозволено використовувати формулу (8.3);

$$V_{o,pl,Rd} = \left[V_{pl,Rd} - \frac{h_o t_w f_y}{\sqrt{3} \gamma_{M0}} \right] < V_{bw,Rd} , \quad (8.3)$$

де

$V_{pl,Rd}$ — пластичний зсувний опір суцільної стінки з 8.2.6 EN 1993 -1 -1:2022;

$V_{bw,Rd}$ — опір зсувній втраті стійкості суцільної стінки за 7.3 EN 1993 -1 -5:2024

(2) Якщо $V_{Ed} > 0,5V_{o,pl,Rd}$, рекомендовано враховувати вплив зсувного зусилля на опір згинальному моменту і осьовому зусиллю шляхом зниження границі текучості зсувної площі таврів відповідно до EN 1993-1-1:2022, 8.2.10(3) наступним чином:

$$f_{y,red} = f_y (1 - \rho) , \quad (8.4)$$

де

$$\rho = (2V_{Ed} / V_{o,pl,Rd} - 1)^2 \quad (8.5)$$

Примітка. Для таврів із різних марок сталі значення ρ для профілю у зоні отвору обчислюють, із застосуванням формули (8.5), а знижену границю текучості з урахуванням ефекту зсуву $f_{y,red}$ розраховують окремо для верхнього і нижнього таврів за формулою (8.4). Значення V_{Ed} для кожного тавра у формулі (8.5) можна

отримати з формул (8.17) і (8.18). Потім ці знижені границі текучості враховують для відповідної зсувної площі стінки під час розрахунку опору пластичному згину профіля у зоні отвору.

(3) В якості альтернативи, ефективну товщину стінки дозволено прийняти рівною товщині, зменшеної пропорційно $f_{y,red} / f_y$. Для гарячекатаних профілів цей альтернативний варіант дозволено застосовувати лише за умови виконання умови формули (8.6):

$$\left(h_{tT} - t_{f,tT}\right) t_{w,tT} + \left(h_{bT} - t_{f,bT}\right) t_{w,bT} \geq 0,7 \left(A_{v,bT} + A_{v,tT}\right) \quad (8.6)$$

Для $A_{v,bT}$ і $A_{v,tT}$, див. 8.5.2(2).

Примітка. Альтернативний спосіб зменшеної товщини стінки актуальний тільки якщо площа стінки значно перевищує площі заокруглення і полиці, включених до площі зсуву гарячекатаних профілів.

8.3 Опір згину балки з перфорованою стінкою

8.3.1 Загальні положення

(1) Потрібно, щоб опір згину сталевій балки у зоні отвору $M_{o,Rd}$, відповідав умовам (8.7):

$$\frac{M_{Ed}}{M_{o,Rd}} \leq 1,0 \quad (8.7)$$

(2) Для спрощення, опір пластичному згину сталевій балки у зоні отвору $M_{o,pl,Rd}$, дозволено розраховувати відповідно до формули (8.8):

$$M_{o,pl,Rd} = \frac{1}{\gamma_{M0}} \left(h - z_b - z_t\right) \min \left\{ A_{bT} f_{y,bT} ; A_{tT} f_{y,tT} \right\} \quad (8.8)$$

(3) Для асиметричних поперечних перерізів опір пластичному згину дозволено обчислювати відносно положення нейтральної осі поперечного перерізу

(4) Рекомендовано, щоб у опорі згину у формулах (8.8) було враховувано взаємодію із зсувним зусиллям відповідно до 8.2(2) або (3).

(5) Для профілів класу 3 опір поперечного перерізу балки пластичному згину рекомендовано обчислювати на основі ефективних пластичних характеристик вздовж осьової лінії отвору з використанням ефективної висоти консольної частини стиснутої стінки, зменшеної до граничного значення для класу 2.

(6) Для профілів класу 4 опір поперечного перерізу балки пружному вигину рекомендовано обчислювати на основі її ефективних пружних характеристик вздовж осьової лінії отвору з використанням ефективної ширини стиснутих елементів, зменшеної до граничних значень для класу 3.

8.3.2 Опір втраті стійкості стиснутого тавра для довгих отворів

(1) Опір вважають довгим, якщо $a_{\text{eff}} > 6 h_T \varepsilon (M_{o,Rd} / M_{Ed})^{0,5}$, де h_T — висота стиснутого тавра, $M_{Ed} / M_{o,Rd}$ наведено у 8.3.1(1), і a_{eff} наведено у 7.5(4).

(2) Для довгих отворів опір втраті стійкості стиснутого тавра на згин рекомендовано перевіряти відповідно до EN 1993-1-1 з урахуванням згинальних моментів, обумовлених згином Віренделя, загальних згинальних і осьових зусиль, прикладених до елемента, і розподілених навантажень, прикладених до тавра, і рекомендовано, щоб відповідали умовам:

$$\frac{N_{T,Ed}}{N_{b,Rd}} + \frac{0,4M_{T,Ed} + M_{add,Ed}}{M_{T,Rd}} \leq 1,0, \quad (8.9)$$

де

$$M_{T,Ed} = \frac{V_{Ed} a_{\text{eff}}}{4} + N_{T,Ed} w_{Vier,add} \quad (8.10)$$

$M_{add,Ed}$ — розрахункове значення згинального моменту, обумовленого рівномірно розподіленими навантаженнями, прикладеними до стиснутого тавра в зоні отвору, за умови, що обидва

кінці пояса закріплено нерухомо, і з урахуванням довжини пояса a_{eff}

$M_{T,Rd}$ — опір згину поперечного перерізу стиснутого таврового профілю в площині стінки на середині довжини отвору.

$N_{T,Ed}$ — розрахункове значення внутрішнього осьового зусилля у поперечному перерізі стиснутого тавра, обумовлене загальним згином та загальними осьовими зусиллями.

$N_{b,Rd}$ — розрахункове значення опору втраті стійкості стиснутого тавра для втрати стійкості в площині стінки, визначене для розрахункової довжини, що дорівнює $0,5 a_{eff}$

(3) У формулі (8.10) ексцентриситет осьового зусилля в поперечному перерізі, що проходить через отвір у граничному стані за несною здатністю, приймають рівним $2w_{Vier,add}$, де $w_{Vier,add}$ — відносний прогин в поперечному перерізі, що проходить через отвір, в граничному стані експлуатаційної придатності, який дозволено або розраховувати відповідно до 9(6) або отримати консервативним шляхом, як значення $w_{Vier,max}$, вказане в 9(5).

8.4 Опір таврових профілів згину Віренделя

(1) Зсувний опір згину Віренделя рекомендовано обчислювати як суму опорів згину верхнього і нижнього таврів, поділену на еквівалентну довжину отвору, a_{eq} , наведену в таблиці 8.3 у (5).

(2) Для визначення розмірів таврів, з метою отримання їх опору згину і осьового опору в (5), рекомендовано використовувати висоту еквівалентного прямокутного отвору h_{eq} , наведену в таблиці 8.3, і ексцентриситет положення отвору e_o , щодо осьової лінії балки.

(3) Якщо опори згину верхнього і нижнього таврів відрізняються, рекомендовано враховувати вплив цієї різниці на розвиток моменту у перемичці для близько отворів, розташованих з малим кроком, як зазначено в 8.6.2(4).

(4) Рекомендовано, щоб зсувний опір згину Віренделя у зоні отвору задовольняв:

$$V_{Ed} / V_{Vier,Rd} \leq 1,0 \quad (8.11)$$

(5) Зсувний опір згину *Віренделя* становить:

$$V_{Vier,Rd} = (2M_{NV,bT,Rd} + 2M_{NV,tT,Rd}) / a_{eq} , \quad (8.12)$$

де

$M_{NV,bT,Rd}$ і $M_{NV,tT,Rd}$ — опори згину нижнього і верхнього таврів, зменшені для урахування впливу розтягу або стиску відповідно до (6) і впливу зсуву відповідно до 8.2(2) або 8.2(3).

Таблиця 8.3 — Розміри еквівалентних прямокутних отворів для отворів різної форми для перевіряння згину Віренделя

Форма отвору	Еквівалентна довжина отвору, a_{eq}	Еквівалентна висота отвору, h_{eq}
Прямокутний	a_o	h_o
Круглий	$0,45 h_o$	$0,9 h_o$
Овальний	$a_o - 0,55 h_o$	$0,9 h_o$
Шестикутний	$b_o + 0,25 h_o$	h_o
Синусоїдальний	For $h_o \leq 2b_s$: $a_{eq} = b_o + 2b_s - 0,5 h_o$	h_o
	For $h_o > 2b_s$: $a_{eq} = b_o + b_s$	h_o

(6) Опори згину таврів рекомендовано зменшувати з урахуванням взаємодії з осьовим розтягом і стиском, відповідно до наступних приблизних формул:

Пластичний опір (для профілів 1-го і 2-го класів відповідно до пункту 7.5):

$$M_{NV,T,Rd} = M_{T,pl,Rd} (1 - (N_{m,Ed}/N_{T,pl,Rd})^2) \quad (8.13)$$

Пружний опір (для профілів 3-го і 4-го класу відповідно до 7.5):

$$M_{NV, T, Rd} = M_{T, el, Rd} (1 - N_{m, Ed} / N_{T, el, Rd}), \quad (8.14)$$

де

$M_{NV, T, Rd}$ — опір згину таврового профілю, зменшений для урахування взаємодії з осьовим зусиллям і зусиллям зсуву.

$M_{T, el, Rd}$ — пружний опір згину таврового профілю, включно зі зниженою границею текучості відповідно до 8.2(2) або зменшеною товщиною стінки відповідно до 8.2(3) з висотою стінки, прийнятою як менше значення із фактичної висоти чи граничного значення для консольної частини стінки 3-го класу, визначеного за 7.5(6). Для полиць класу 4 ширину полиці рекомендовано зменшувати до граничного значення для класу 3.

$M_{T, pl, Rd}$ — пружний опір згину таврового профілю, включно зі зниженою границею текучості відповідно до 8.2(2) або зменшеною товщиною стінки відповідно до 8.2(3) з висотою стінки, прийнятою як менше значення із фактичної висоти чи граничного значення для консольної частини стінки 2-го класу, визначеного за 7.5(5).

$N_{T, el, Rd}$ — пружний опір стиску таврового профілю, включно зі зниженою границею текучості відповідно до 8.2(2) або зменшеною товщиною стінки відповідно до 8.2(3) з висотою стінки, прийнятою як менше значення із фактичної висоти чи граничного значення для консольної частини стінки 3-го класу, визначеного за 7.4(3).

$N_{T, pl, Rd}$ — пластичний опір стиску таврового профілю, включно зі зниженою границею текучості відповідно до 8.2(2) або зменшеною товщиною стінки відповідно до 8.2(3) з висотою стінки, прийнятою як менше значення із фактичної висоти чи граничного значення для консольної частини стінки 2-го класу, визначеного за 7.4(2).

$N_{m, Ed}$ — розрахункове значення осьового зусилля, що діє на тавр, обумовлене загальним згином на осьовій лінії отвору і/або глобальним осьовим зусиллям відповідно до 8.1.1(3).

(7) У тих випадках, коли на балку діє неквазістатичне навантаження, отвори з $a_{\text{eff}} > 2h_o$ рекомендовано розраховувати на згин Віренделя, виходячи з того, що опір пластичному згину тавра 1-го або 2-го класу не перевищує 1,5-кратного опору тавра пружному згину.

(8) Для круглих отворів у розділі 8.9 наведено альтернативний метод перевірки на опір згину Віренделя.

(9) Для синусоїдальних отворів у розділі 8.11.2 наведено альтернативний метод перевірки на опір згину Віренделя.

8.5 Втрата стійкості стінки поруч із отворами, розташованими з великим кроком

8.5.1 Загальні положення

(1) Круглі або шестикутні отвори дозволено вважати такими, що розташовані з великим кроком, якщо відстань між їхніми краями перевищує h_o .

(2) Прямокутні, овальні та синусоїдальні отвори дозволено вважати такими, що розташовані з великим кроком, якщо відстань між їх краями s_o перевищує більше зі значень $(a_{o,1} + a_{o,2})/2$ і $(h_{o,1} + h_{o,2})$, де нижні індекси відносяться до розмірів сусідніх отворів, як показано на рисунку 8.1.

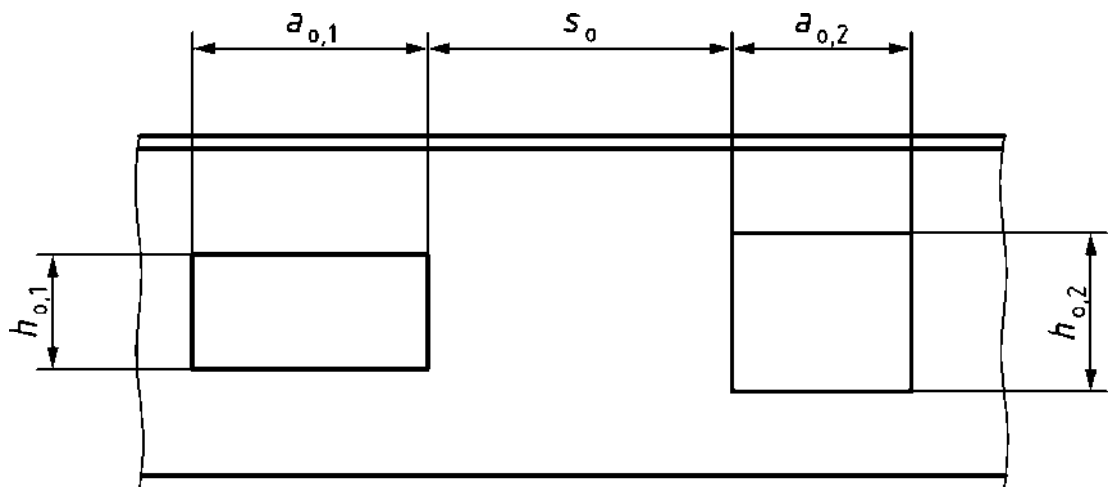


Рисунок 8.1 — Розміри сусідніх отворів, розташованих з великим кроком

(3) Якщо гнучкість стінки відповідає умові, зазначеній у 8.2.6(6) EN 1993-1-1:2022, рекомендовано перевірити опір стінки в зоні отворів, розташованих з великим кроком, застосувавши метод, вказаний у 8.5.2.

Примітка. Втрату стійкості стінки можна попередити застосуванням поперечних елементів жорсткості, як наведено у 8.7.7.

(4) Перевірку опору втраті стійкості стінки в зоні отвору дозволено пропустити, якщо:

$h_o \leq 25 t_w$ ε для круглих, шестикутних, синусоїдальних і овальних отворів (8.15)

$h_o \leq 15 t_w$ ε для прямокутних отворів (8.16)

8.5.2 Втрата стійкості стінки

(1) Опір втраті стійкості стінки поруч з отворами, розташованими з великим кроком, рекомендовано перевіряти шляхом виконання:

$$\frac{N_{w,Ed}}{N_{w,Rd}} \leq 1,0, \quad (8.17)$$

де

$N_{w,Rd}$ — опір втраті стійкості стиснутої стінки в зоні отвору, як показано на рисунку 8.2.

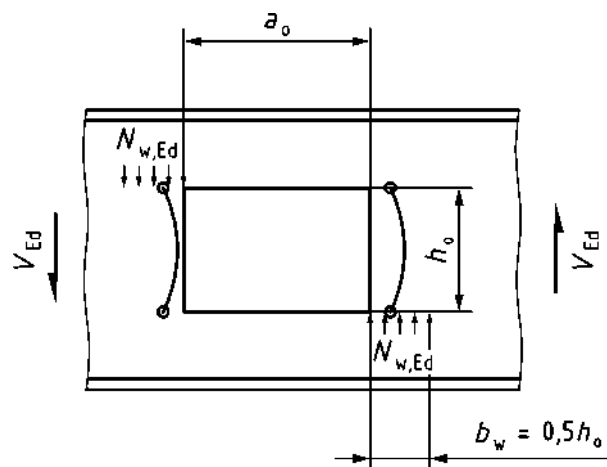


Рисунок 8.2 — Модель для втрати стійкості стінки поруч з прямокутними отворами, розташованими з великим кроком

(2) Стискальне зусилля $N_{w,Ed}$, що діє на стінку поруч з отвором, рекомендовано приймати як більше значення із зсувного зусилля у верхньому таврі $V_{t,Ed}$, і зсувного зусилля у нижньому таврі $V_{b,Ed}$. Зсувні зусилля у таврах дозволено обчислювати за формулами (8.18) і (8.19):

$$V_{b,Ed} = V_{Ed} \left[\frac{A_{v,bT}}{A_{v,bT} + A_{v,tT}} \right] \quad (8.18)$$

$$V_{t,Ed} = V_{Ed} \left[\frac{A_{v,tT}}{A_{v,bT} + A_{v,tT}} \right] , \quad (8.19)$$

де

$A_{v,bT}$ і $A_{v,tT}$ — площі зсуву нижнього і верхнього таврів відповідно, визначені у 8.2.6(3) EN 1993-1-1:2022.

(3) Опір втраті стійкості стінки рекомендовано приймати рівним:

$$N_{w,Rd} = \chi_{wp} b_w t_w f_y / \gamma_{M1} , \quad (8.20)$$

де

b_w — ефективна ширина стиснутої стінки, яку для непідкріпленого отвора рекомендовано приймати рівним $b_w = 0,5h_o$.

(4) χ_{wp} рекомендовано визначати за кривою втрати стійкості α у 8.3.1.3 EN 1993-1-1:2022 для всіх марок сталі з відносною гнучкістю стінки, $\bar{\lambda}_w$, визначеної у (5).

(5) Відносну гнучкість стінки поруч з отвором рекомендовано визначати як:

— Для круглих, шестикутних або овальних отворів

$$\bar{\lambda}_w = \frac{2,4h_o}{t_w} \frac{1}{\lambda_1} \quad (8.21)$$

— Для прямокутних отворів:

$$\bar{\lambda}_w = \frac{3,5h_o}{t_w} \frac{1}{\lambda_1} , \quad (8.22)$$

де

$$\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93,9 \varepsilon \quad (8.23)$$

8.6 Правила для отворів, розташованих з малим кроком

8.6.1 Загальні положення

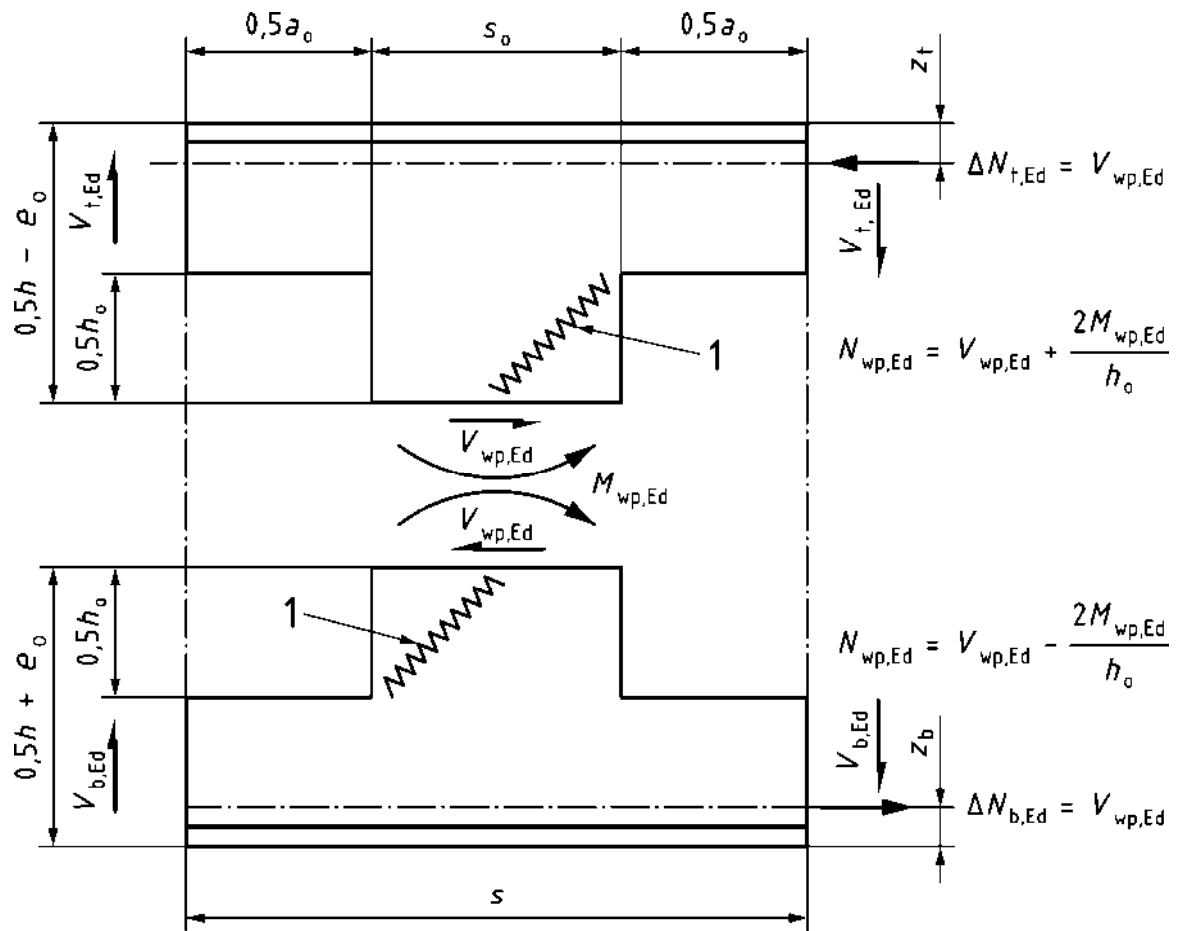
(1) Наведені тут правила є доповненням до загальних правил для отворів у стінках, наведених у 8.2, 8.3 і 8.4.

(2) Отвори рекомендовано вважати розташованими з малим кроком, якщо вони не задовольняють геометричним обмеженням для отворів, розташованих з великим кроком, зазначеним у 8.5.1(1) та (2).

(3) Правила, викладені у 8.6, дійсні для отворів, розташованих з малим кроком, з однаковими висотою і ексцентриситетом. В іншому випадку рекомендовано враховувати умовні отвори із консервативною висотою та ексцентриситетом.

8.6.2 Згин перемички

(1) Для моносиметричних профілів або отворів з ексцентриситетом, центр яких розташований не на серединній лінії стінки, рекомендовано враховувати, що розподіл зсувного зусилля, що діє на таври, $V_{t,Ed}$ і $V_{b,Ed}$, може призвести до утворення моменту у перемичці $M_{wp,Ed}$ на серединній лінії отворів, розташованих з малим кроком, як показано на рисунку 8.3.



Умовні позначки:

1 — зусилля стиску у перемичці

Рисунок 8.3 — Зсув і момент, що діють у перемичці для забезпечення рівноваги зусиль між прямокутними отворами

(2) Рекомендовано, щоб згин перемички між сусідніми круглими, шестикутними або овальними отворами відповідав:

$$\frac{M_{wp,Ed}}{M_{wp,Rd}} \leq 1,0 \quad (8.24)$$

(3) Рекомендовано, щоб згин перемички між сусідніми прямокутними отворами, що діє за наявності зсуву у перемичці, $V_{wp,Ed}$, задовольняв:

$$\frac{M_{wp,Ed}}{M_{wp,Rd}} \leq 1,0 \quad (8.25)$$

Для сусідніх прямокутних отворів різної висоти h_o дозволено приймати як середню висоту отворів.

(4) Момент у перемичці на середині довжини отвору рекомендовано визначати як:

$$M_{wp,Ed} = 0,5(V_{t,Ed} - V_{b,Ed}) s + V_{wp,Ed} e_o, \quad (8.26)$$

де

$V_{t,Ed}$ і $V_{b,Ed}$ — визначено у формулах (8.19) та (8.18) відповідно,

$V_{wp,Ed}$ — горизонтальне зсувне зусилля, що діє на перемичку, визначене на рисунку 8.3;

e_o — вважають додатним, якщо центр отвору розташований вище центральної лінії профілю.

Рекомендовано використовувати абсолютне значення $M_{wp,Ed}$.

(5) В якості альтернативи 8.5.2(2) зсувне зусилля дозволено розподілити між верхнім і нижнім таврами, щоб мінімізувати момент у перемичці, за умови, що опори перемички і таврів перевірено для такого зміненого розподілу внутрішніх зусиль.

(6) Опір пружному згину перемички рекомендовано обчислювати за формулою (8.27):

$$M_{wp,Rd} = \frac{s_o^2 t_w f_y}{6 \gamma_{M0}} \quad (8.27)$$

Для балок, виготовлених з двох різних таврових профілів, у формулі (8.27) рекомендовано використовувати мінімальне значення добутку товщини стінки і границі текучості верхнього і нижнього таврів, розгляданих окремо, $\min\{t_{w,tT} f_{y,tT}; t_{w,bT} f_{y,bT}\}$.

8.6.3 Втрата стійкості перемички

(1) Опір згину перемички між отворами, розташованими з малим кроком, розраховують на основі ефективної довжини стиснутої перемички, показаної на рисунку 8.4, що залежить від форми отвору.

Рекомендовано, щоб осьове зусилля, $N_{wp,Ed}$, у перемичці задовольняло:

$$\frac{N_{wp,Ed}}{N_{wp,Rd}} \leq 1,0 \quad (8.28)$$

де $N_{wp,Rd}$ — опір втраті стійкості перемички, визначений у (4).

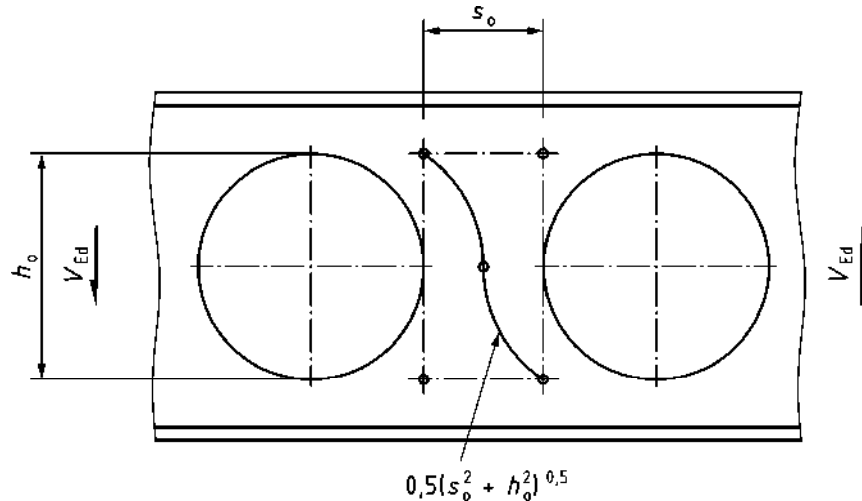


Рисунок 8.4 — Модель втрати стійкості перемички між круглими отворами, розташованими з малим кроком

(2) Для цієї перевірки стискальне зусилля, що діє на перемичку, $N_{wp,Ed}$, рекомендовано приймати рівним горизонтальному зсувному зусиллю, визначеному за формулою:

$$N_{wp,Ed} = V_{wp,Ed} \quad (8.29)$$

(3) Для перемичок, на які діє момент у площині, $M_{wp,Ed}$, опір втраті стійкості перемички рекомендовано перевіряти з урахуванням стискального зусилля в перемичці $N_{wp,Ed}$, обчисленого за формулою (8.30):

$$N_{wp,Ed} = |V_{wp,Ed}| + 2 \frac{|M_{wp,Ed}|}{h_o}, \quad (8.30)$$

де $M_{wp,Ed}$ визначено за 8.6.2(4).

Для сусідніх отворів різної висоти у формулі (8.30) дозволено використовувати середнє значення h_o .

(4) Опір втраті стійкості перемички рекомендовано приймати як:

$$N_{wp,Rd} = \chi_{wp} s_o \min\{t_{w,tT} f_{y,tT}; t_{w,bT} f_{y,bT}\} / \gamma_{M1} , \quad (8.31)$$

де $\min\{t_{w,tT} f_{y,tT}; t_{w,bT} f_{y,bT}\}$ — мінімальний добуток товщини стінки і границі текучості верхнього та нижнього таврів, розгляданих окремо.

(4) χ_{wp} рекомендовано визначати за кривою втрати стійкості a у 8.3.1.3 EN 1993-1-1:2022 для всіх марок сталі з відносною гнучкістю перемички, визначеної у (6).

(6) Для непідкріплених отворів відносну гнучкість перемички $\bar{\lambda}_{wp}$ рекомендовано обчислювати наступним чином.

для круглих та овальних отворів, як:

$$\bar{\lambda}_{wp} = \frac{1,75 \sqrt{s_o^2 + h_o^2}}{t_w} \frac{1}{\lambda_1} \text{ але } \bar{\lambda}_{wp} \leq \frac{2,4 h_o}{t_w} \frac{1}{\lambda_1} \quad (8.32)$$

Для шестикутних та синусоїдальних отворів, як:

$$\bar{\lambda}_{wp} = \frac{1,75 \sqrt{2s_o^2 + h_o^2}}{t_w} \frac{1}{\lambda_1} \text{ але } \bar{\lambda}_{wp} \leq \frac{2,7 h_o}{t_w} \frac{1}{\lambda_1} \quad (8.33)$$

Для прямокутних отворів, як:

$$\bar{\lambda}_{wp} = \frac{2,5 \sqrt{s_o^2 + h_o^2}}{t_w} \frac{1}{\lambda_1} \text{ але } \bar{\lambda}_{wp} \leq \frac{3,5 h_o}{t_w} \frac{1}{\lambda_1} \quad (8.34)$$

(7) Якщо балка з рядом круглих отворів виготовлена з двох різних таврових профілів і/або марок сталі, ефективну товщину стінки для розрахунку відносної гнучкості перемички в (6) рекомендовано обчислювати на основі середнього значення товщини стінки вище і нижче осьової лінії отвору, а λ_1 визначати на основі середньої границі текучості.

(8) Для сусідніх отворів різної форми та висоти дозволено використовувати середню відносну гнучкість відповідних випадків, зазначених у (6).

8.6.4 Зсув перемички

(1) Рекомендовано, щоб горизонтальний зсув у перемичці відповідав:

$$\frac{V_{wp,Ed}}{V_{wp,Rd}} \leq 1 \quad (8.35)$$

(2) Опір зсуву перемички рекомендовано визначати так:

$$V_{wp,Rd} = s_o \min\{t_{w,tT} f_{y,tT}; t_{w,bT} f_{y,bT}\} / (\sqrt{3} \gamma_{M0}) \quad (8.36)$$

8.7 Отвори, підкріплені у поздовжньому напрямку

8.7.1 Область застосування правил для отворів з поздовжніми елементами жорсткості

(1) До балок з полицями класу 1, 2 або 3 і з поздовжніми елементами жорсткості класу 1, 2 або 3 застосовують 8.7.

(2) Дозволено застосовувати однобічні або двобічні поздовжні елементи жорсткості, які рекомендовано проєктувати так, щоб вони виходили за межі кінців отвору на достатню довжину закріплення. Це необхідно для забезпечення їхньої повної ефективності в зоні країв отвору.

(3) Оскільки однобічні поздовжні елементи жорсткості призводять до поперечного вигину стінки, з ними рекомендовано використовувати поперечні елементи жорсткості на протилежній стороні, якщо висота стінки $h_w > 72t_{w\epsilon}$. Двосторонні елементи жорсткості дозволено застосовувати в усіх випадках.

(4) Мінімальну площу поперечного перерізу елемента жорсткості, що визначає жорсткий отвір, рекомендовано приймати відповідно до 8.1.3(1).

8.7.2 Область застосування правил для отворів з поздовжніми елементами жорсткості

(1) Сусідні стінки рекомендовано перевіряти по всій висоті на здатність протистояти зусиллю переданому від елемента жорсткості.

Зусилля в елементі жорсткості дозволено приймати рівним його опору розтягу, тобто для одного елемента жорсткості: $F_{s,Rd} = A_s f_{ys} / \gamma_{M0}$. Рекомендовано, щоб довжина закріплення елемента жорсткості a_v , що виступає за кожен край еквівалентного отвору відповідала наступним критеріям (див. рисунок 8.5):

- а) зсувний опір зварних кутових швів,
- б) зсувний опір елементів жорсткості,
- с) зсувний опір стінки балки.

Розрахунковий зсувний опір кутового зварного шва рекомендовано приймати за EN 1993-1-8.

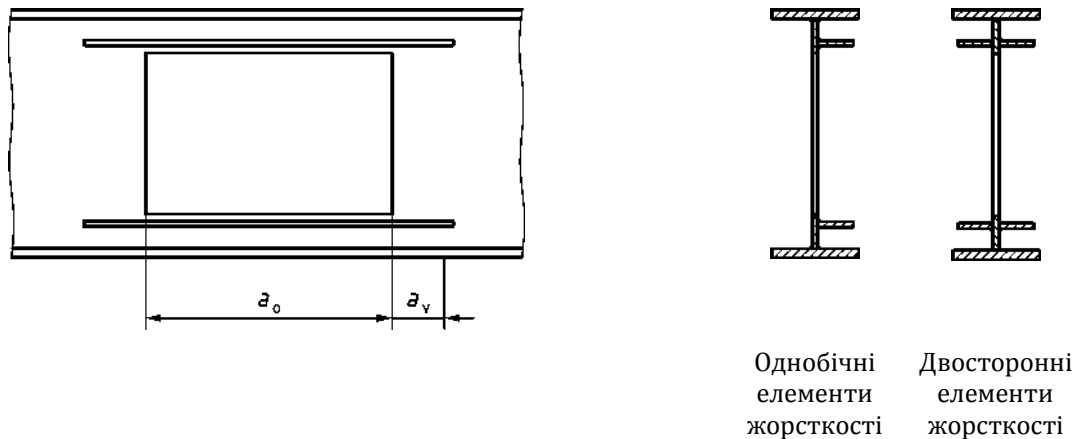


Рисунок 8.5 — Критерії до закріплення поздовжніх елементів жорсткості

8.7.3 Загальний опір згину для підкріплених отворів

(1) Поздовжні елементи жорсткості дозволено враховувати в опорі загальному згину сталевोї балки на середині довжини отворів за умови, що:

- вони двобічні,
- вони належать до класу 1 або 2,
- площу поперечного перерізу поздовжніх елементів жорсткості над або під отвором враховано у загальному опорі згину, а опір згину Віренделя, не перевищує $0,5h_o t_w$,

— мінімальна довжина закріплення, a_v , достатня для створення опору розтягу елемента жорсткості на краю отвору відповідно до 8.7.2(1).

(2) Навантажений підкріплений тавр рекомендовано розраховувати відповідно до 8.3.2.

(3) Дозволено вважати, що стійкість стиснутого підкріпленого тавра забезпечено, якщо його ефективна довжина задовольняє:

$$a_{\text{eff}} \leq 8 h_T \varepsilon (M_{o,Rd} / M_{Ed})^{0,5}, \quad (8.37)$$

де $M_{Ed} / M_{o,Rd}$ наведено у 8.3.1(1).

8.7.4 Опір згину Віренделя для підкріплених отворів

(1) Для згину Віренделя опір пластичному згину таврів, підкріплених в поздовжньому напрямку однобічними або двобічними елементами жорсткості, залежить також від класу елементів жорсткості під дією рівномірного стиску відповідно до 7.6.

(2) Опір згину Віренделя рекомендовано перевіряти відповідно до формули (8.11). Для застосування 8.4(6), в усіх випадках рекомендовано використовувати лінійну взаємодію між згинальним моментом і осьовим зусиллям у підкріпленому таврі, що призводить до наступної формули:

$$M_{NV,Rd} = M_{pl,Rd} (1 - N_{Ed} / N_{pl,Rd}), \quad (8.38)$$

де

N_{Ed} — розрахункове значення осьового зусилля, обумовленого загальним згином, що діє на підкріплений тавр вздовж осьової лінії отвору;

$M_{pl,Rd}$ — розрахунковий опір пластичному згину підкріпленого тавра, що враховує знижену границю текучості відповідно до 8.2(2) або ефективну товщину стінки відповідно до 8.2(3). Для балки з полицею або елементом жорсткості класу 3 ширину полиці або елемента жорсткості рекомендовано зменшити до граничних значень класу 2;

$N_{pl,Rd}$ — розрахунковий осьовий опір підкріпленого тавра, що враховує знижену границю текучості відповідно до 8.2(2) або ефективну товщину стінки відповідно до 8.2(3).

8.7.5 Втрата стійкості стінки для підкріплених отворів, розташованих з великим кроком

(1) Для отворів, розташованих з великим кроком, з поздовжніми елементами жорсткості над і під отворами, ефективну ширину стінки для перевірок на втрату стійкості, зазначених у 8.5.2(3), дозволено збільшувати з урахуванням виступу елемента жорсткості за край отвору, a_v , відповідно до:

$$b_w = 0,5h_o + a_v \leq 0,75 h_o \quad (8.39)$$

Гнучкість стінки наведено у 8.5.2(5).

8.7.6 Втрата стійкості перемички для підкріплених отворів, розташованих з малим кроком

(1) Для отворів, розташованих з малим кроком, з двобічними горизонтальними елементами жорсткості як над, так і під обома отворами, ефективну ширину перемички для розрахунку гнучкості дозволено зменшити з урахуванням виступу елемента жорсткості, a_v , за край отвору. Для горизонтальних елементів жорсткості над і під отворами $s_{o,eff} = s_o - 2a_v$, але $s_{o,eff} \geq 0,5s_o$.

(2) Відносну гнучкість перемички з використанням ефективної ширини $s_{o,eff}$ перемички рекомендовано приймати як:

Для круглих і овальних отворів:

$$\bar{\lambda}_{wp} = \frac{1,75 \sqrt{s_{o,eff}^2 + h_o^2}}{t_w} \frac{1}{\lambda_1} \quad \text{але} \quad \bar{\lambda}_{wp} \leq \frac{2,4 h_o}{t_w} \frac{1}{\lambda_1} \quad (8.40)$$

Для шестикутних і синусоїдальних отворів:

$$\bar{\lambda}_{wp} = \frac{1,75 \sqrt{2s_{o,eff}^2 + h_o^2}}{t_w} \frac{1}{\lambda_1} \text{ але } \bar{\lambda}_{wp} \leq \frac{2,7 h_o}{t_w} \frac{1}{\lambda_1} \quad (8.41)$$

Для прямокутних отворів:

$$\bar{\lambda}_{wp} = \frac{2,5 \sqrt{s_{o,eff}^2 + h_o^2}}{t_w} \frac{1}{\lambda_1} \text{ але } \bar{\lambda}_{wp} \leq \frac{3,5 h_o}{t_w} \frac{1}{\lambda_1} \quad (8.42)$$

(3) Перевірку перемички на втрату стійкості рекомендовано проводити відповідно до 8.6.3(4), (7) і (8) з використанням кривої втрати стійкості, наведеної в 8.6.3(5).

8.7.7 Отвори з поперечними елементами жорсткості

(1) Втрата стійкості стінки і перемички в зоні отворів або між ними можна запобігти за допомогою поперечних елементів жорсткості на всю висоту поруч з отворами.

(2) Поперечні елементи жорсткості рекомендовано розраховувати на зусилля стиску, передане більшим із зусиль зсуву в таврах згідно з 8.5.2(2) за EN 1993-1-5.

(3) Якщо поперечні елементи жорсткості використані в поєднанні з поздовжніми, то поздовжні елементи жорсткості рекомендовано закріплювати за отвором. Поздовжні і поперечні елементи жорсткості дозволено розташовувати на протилежних сторонах балки, як показано на рисунку 1.2.

8.8 Додаткові вимоги для інших випадків

8.8.1 Кінцеві перемички

(1) Рекомендовано перевірити кінцеву перемичку біля з'єднання на предмет сил, що діють на неї. Там, де на кінцях балки є виріз або зріз, рекомендовано перевіряти місцеві умови в місці вирізу і поруч із ним.

(2) Для шарнірно обпертих балок мінімальну ширину кінцевої перемички s_e (див. рисунок 3.2), рекомендовано приймати рівною $0,25h_o$ для круглих і шестикутних отворів і $0,5a_{eff}$ для отворів іншої форми.

(3) Для балок із жорсткими та напівжорсткими з'єднаннями мінімальну ширину кінцевої перемички рекомендовано приймати як h_o (див. рисунок 1.1) для круглих і шестикутних отворів і як a_{eff} (див. 7.5(4)) для отворів іншої форми.

(4) У випадках, де ширина кінцевої перемички s_e менша за h_o для круглих і шестикутних отворів, і за a_{eff} для отворів іншої форми, торцеву перемичку рекомендовано перевіряти на втрату стійкості, обумовлену вертикальним зсувом. Для застосовування наведених нижче формул для втрати стійкості кінцевої перемички рекомендовано, щоб стінка у місці торцевої перемички мала бічне обпирання за допомогою кінцевого з'єднання по висоті стінки, довжиною не менше $0,8 h$. Де $s_e > h_o$ для круглих і шестикутних отворів і $s_e > a_{eff}$ для отворів інших форм, стінку в зоні отворів рекомендовано перевіряти на втрату стійкості за 8.5.2.

(1) Рекомендовано, щоб вертикальне зсувне зусилля у кінцевій перемичці відповідало:

$$\frac{V_{Ed}}{N_{ep,Rd}} \leq 1,0 \quad , \quad (8.43)$$

де опір втраті стійкості у кінцевій перемичці рекомендовано приймати рівним:

$$N_{ep,Rd} = \chi_{ep} s_e \min\{t_{w,tT} f_{y,tT}; t_{w,bT} f_{y,bT}\} / \gamma_{M1} \quad , \quad (8.44)$$

де χ_{ep} — понижувальний коефіцієнт, обумовлений втратою стійкості кінцевої перемички, визначеної на основі відносної гнучкості кінцевої перемички і з застосуванням кривої втрати стійкості 'а'.

Для отворів з $s_e > h_o$, опір втраті стійкості кінцевої перемички рекомендовано приймати рівним:

$$N_{ep,Rd} = \chi_{ep} h_o \min\{t_{w,tT} f_{y,tT}; t_{w,bT} f_{y,bT}\} / \gamma_{M1} \quad (8.45)$$

(5) Відносну гнучкість кінцевої перемички рекомендовано приймати як:

Для круглих і овальних отворів:

$$\bar{\lambda}_{ep} = \frac{1,75 \sqrt{s_{e,eff}^2 + h_o^2}}{t_w} \frac{1}{\lambda_1} \quad (8.46)$$

Для шестикутних і синусоїдальних отворів:

$$\bar{\lambda}_{ep} = \frac{1,75 \sqrt{2s_{e,eff}^2 + h_o^2}}{t_w} \frac{1}{\lambda_1} \quad (8.47)$$

Для прямокутних отворів:

$$\bar{\lambda}_{ep} = \frac{2,5 \sqrt{s_{e,eff}^2 + h_o^2}}{t_w} \frac{1}{\lambda_1}, \quad (8.48)$$

де ефективну ширину кінцевої перемички $s_{e,eff}$ приймають у формулах (8.45) — (8.48) як:

$s_{e,eff} = 0,7s_e \leq 0,7h_o$ Торцеві пластини повної висоти, приварені до кінцевої перемички та до обох полиць;

$s_{e,eff} = s_e \leq h_o$ Для з'єднання торцевих пластин з балками з одиночним вирізом під стиснуту полицю, де довжина вирізу не перевищує менше з $0,5s_e$ та $0,5h_o$, і де висота вирізу не перевищує $0,1h$;

$s_{e,eff} = 1,2s_e \leq 1,2h_o$ Для з'єднання торцевих пластин з балками з вирізом під обидві полиці відповідно до вищевказаних граничних значень;

$s_{e,eff} = 1,5s_e \leq 1,5h_o$ Для болтових з'єднань з фасонкою і кутових з'єднань, при яких стінка з'єднана по довжині не менше ніж на $0,8h$, де значення s_e виміряно від лінії дії болтової групи

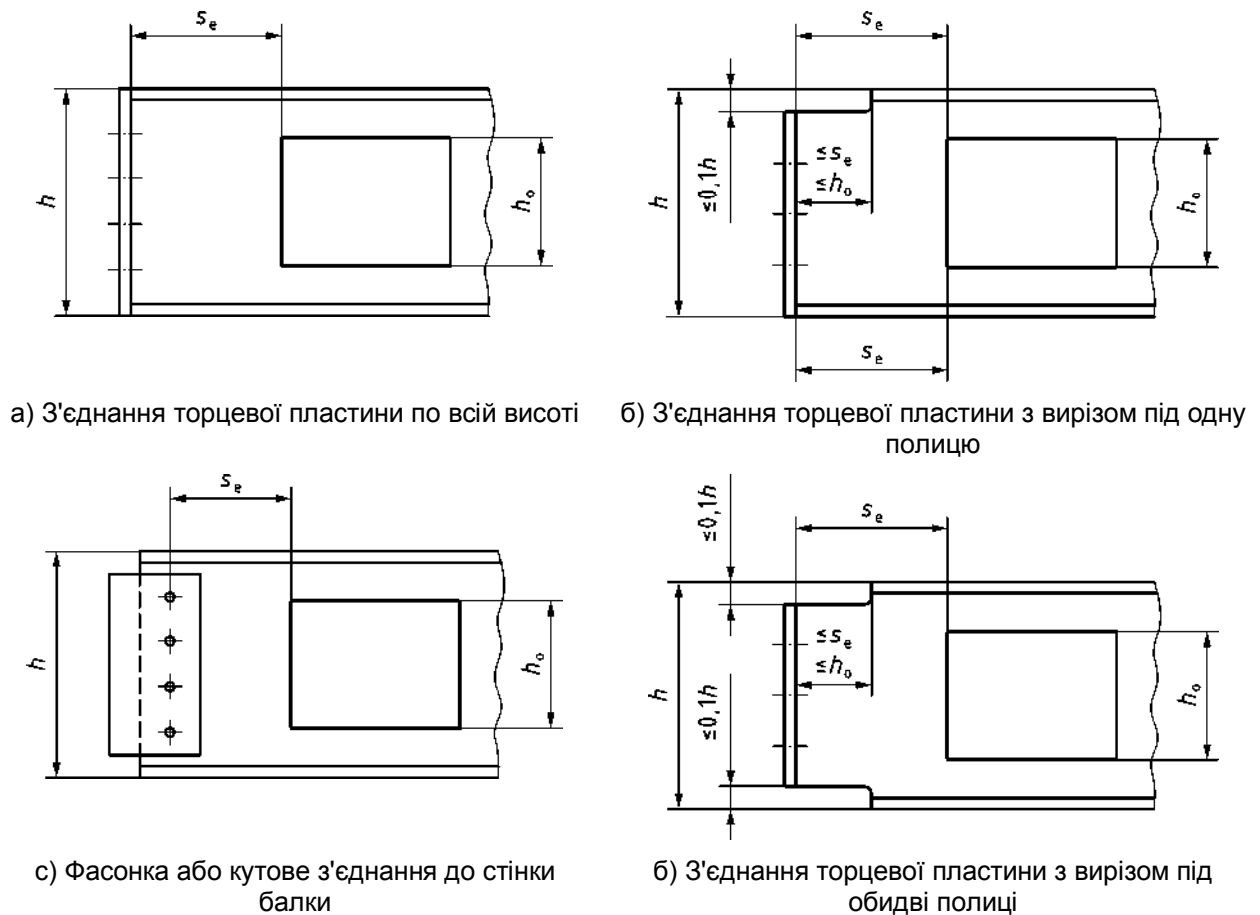


Рисунок 8.6 — Типи торцевих з'єднань

8.8.2 Навантаження, прикладені в отворах або біля них

(1) Якщо місцеве навантаження прикладене до таврового перерізу, місцевий опір навантаженого тавра рекомендовано перевіряти, якщо це місцеве навантаження перевищує 15% опору зсуву навантаженого тавра і якщо $a_{\text{eff}} > 6h_T$ для непідкріпленого тавра, або якщо $a_{\text{eff}} > 8h_T$ для підкріпленого тавра, де h_T — висота навантаженого тавра.

(2) Якщо місцеве навантаження прикладене в зоні отвору, опір втраті стійкості стінки під спільною дією стиску та зсуву рекомендовано перевіряти якщо це місцеве навантаження перевищує $0,15 V_{o,pl,Rd}$. Опір втраті стійкості дозволено перевіряти відповідно до 8.5.2, де $N_{w,Ed}$ дорівнює сумі місцевого навантаження, прикладеного до стінки, та найбільшого із зсувних зусиль, що діють на таври, відповідно до

8.5.2(2). Місцеве навантаження дозволено вважати прикладеним в зоні отвору, якщо воно прикладене на відстані менше:

- для круглих та шестикутних отворів: $0,5h_o$.
- Для прямокутних і овальних отворів, менше з $0,5a_{eff}$ та h_o .

Примітка. Випадок місцевого навантаження, прикладеного до непідкріпленої перемички між двома отворами, розташованими з малим кроком, не розглядається.

(3) Якщо стінка сприймає навантаження через поперечний елемент жорсткості, то поперечний елемент жорсткості і його зварні шви рекомендовано проєктувати так, щоб вони витримували зусилля стиску, яке дорівнює сумі прикладеного до стінки місцевого навантаження та більшому зі значень зсувних зусиль у таврах.

8.9 Альтернативний метод згину Віренделя для круглих отворів

(1) Цей альтернативний метод застосовують до сталевих балок з круглими отворами, в яких перевірки виконують на радіальних площинах навколо отвору.

(2) Опір балки загальному згину і зсуву рекомендовано перевіряти на середній довжині отвору (розріз *a-a* на рисунку 8.7).

(3) Впливи моментів Віренделя рекомендовано перевіряти на радіальних площинах навколо отвору (див. переріз *b-b* на рисунку 8.7) по обидва боки отвору з мінімальним кутом ϕ_{max} та максимальним кутом ϕ_{max} , де ϕ_{max} дорівнює арктангенсу (s/h) з урахуванням прирощення кута ϕ , що не перевищує 5° .

(4) Внутрішні зусилля і моменти на перерізі *b-b* рекомендовано визначати для верхнього і нижнього тавра з урахуванням рівноваги ділянки між ділянками *a-a* і *b-b*. Осьове зусилля дозволено розподілити між полицею і стінкою у перерізі *a-a* і дозволено використовувати для встановлення рівноваги у перерізі *b-b*.

(5) Рекомендовано, щоб для кожного похилого поперечного перерізу тавра, з кутом нахилу до вертикалі ϕ , внутрішнє зусилля, $N_{\phi,Ed}$, і момент, $M_{\phi,Ed}$, для перерізу $b-b$ відповідали наступним критеріям:

$$\frac{N_{\phi,Ed}}{N_{\phi,Rd}} + \frac{M_{\phi,Ed}}{M_{\phi,Rd}} \leq 1,0 \quad , \quad (8.49)$$

де

$N_{\phi,Ed}$ — осьове зусилля, перпендикулярне перерізу $b-b$;

$N_{\phi,Rd}$ — опір осьовому зусиллю перерізу $b-b$;

$M_{\phi,Ed}$ — згинальний момент у перерізі $b-b$;

$M_{\phi,Rd}$ — опір моменту перерізу $b-b$.

(6) Розрахункові опори $N_{\phi,Rd}$ і $M_{\phi,Rd}$ рекомендовано визначати для похилих таврових поперечних перерізів і рекомендовано, щоб вони враховували вплив зсувного зусилля $V_{\phi,Ed}$ відповідно до 8.2.10, EN 1993-1-1:2022.

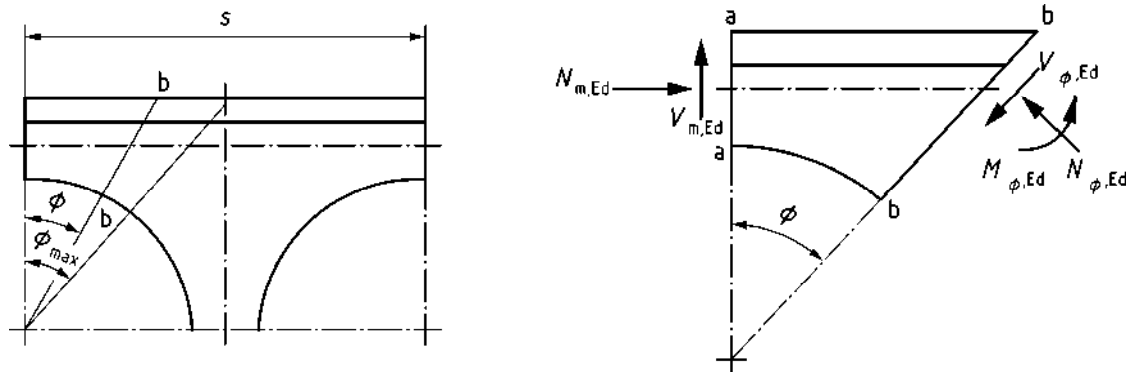


Рисунок 8.7 — Внутрішні зусилля і моменти у похилому поперечному перерізі з кутом нахилу ϕ

(7) Клас стиснутої полиці рекомендовано визначати за таблицею 7.3 EN 1993-1-1:2022. Клас консольної частини стінки біля непідкріпленого отвору рекомендовано визначати відповідно до 7.5(5) і (6). Клас таврів рекомендовано приймати як вищий із класів полиці та стінки. Для перевіряння всіх похилих ділянок отвору використовують один і той самий клас.

8.10 Альтернативний метод забезпечення стійкості перемички між круглими отворами

(1) Цей альтернативний метод перевірки опору втраті стійкості перемички між круглими отворами однакового діаметру дозволено застосовувати до балок, виготовлених із профільованого прокату або зі зварних плит, за умови, що:

$$0,1 \leq s_o/h_o \leq 0,5 \text{ і } s_o \geq 50 \text{ мм}$$

$$h_o \leq 60 t_w \varepsilon$$

$$1,3 \leq t_f/t_w \leq 2$$

Рекомендовано, щоб використана у цих формулах марка сталі не перевищувала S460.

Полицю і стінку виготовлених зі зварних листів балок, рекомендовано виконувати зі сталі однакової марки і якості. Рекомендовано, щоб вони були зварені суцільними швами з обох сторін стінки, при цьому мінімальна товщина шва має становити 6 мм або половину товщини стінки, залежно від того, яке з цих значень є більшим.

(2) Для перемичок між круглими отворами, показаних на рисунку 8.8, опір втраті стійкості верхньої та нижньої частин перемички рекомендовано перевіряти окремо:

$$\frac{|N_{w,Ed}|}{\kappa N_{w,Rd}} \leq 1,0 \quad , \quad (8.50)$$

де

$N_{w,Ed}$ — еквівалентне розрахункове зусилля для втрати стійкості перемички у верхній або нижній частині перемички відповідно до (5);

$N_{w,Rd}$ — опір втраті стійкості розгляданої частини перемички, обчислений за (7);

κ — посткритичний коефіцієнт, обчислений у (9).

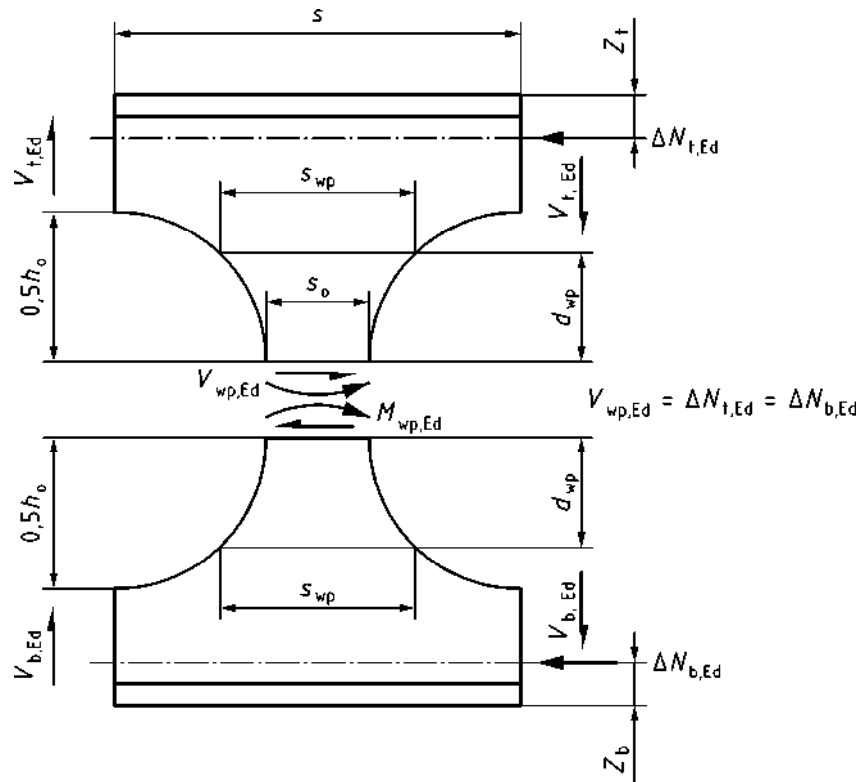


Рисунок 8.8 — Внутрішні зусилля і моменти в перемичці між круглими отворами

(3) Критичний переріз рекомендовано приймати на відстані d_{wp} по вертикалі від центральної лінії отворів наступним чином:

$$d_{wp} = \frac{h_o}{2} \sqrt{\frac{\sqrt{\alpha^4 + 8\alpha^2} - 2 - \alpha^2}{2}}, \quad (8.51)$$

де

$$\alpha = s/h_o$$

(4) Ширину s_{wp} критичного перерізу перемички рекомендовано обчислювати за допомогою:

$$s_{wp} = h_o \left(\alpha - \sqrt{1 - \left(\frac{2 d_{wp}}{h_o} \right)^2} \right) \quad (8.52)$$

(5) Еквівалентне розрахункове зусилля для втрати стійкості перемички, що діє на критичний переріз, рекомендовано розраховувати на основі:

$$N_{w,Ed,t} = \frac{6M_{wp,Ed,t}}{s_{wp} \left(1 - 4 \left(\frac{d_{wp,t}}{h_o} \right)^2 \right)} \quad \text{для верхньої частини} \quad (8.53)$$

$$N_{w,Ed,t} = \frac{6M_{wp,Ed,t}}{s_{wp} \left(1 - 4 \left(\frac{d_{wp,t}}{h_o} \right)^2 \right)} \quad \text{для нижньої частини} \quad (8.54)$$

Згинальний момент у площині у критичному перерізі обчислюють за:

$$M_{wp,Ed,t} = V_{wp,Ed} d_{wp,t} + M_{wp,Ed} \quad \text{для верхньої частини} \quad (8.55)$$

$$M_{wp,Ed,b} = V_{wp,Ed} d_{wp,b} - M_{wp,Ed} \quad \text{для нижньої частини} \quad (8.56)$$

де $M_{wp,Ed}$ визначено в 8.6.2(4).

(6) Розподіл зсувного зусилля між верхньою і нижньою частинами рекомендовано приймати як:

$$V_{t,Ed} = k_{Av,t} V_{Ed} \text{ and } V_{b,Ed} = (1 - k_{Av,t}) V_{Ed} \quad (8.57)$$

де коефіцієнт $k_{Av,t}$ задано формулою

$$k_{Av,t} = \frac{A_{v,tT}^{\eta}}{A_{v,tT}^{\eta} + A_{v,bT}^{\eta}} \quad (8.58)$$

де $A_{v,tT}$ — зсувна площа верхнього тавра, а $A_{v,bT}$ — зсувна площа нижнього тавра.

$$\eta = \frac{1}{9,48 - 4,84 \alpha} \quad \text{для } 1,08 \leq \alpha < 1,5 \quad (8.59)$$

і $\eta = 0,45$ для $\alpha \geq 1,5$.

Примітка. Для симетричних перерізів $k_{Av,t}=0,5$ відповідно до (8.58).

(2) Опір втраті стійкості перемички рекомендовано обчислювати за допомогою:

$$N_{w,Rd} = \chi_w \xi s_{wp} t_w f_y / \gamma_{M1} , \quad (8.60)$$

де

χ_w — понижувальний коефіцієнт із застосуванням кривої втрати стійкості α , визначеної в 8.3.1.3 EN 1993-1-1:2022, і на основі відносної гнучкості, заданої в (8);

ξ — коефіцієнт форми критичного перерізу, де

$$\xi = 1,5 + \frac{2 \times 10^{-5}}{(\alpha - 1)^4} \quad (8.61)$$

(8) Відносну гнучкість перемички рекомендовано отримати з:

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{\xi f_y}{\sigma_{w,cr}}} \quad (8.62)$$

де

$\sigma_{w,cr}$ — критичне головне напруження в критичному перерізі на краю отвору, яке може бути обчислене або за допомогою розрахунку на втрату стійкості, або за допомогою відповідних аналітичних формул, як, наприклад, у [3] і [4].

(9) Посткритичний коефіцієнт обчислюють за наступною формулою:

$$\kappa = 1 + 0,625 (\psi - 0,3) \quad (8.63)$$

але: $1,0 \leq \kappa \leq 1,25$

де ψ — співвідношення моментів, задане наступним чином:

$$\text{Для верхнього тавра: } \psi = M_{pl,Rd,tT} / (sV_{t,Ed}) \quad (8.64)$$

$$\text{Для нижнього тавра: } \psi = M_{pl,Rd,bT} / (sV_{b,Ed}) \quad (8.65)$$

$M_{pl,Rd,tT}$ і $M_{pl,Rd,bT}$ — розрахунковий пластичний опір згину поперечних перерізів верхнього і нижнього таврів відповідно.

8.11 Альтернативний спосіб для синусоїдальних отворів

8.11.1 Загальні положення

(1) Цей альтернативний спосіб застосовний лише до сталевих

балок, симетричних щодо обох осей поперечного перерізу.

(2) Метод застосовують до синусоїдальних отворів, форма яких визначена на рисунку 1.1(f), з відстанню між краями b_o , що становить не менше 150 мм.

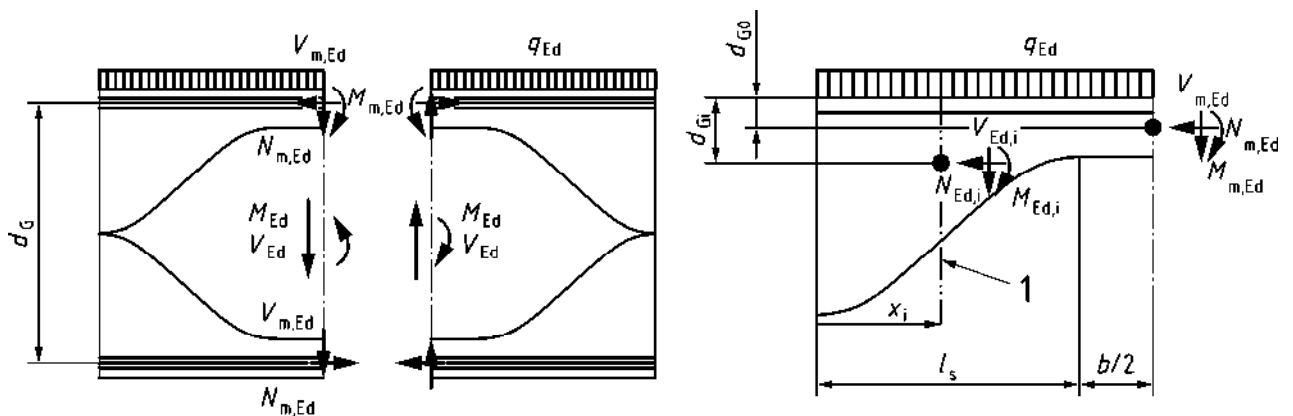
(3) Опір втраті стійкості перемички рекомендовано перевіряти. Дозволено використати спрощений метод, описаний у 8.6.3(6).

(4) Метод детально описаний у [5] і містить конкретні правила для визначення опору згину Віренделя і опору горизонтальному зсуву перемички.

8.11.2 Згин Віренделя

(1) Загальні опори згину і зсуву рекомендовано перевіряти в центрі отворів.

(2) Вплив згину Віренделя тавра рекомендовано перевіряти вздовж отвору у перерізах з прирощеннями Δi , що не перевищують $a_o/50$ (див. рисунок 8.9).



Умовні позначки:

1 — i -тий поперечний переріз

Рисунок 8.9 — Внутрішні зусилля і моменти в i -тому перерізі синусоїдального отвору

(3) Під час розрахункових перевірок рекомендовано враховувати згинальний момент, обумовлений навантаженням, прикладеним до тавра.

(4) Взаємодію зсуву, стиску та згину рекомендовано перевіряти на всіх етапах.

(5) Для всіх прирощень i , зсувне зусилля $V_{Ed,i}$, рекомендовано перевіряти на відповідність умовам зсувного опору, зазначеним у 8.2.6 EN 1993 -1-1:2022.

(6) Рекомендовано, щоб взаємодія моменту та осьового зусилля задовольняла:

$$\Gamma_{MNV0} = \sqrt{\frac{\Gamma_{MNV,tT}^2 + \Gamma_{MNV,bT}^2}{2}} \leq 1,0 \quad (8.66)$$

де $\Gamma_{MNV,tT}$ і $\Gamma_{MNV,bT}$ — критерії взаємодії для верхнього і нижнього таврів відповідно, визначені в (7).

(7) Критерій взаємодії моменту, осьового зусилля та зсувної сили Γ_{MNV} для тавра рекомендовано розрахувати наступним чином, враховуючи i -тий поперечний переріз тавра з найбільшим значенням Γ_{MNV}

$$\Gamma_{MNV} = \left(\frac{|M_{Ed,i}|}{M_{V,pl,Rd,i}} + \left(\frac{|N_{Ed,i}|}{N_{V,pl,Rd,i}} \right)^{\alpha_v} \right), \quad (8.67)$$

де

$M_{Ed,i}$, $N_{Ed,i}$ — прикладені згинальний момент і осьове зусилля в i -тому поперечному перерізі тавра;

$M_{V,pl,Rd,i}$, $N_{V,pl,Rd,i}$ — опір пластичному згину і осьовий опір i -тих поперечних перерізів таврів, знижені через наявність зсувного зусилля відповідно до 8.2;

α_v — калібрувальний параметр, який консервативно дозволено приймати рівним 1,0. Значення від 1,0 до 2,0 для α_v дозволено приймати за умови дотримання правил, наведених у [5].

8.12 Поперечно--крутильна втрата стійкості

(1) Незакріплений з боків елемент з перфорованою стінкою, на який діє згинальний момент відносно головної осі, рекомендовано перевіряти на відсутність поперечно-крутильної втрати стійкості. Рекомендовано, щоб максимальне розрахункове значення згинального моменту M_{Ed} вздовж балки задовольняло умову формули (8.68):

$$\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} \leq 1,0 \quad , \quad (8.68)$$

де

$M_{b,Rd}$ — розрахунковий опір згину балки з перфорованою стінкою.

(2) Розрахунковий опір втраті стійкості при згині $M_{b,Rd}$ рекомендовано розраховувати відповідно до 8.3.2.1(3) EN 1993-1-1:2022, із використанням значення M_{Rk} , обчисленого в центрі найбільшого отвору.

(3) Відносну гнучкість для поперечно-крутильної втрати стійкості $\bar{\lambda}_{LT}$ рекомендовано розраховувати відповідно до 8.3.2.2(1) EN 1993-1-1:2022 з використанням характеристик поперечного перерізу, розрахованих у центрі найбільшого отвору.

(4) χ_{LT} рекомендовано розраховувати відповідно до 8.3.2.3(2) EN 1993-1-1:2022, із використанням наступних кривих втрати стійкості:

- крива втрати стійкості c для подвійних симетричних балок, виготовлених з прокатних профілів;
- крива втрати стійкості d для інших випадків.

(5) Для подвійних симетричних балок дозволено застосовувати 8.3.2.3(1) EN 1993-1-1:2022.

9 ГРАНИЧНІ СТАНИ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ ПРИДАТНОСТІ

(1) Великі отвори в стінці спричиняють додаткові згинальні і зсувні деформації, які рекомендовано розраховувати у відповідний спосіб на основі принципів пружності, як, наприклад, у 7.2 (4) і (5). Однак, для стандартних випадків, таких як рівномірно навантажені та

шарнірно обперті балки з рівномірно розташованими круглими або шестикутними отворами допускається використання наближених значень. В інших випадках внесок кожного отвору в прогин в середині прольоту рекомендовано визначати відповідно до (3) і сумувати для всіх отворів. Для довгих отворів, у яких a_{eff} перевищує $2h_o$, застосовні пункти (5) і (6).

(2) За умови виконання умов 8.1.2 і 8.1.3, і прикладеного до балки квазістатичного навантаження, для обчислення додаткових прогинів дозволено використовувати спрощені правила (4)-(7). У такому випадку немає необхідності розраховувати напруження в отворах у граничному стані експлуатаційної придатності.

(3) Для шарнірно обпертих балок із рівномірним навантаженням додатковий прогин у середині прольоту w_{add} , що виникає під спільною дією загального згину і згину Віренделя, і викликаного одним отвором розташованим на відстані x_o , від найближчої опори, дозволено приблизно приймати рівним:

$$\frac{w_{\text{add}}}{w_b} = 1,6 \left(\frac{h_o^3 t_w}{I_a} \right) \left(1 - \frac{x_o}{L} \right) \left(\frac{x_o}{L} \right)^2 \left(\frac{a_{\text{eff}}}{L} \right) + 29k_o \left(\frac{I_a}{h^3 t_w} \right) \left(1 - \frac{2x_o}{L} \right) \left(\frac{a_{\text{eff}}}{h - h_o} \right)^3 \left(\frac{h}{L} \right)^3$$

для $x_o \leq 0,5L$,

(9.1)

де

w_b — чистий прогин при згині у середині прольоту, обчислений із використанням моменту інерції приведенного перерізу I_a суцільної стінки балки;

a_{eff} — ефективна довжина отвору для розрахунку прогину відповідно до 7.4(2);

t_w — товщина стінки. Середнє значення дозволено використовувати у випадку перфорованої балки, виконаної з двох різних таврових профілів.

k_o — коефіцієнт, що дорівнює:

$k_o=1,0$ для непідкріплених отворів;

$k_o=0,5$ для поздовжньо підкріплених отворів, що відповідають граничним значенням у 8.1.2(1).

(4) Для шарнірно обпертих балок із декількома рівномірно розташованими круглими або шестикутними отворами, на які діє рівномірно розподілене навантаження, додатковий прогин в середині прольоту, w_{add} , дозволено розраховувати за формулами (9.2) або (9.3):

$$\frac{w_{add}}{w_b} = 10n_o \left(\frac{h_o}{h} \right)^3 \left(\frac{h}{L} \right)^2 \text{ для } s_o \text{ або } b_o > 0,35 h_o \quad (9.2)$$

$$\frac{w_{add}}{w_b} = 3,5n_o \left(\frac{h_o}{h} \right)^3 \left(\frac{h_o}{s_o} \right) \left(\frac{h}{L} \right)^2 \text{ для } s_o \text{ або } b_o \leq 0,35 h_o, \quad (9.3)$$

де

n_o — кількість отворів у стінках;

h_o, s_o, b_o : див. рисунок 1.1.

(5) Для отворів, в яких a_{eff} перевищує $2h_o$, рекомендовано, щоб зсувний прогин, обумовлений згином *Вірendela* у поперечному перерізі, що проходить через отвір, не перевищував $w_{Vier,max}$.

Примітка. $w_{Vier,max}$ приймають рівним $a_{eff}/200$, якщо у національному додатку не наведено інші значення.

(6) Зсувний прогин, обумовлений згином *Вірendela* у поперечному перерізі, що проходить через прямокутний, овальний або синусоїдальний отвір, дозволено визначати за:

$$w_{Vier,add} = \frac{V_{ser,Ed} a_{eff}^3}{12E(I_{tT} + I_{bt})}, \quad (9.4)$$

де

$V_{ser,Ed}$ — зсувне зусилля на середині отвору у граничному стані експлуатаційної придатності.

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 стандарту. Застосування альтернативних стандартів дозволено за умови технічного обґрунтування відповідно до національного законодавства та/або будь-яких відповідних договірних положень. У разі датованих посилань застосовують тільки наведені видання. У разі недатованих посилань потрібно користуватись останнім виданням нормативних документів (разом зі змінами).

1. EN 1993-1-5:2024, Eurocode 3 — Design of steel structures — Part 1-5: Plated structural elements
2. EN 1993-1-8, Eurocode 3 — Design of steel structures — Part 1-8: Joints

НАЦІОНАЛЬНЕ ПОЯСНЕННЯ

1. EN 1993 1 5:2024 Проектування сталевих конструкцій. Частина 1-5. Пластинчасті конструктивні елементи
2. EN 1993 1-8 Єврокод 3. Проектування сталевих конструкцій. Частина 1-8. Проектування з'єднань

Інші посилання

3. D. Bitar, P.O. Martin, Y. Galéa, T. Demarco; Revue Construction Métallique CM2006-1; “Poutres cellulaires acier et mixtes – Partie 1 : Proposition d'un modèle pour la résistance des montants”
- 4 P.O. Martin; Revue Construction Métallique CM2018-3; “Elastic

5 P.O. Martin, M. Couchaux, O. Vassart, A. Bureau; Engineering structures 143 (2017) 113-126; “An analytical method for the resistance of cellular beams with sinusoidal openings”;

<https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2017.03.048>

НАЦІОНАЛЬНЕ ПОЯСНЕННЯ

3. Д. Бітар, П.О. Мартін, І. Галеа, Т. Демарко; Revue Construction Métallique CM2006-1; «Балки з перфорованою стінкою їх отворами круглої форми зі сталі та змішаних матеріалів – Частина 1: Пропозиція моделі для визначення несної здатності стінок».(?)

4. П.О. Мартін; Revue Construction Métallique CM2018-3; «Пружна втрата перемичок комірчастих балок (з отворами круглої форми)».

5. П.О. Мартін, М. Кушо, О. Васар, А. Бюро; Engineering Structures 143 (2017) 113-126; «Аналітичний метод для визначення несної здатності комірчастих балок із синусоїдальними отворами».

<https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2017.03.048>

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-Н Б EN 1990 Єврокод. Основи проєктування конструкцій
3. ДСТУ-Н Б EN 1991 (усі частини) Єврокод 1. Дії на конструкції
4. 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

прДСТУ EN1993-1-13:202X

Код згідно з НК 004: 91.080.10

Ключові слова: балки з перфорованою стінкою; круглі, овальні, прямокутні, шестикутні, синусоїдальні отвори; елементи жорсткості, підкріплені отвори, таври.