



НАЦІОНАЛЬНИЙ СТАНДАРТ УКРАЇНИ

---

ДСТУ ISO 10406-1:2021  
(ISO 10406-1:2015, IDT)

# АРМАТУРА КОМПОЗИТНА

Методи випробування  
Частина 1. Стрижні та решітки

*Видання офіційне*



03062021-000022

Київ  
ДП «УкрНДНЦ»  
2021

## ПЕРЕДМОВА

- 1 РОЗРОБЛЕНО: Технічний комітет стандартизації «Будівельні конструкції» (ТК 303), Товариство з обмеженою відповідальністю «НВП «ПОЛІМЕРНІ ІННОВАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ»
- 2 ПРИЙНЯТО ТА НАДАНО ЧИННОСТІ: наказ Державного підприємства «Український науково-дослідний і навчальний центр проблем стандартизації, сертифікації та якості» (ДП «УкрНДНЦ») від 28 січня 2021 р. № 21 з 2021–05–01
- 3 Національний стандарт відповідає ISO 10406-1:2015 Fibre-reinforced polymer (FRP) reinforcement of concrete — Test methods — Part 1: FRP bars and grids (Армування бетону волоконно-армованим полімером (ВАП). Методи випробувань. Частина 1. Стрижні та решітки з ВАП)  
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 чи частково видавати, відтворювати  
здля 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», 2021

## ЗМІСТ

Національний вступ .....	VI
1 Сфера застосування .....	1
2 Нормативні посилання .....	1
3 Терміни та визначення, позначки .....	1
3.1 Терміни та визначення понять .....	1
3.2 Позначки .....	4
4 Загальні положення щодо випробувальних зразків .....	5
5 Метод випробування властивостей в поперечному перерізі .....	5
5.1 Випробувальні зразки .....	5
5.2 Метод випробування .....	5
5.3 Обчислення .....	6
5.4 Протокол випробування .....	6
6 Метод випробування властивостей під час розтягу .....	7
6.1 Випробувальні зразки .....	7
6.2 Випробувальне обладнання .....	7
6.3 Метод випробування .....	8
6.4 Обчислення .....	9
6.5 Протокол випробування .....	10
7 Метод випробування міцності зчеплення висмикуванням .....	10
7.1 Випробувальні зразки .....	10
7.2 Випробувальна установка та прилади .....	12
7.3 Метод випробування .....	13
7.4 Обчислення .....	14
7.5 Протокол випробування .....	14
8 Метод випробування характеристик анкерних кріплень та хомутів .....	14
8.1 Метод випробування характеристик анкерних кріплень .....	14
8.2 Метод випробування характеристик хомутів .....	15
8.3 Протокол випробування .....	16
9 Метод випробування тривалої релаксації .....	16
9.1 Випробувальні зразки .....	16
9.2 Випробувальний стенд та прилади .....	16
9.3 Температура випробування .....	17
9.4 Метод випробування .....	17
9.5 Обчислення .....	18
9.6 Протокол випробування .....	18

10	Метод випробування на втому в разі розтягу .....	18
10.1	Випробувальні зразки.....	18
10.2	Випробувальна установка та прилади.....	18
10.3	Температура випробування .....	19
10.4	Метод випробування .....	19
10.5	Обчислення .....	19
10.6	Протокол випробування .....	20
11	Метод випробування лугостійкості.....	20
11.1	Випробувальні зразки .....	20
11.2	Занурення в лужний розчин .....	20
11.3	Зміна зовнішнього вигляду та ваги .....	21
11.4	Випробування на розтяг .....	21
11.5	Обчислення .....	21
11.6	Протокол випробування .....	21
12	Метод випробування руйнування в разі повзучості .....	22
12.1	Випробувальні зразки.....	22
12.2	Випробувальний стенд та прилади .....	22
12.3	Температура випробування .....	22
12.4	Границя міцності на розтяг.....	22
12.5	Метод випробування .....	22
12.6	Обчислення .....	23
12.7	Протокол випробування .....	23
13	Метод випробування міцності на поперечний зріз .....	23
13.1	Випробувальні зразки.....	23
13.2	Випробувальна установка та прилади.....	24
13.3	Температура випробування .....	25
13.4	Метод випробування .....	25
13.5	Обчислення .....	25
13.6	Протокол випробування .....	26
14	Метод випробування властивостей розтягу в разі згинання .....	26
14.1	Випробувальні зразки.....	26
14.2	Випробувальна установка та прилади.....	26
14.3	Метод випробування .....	27
14.4	Обчислення .....	27
14.5	Протокол випробування .....	27
15	Метод випробування коефіцієнта поздовжнього об'ємного теплового розширення за допомогою термомеханічного аналізу .....	28

15.1	Випробувальні зразки.....	28
15.2	Випробувальний прилад .....	29
15.3	Метод випробування .....	29
15.4	Обчислення .....	29
15.5	Протокол випробування .....	29
Додаток НА (довідковий) Перелік національних стандартів України, ідентичних європейським нормативним документам, посилання на які є в цьому стандарті .....		30

## НАЦІОНАЛЬНИЙ ВСТУП

Цей національний стандарт ДСТУ ISO 10406-1:2021 (ISO 10406-1:2015, IDT) «Арматура композитна. Методи випробування. Частина 1. Стрижні та решітки», прийнятий методом перекладу, — ідентичний щодо ISO 10406-1:2015 (версія en) «Fibre-reinforced polymer (FRP) reinforcement of concrete — Test methods — Part 1: FRP bars and grids».

Технічний комітет стандартизації, відповідальний за цей стандарт в Україні, — ТК 303 «Будівельні конструкції».

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

До стандарту внесено такі редакційні зміни:

- назву стандарту змінено згідно з вимогами національної стандартизації України;
  - слова «цей документ», «ця частина ISO 10406» замінено на «цей стандарт»;
  - структурні елементи стандарту: «Титульний аркуш», «Передмову», «Національний вступ», першу сторінку, «Терміни та визначення понять» і «Бібліографічні дані» — оформлено згідно з вимогами національної стандартизації України.
  - зі «Вступу» до ISO 10406-1:2015 у цей стандарт внесено все, що безпосередньо стосується цього стандарту;
  - у розділі «Нормативні посилання» наведено «Національне пояснення», виділене рамкою;
  - визначення «з волоконно-армованого полімера (ВАП)» (у відмінках) замінено на аналогічне «з арматури композитної (АК)» (у відмінках); відповідно скорочення «ВАП» замінено на «АК»;
  - термін «модуль Юнга» замінено на прийнятий в нормативній документації України відповідний термін «модуль пружності»;
  - скорочення «LVDT» доповнено його поясненням «(диференційний трансформатор для вимірювання лінійних переміщень)»;
  - загальну вимогу «Для теплих країн» замінено на конкретну для кліматичних умов України — «За жаркої погоди»;
  - додано довідковий додаток НА (Перелік національних стандартів України, ідентичних європейським нормативним документам, посилання на які є в цьому стандарті).
- Копії нормативних документів, посилання на які є в цьому стандарті, можна отримати в Національному фонді нормативних документів.

НАЦІОНАЛЬНИЙ СТАНДАРТ УКРАЇНИ

**АРМАТУРА КОМПОЗИТНА**

**Методи випробування  
Частина 1. Стрижні та решітки**

COMPOSITE FITTINGS

Test methods  
Part 1. Bars and grids

Чинний від 2021-05-01

**1 СФЕРА ЗАСТОСУВАННЯ**

Цей стандарт визначає методи випробування, застосовані до стрижнів і решіток з арматури композитної (АК) як арматури чи попередньо напружених пучків у бетоні.

**2 НОРМАТИВНІ ПОСИЛАННЯ**

Наведені нижче нормативні документи частково чи повністю необхідні для застосування цього стандарту. У разі датованих посилань застосовують тільки наведені видання. У разі недатованих посилань потрібно користуватись останнім виданням нормативного документа (разом зі змінами).

ISO 291:2008 Plastics — Standard atmospheres for conditioning and testing

ISO 3611 Geometrical product specifications (GPS) — Dimensional measuring equipment: Micrometers for external measurements — Design and metrological characteristics

ISO 4788 Laboratory glassware — Graduated measuring cylinders

ISO 7500-1 Metallic materials — Verification of static uniaxial testing machines — Part 1: Tension/compression testing machines — Verification and calibration of the force-measuring system

ISO 13385-1 Geometrical product specifications (GPS) — Dimensional measuring equipment — Part 1: Callipers; Design and metrological characteristics.

**НАЦІОНАЛЬНЕ ПОЯСНЕННЯ**

ISO 291:2008 Пластмаси. Стандартні атмосфери для кондиціонування та випробування

ISO 3611 Технічні вимоги до геометричної продукції. Устаткування для вимірювання розмірів: мікрометри для зовнішніх вимірювань. Конструкція та метрологічні характеристики

ISO 4788 Посуд скляний лабораторний. Мірні градуйовані циліндри

ISO 7500-1 Матеріали металеві. Перевіряння випробувальних установок для прикладання статичної одновісної навантаги. Частина 1. Установки для випробування на розтяг/стиск. Перевіряння та калібрування системи вимірювання навантаги

ISO 13385-1 Технічні вимоги до геометричної продукції. Устаткування для вимірювання розмірів. Частина 1. Штангенциркулі. Конструкційні та метрологічні характеристики.

**3 ТЕРМІНИ, ВИЗНАЧЕННЯ ТА ПОЗНАКИ**

**3.1 Терміни та визначення понять**

У цьому стандарті вжито такі терміни та визначення понять.

### 3.1.1 лужність (*alkalinity*)

Стан наявності чи вмісту гідроксильних (ОН-) іонів; вміст лужних речовин.

Примітка 1. У бетоні рН вихідного лужного середовища вище ніж 13.

### 3.1.2 армування анкерних кріплень (*anchorage reinforcement*)

Решітчаста чи спіральна армувальна сталь чи АК, з'єднані з анкерними кріпленнями та розташовані за ними

### 3.1.3 анкерна ділянка (*anchoring section*)

Кінцева частина випробувального зразка, де встановлюють анкерні кріплення для передавання навантажень від випробувальної установки до випробувальної ділянки

### 3.1.4 середня навантага (*average load*)

Середнє значення максимальної та мінімальної повторної [навантаги] [напруги]

### 3.1.5 кут вигину (*bending angle*)

Кут, утворений прямими ділянками випробувального зразка з обох боків напрямної

### 3.1.6 коефіцієнт діаметра вигину (*bending diameter ratio*)

Відношення зовнішнього діаметра поверхні напрямної, що контактує зі стрижнем АК, та номінального діаметра стрижня АК

### 3.1.7 границя міцності на розтяг у разі вигину (*bending tensile capacity*)

Навантага на розтяг у момент руйнування випробувального зразка

### 3.1.8 коефіцієнт об'ємного теплового розширення (*coefficient of thermal expansion*)

Середній коефіцієнт лінійного теплового розширення між заданими температурами.

Примітка 1. Середнє значення зазначених температур приймають за репрезентативну температуру

### 3.1.9 безперервне волокно (*continuous fibre*)

Загальний термін для безперервних волокон таких матеріалів, як вуглець, арамід та скло

### 3.1.10 хомут (*coupler*)

Пристрій для з'єднання пучків

### 3.1.11 максимальна навантага руйнування за повзучості (*creep failure capacity*)

Навантага, що спричиняє руйнування через визначений проміжок часу від початку прикладання.

Примітка 1. Зокрема навантагу, що спричиняє руйнування через 1 млн год, називають межею руйнування за повзучості через мільйон годин

### 3.1.12 границя міцності за повзучості (*creep failure strength*)

Напруга, що спричиняє руйнування через визначений проміжок часу від початку прикладання.

Примітка 1. Зокрема навантагу, що спричиняє руйнування через 1 млн год, називають межею міцності за повзучості через мільйон годин

### 3.1.13 час руйнування за повзучості (*creep failure time*)

Час між початком прикладання навантаги та руйнуванням випробувального зразка

### 3.1.14 руйнування за повзучості (*creep failure*)

Руйнування випробувального зразка через прикладену навантагу

### 3.1.15 деформація за повзучості (*creep strain*)

Диференціальна зміна довжини на одиницю, що виникає у випробувальному зразку через повзучість

### 3.1.16 повзучість (*creep*)

Залежна від часу деформація стрижня АК, що зазнає стійкої навантаги за постійної температури

### 3.1.17 викривлена ділянка (*deflected section*)

Зігнута ділянка стрижня АК, для якої підтримується необхідне співвідношення кута та діаметра вигину

### 3.1.18 напрямна (*deflector*)

Пристрій, що його використовують для підтримки положення, зміни кута вигину чи зменшення концентрації напруги у стрижні АК, який інколи встановлюють у викривлену ділянку

### 3.1.19 опір втомі (*fatigue strength*)

Максимальна повторна напруга, за якої випробувальний зразок не руйнується через встановлену кількість циклів

**3.1.20 волоконно-армований полімер; ВАП; арматура композитна; АК** (*fibre-reinforced polymer, FRP*)

Композитний матеріал, сформований і затверділий у певній формі, що складається з безперервних волокон, просочених полімером, що зв'язує волокна

**3.1.21 частота** (*frequency*)

Кількість циклів [навантажень] [напружень] за 1 с під час випробовування

**3.1.22 стрижень з ВАП; стрижень АК** (*FRP bar*)

Композитний матеріал, сформований у довгу тонку структурну форму, придатну для використання в якості армування бетону, та складається переважно з поздовжніх однонаправлених волокон, зв'язаних і сформованих із жорсткої полімерної смоли

**3.1.23 розрахункова довжина** (*gauge length*)

Пряма частина по довжині випробувального зразка, яку використовують для вимірювання подовження за допомогою екстензометра чи подібного пристрою

**3.1.24 решітка** (*grid*)

Двовимірний (площинний) або тривимірний (просторовий) жорсткий масив взаємопов'язаних стрижнів АК, які утворюють суцільну решітку, яка може бути використана для армування бетону

**3.1.25 амплітуда [навантаги] [напруги]** (*load amplitude, load (stress) amplitude*)

Половина діапазону [навантаг] [напруг]

**3.1.26 діапазон [навантаг] [напруг]** (*load (stress) rang*)

Різниця між максимальною та мінімальною повторними [навантагами] [напругами]

**3.1.27 максимальна повторна [навантага] [напруга]** (*maximum repeated load (stress)*)

Максимальна [навантага] [напруга] за повторної навантаги

**3.1.28 максимальне зусилля розтягу** (*maximum tensile force*)

Максимальна навантага на розтяг, яку витримує випробувальний зразок під час випробовування на розтяг

**3.1.29 мінімальна повторна [навантага] [напруга]** (*minimum repeated load (stress)*)

Мінімальна [навантага] [напруга] за повторної навантаги

**3.1.30 номінальна площа поперечного перерізу** (*nominal cross-sectional area*)

Значення, отримане під час ділення об'єму зразка АК на його довжину

**3.1.31 номінальний діаметр** (*nominal diameter*)

Діаметр АК, обчислений з урахуванням круглого перерізу

**3.1.32 номінальна довжина по периферії** (*nominal peripheral length*)

Периферійна довжина АК, яка є основою для обчислення міцності зчеплення, яку потрібно визначати окремо для кожної АК

**3.1.33 кількість циклів** (*number of cycles*)

Кількість разів, коли повторну [навантагу] [напругу] застосовують до випробувального зразка

**3.1.34 релаксація (напруг)** (*relaxation, stress relaxation*)

Залежне від часу зниження навантаги в АК, яку утримують за заданої постійної температури з установленою початковою навантагою та утримують за заданої постійної напруги

**3.1.35 швидкість релаксації** (*relaxation rate*)

Відсоткове зменшення навантаги відносно початкової навантаги через певний проміжок часу за постійної напруги

**Примітка 1.** Зокрема, значення релаксації через 1 млн год (приблизно 114 років) називають сторічною швидкістю релаксації

**3.1.36 повторна [навантага] [напруга]** (*repeated load (stress)*)

[Навантага] [напруга], що циклічно чергується між фіксованими максимальними та мінімальними значеннями

**3.1.37 крива S—N** (*S-N curve*)

Крива, нанесена на графік з повторною напругою на вертикальній осі та кількістю циклів до руйнування через втому — на горизонтальній

**3.1.38 пучок АК (tendon, FRP)**

Конструкція, пов'язана смолою, виготовлена з безперервних волокон у формі пучків, використаних для одновісного армування бетону.

**Примітка 1.** Пучки зазвичай використовують у попередньо напруженому залізобетоні

**3.1.39 термомеханічний аналіз; ТМА (thermo-mechanical analysis, TMA)**

Спосіб вимірювання деформації матеріалу як функції або температури, або часу, зі зміною температури матеріалу відповідно до каліброваної програми за невібраційного навантаження

**3.1.40 крива ТМА (TMA curve)**

ТМА-графік з температурою або часом на горизонтальній осі та деформацією на вертикальній

**3.1.41 гранична деформація (ultimate strain)**

Деформація, що відповідає максимальному зусиллю розтягу

**3.2 Позначки**

Див. таблицю 1.

**Таблиця 1** — Позначки

Позначки	Одиниця виміру	Опис	Посилання
$A$	мм <sup>2</sup>	Номінальна площа поперечного перерізу випробувального зразка	5.3, 6.4
$D$	мм	Номінальний діаметр	5.3
$E$	Н/мм <sup>2</sup>	Модуль пружності	6.4
$F_u$	Н	Максимальне зусилля розтягу	6.4
$f_u$	Н/мм <sup>2</sup>	Міцність на розтяг	6.4
$\epsilon_u$	—	Гранична деформація	6.4
$\Delta F$	Н	Різниця між навантагами за 20 % та 50 % максимального зусилля розтягу	6.4
$\Delta \epsilon$	—	Різниця деформацій між $\Delta F$	6.4
$\tau$	Н/мм <sup>2</sup>	Напруга зчеплення	7.4
$P$	Н	Навантага на розтяг під час випробовування висмикуванням	7.4
$u$	мм	Номінальна довжина випробувального зразка по периферії	7.4
$l$	мм	Довжина зони зчеплення	7.4
$Y$	%	Швидкість релаксації	9.5.2
$t$	год	Час	9.5.2
$k_a$	—	Емпірична константа	9.5.2
$k_b$	—	Емпірична константа	9.5.2
$R_{\Delta m}$	%	Коефіцієнт втрати маси	
$V_0$	мм <sup>3</sup>	Об'єм води у вимірювальному циліндрі	5.3
$V_s$	мм <sup>3</sup>	Загальний об'єм води та випробувального зразка	5.3
$l_0$	мм	Довжина випробувального зразка	5.3
$m_0$	г	Маса перед зануренням	11.4
$L_0$	мм	Довжина перед зануренням	11.4
$m_1$	г	Маса після занурення	11.4
$L_1$	мм	Довжина після занурення	11.4
$R_{et}$	%	Коефіцієнт збереження міцності на розтяг	11.5.2

Кінець таблиці 1

Позначки	Одиниця виміру	Опис	Посилання
$F_{u1}$	Н	Границя міцності на розтяг перед зануренням	11.5.2
$F_{u0}$	Н	Границя міцності на розтяг після занурення	11.5.2
$R_{Yc}$	—	Коефіцієнт навантаги через повзучість	12.6.3
$\tau_s$	Н/мм <sup>2</sup>	Напруження зсуву	13.5.2
$P_s$	Н	Навантага зсуву	13.5.2
$\alpha_{sp}$	1/°C	Коефіцієнт об'ємного теплового розширення	15.4.1
$\Delta L_{spm}$	мкм	Різниця в довжині випробувального зразка між температурами $T_1$ та $T_2$	15.4.1
$\Delta L_{refm}$	мкм	Різниця в довжині випробувального зразка для калібрування довжини між температурами $T_1$ та $T_2$	15.4.1
$L_0$	м	Довжина випробувального зразка за кімнатної температури	15.4.1
$T_2$	°C	Максимальна температура для обчислення коефіцієнта об'ємного теплового розширення (зазвичай 60 °C)	15.4.1
$T_1$	°C	Мінімальна температура для обчислення коефіцієнта об'ємного теплового розширення (зазвичай 0 °C)	15.4.1
$\alpha_{set}$	1/°C	Коефіцієнт об'ємного теплового розширення, обчислений для випробувального зразка специфікації для калібрування довжини між температурами $T_1$ та $T_2$	15.4.1

## 4 ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ ЩОДО ВИПРОБУВАЛЬНИХ ЗРАЗКІВ

Якщо не зазначено іншого, випробувальні зразки потрібно брати зі стрижня чи решітки у стані поставки. Якщо випробувальні зразки взято з котушки, їх треба випрямити перед будь-яким випробуванням простим згинанням з мінімальною кількістю пластичної деформації.

Для визначення механічних властивостей у випробуваннях на розтяг, зчеплення та анкерне кріплення, випробувальний зразок може бути штучно зістарений (після випрямлення, за можливості) залежно від вимог до характеристик виробу.

Якщо випробувальний зразок «зістарюють», умови старіння має бути зазначено в протоколі випробування.

## 5 МЕТОД ВИПРОБУВАННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ В ПОПЕРЕЧНОМУ ПЕРЕРІЗІ

### 5.1 Випробувальні зразки

#### 5.1.1 Підготування випробувальних зразків

Випробувальні зразки розрізають на заздалегідь задану довжину та обробляють, доки кінець, відрізаний від вихідного матеріалу (АК) для випробування на розтяг, не стане пласким.

#### 5.1.2 Довжина випробувальних зразків

Довжина випробувальних зразків має становити 100 мм, якщо приблизний номінальний діаметр становить 20 мм або менше, і має бути 200 мм, якщо приблизний діаметр перевищує 20 мм.

#### 5.1.3 Кількість випробувальних зразків

Випробувальних зразків має бути не менше трьох, взятих з материнського матеріалу з однієї партії.

### 5.2 Метод випробування

Процедуру випробування викладено нижче.

а) Виміряти довжину випробувального зразка, використовуючи штангенциркулі згідно з ISO 13385-1. Виміряти частину та зафіксувати результат у трьох точках; округлити три усереднених значення на один знак після десяткової коми. Взяти це як довжину випробувального зразка.

б) Виміряти об'єм випробувального зразка, використовуючи вимірювальний циліндр згідно з ISO 4788:2005, типу 1a чи 1b (клас А чи клас В), відповідно до приблизного діаметра випробувального

зразка. У таблиці 2 показано залежність між приблизним діаметром випробувального зразка та місткістю вимірювального циліндра. Якщо зазначено дві місткості, вибрати циліндр меншої місткості для цього діапазону.

с) Додати відповідну кількість води у вимірювальний циліндр і виміряти об'єм. Коли випробувальний зразок перебуває у вимірювальному циліндрі, вода має покривати випробувальний зразок, а верхня частина води має перебувати в границях шкали.

**Примітка.** Якщо на поверхні випробувального зразка утворюються бульбашки повітря, що може спричинити помилку вимірювання, у воду можна додати розчинник, що зменшує натяг поверхні, наприклад етанол, для контролю над утворенням бульбашок повітря.

д) Вставити випробувальний зразок у мірний циліндр і виміряти загальний об'єм води та випробувального зразка.

е) Температура випробування має бути в границях від 15 °С до 25 °С. Діапазон температур від 20 °С до 30 °С застосовують за жаркої погоди.

**Таблиця 2** — Залежність між приблизним діаметром випробувального зразка та місткістю вимірювального циліндра

Приблизний діаметр випробувального зразка, мм	Місткість вимірювального циліндра, мл
До 10	10 або 20
Від 11 до 13	25
Від 14 до 20	50 або 100
Від 21 до 25	100
Понад 25	300 або 500

### 5.3 Обчислення

Обчислити номінальну площу поперечного перерізу випробувального зразка  $A$  за формулою (1) та округлити до одного знака після десяткової коми:

$$A = \frac{V_s - V_0}{l_0}, \quad (1)$$

де  $V_s$  — загальний об'єм води та випробувального зразка, мм<sup>3</sup>;

$V_0$  — об'єм води у вимірювальному циліндрі, мм<sup>3</sup>;

$l_0$  — довжина випробувального зразка, мм.

**Примітка.** Номінальна площа поперечного перерізу охоплює площу поверхнево зчеплених частинок піску, поверхнево зчеплених поперечних матеріалів та інших ділянок без навантаг.

Обчислити номінальний діаметр  $D$  за формулою (2) та округлити до одного знака після десяткової коми:

$$D = 2\sqrt{\frac{A}{\pi}}, \quad (2)$$

де  $A$  — номінальна площа поперечного перерізу, мм<sup>2</sup>.

### 5.4 Протокол випробування

#### 5.4.1 Обов'язкова інформація

Протокол випробування містить такі пункти:

- дата випробування;
- назва, форма, дата виготовлення та номер партії випробуваної АК;
- номінальна площа поперечного перерізу;
- номінальний діаметр.

#### 5.4.2 Додаткова інформація

Протокол випробування може містити такі додаткові пункти:

- місткість вимірювального циліндра, використаного під час випробування;

- b) довжина випробувального зразка;
- c) об'єм води у вимірювальному циліндрі;
- d) загальний об'єм води та випробувального зразка;
- e) назва розчинника, якщо у випробуванні використовують будь-який розчинник.

## 6 МЕТОД ВИПРОБУВАННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПІД ЧАС РОЗТЯГУ

### 6.1 Випробувальні зразки

#### 6.1.1 Підготування випробувальних зразків

Розрізати випробувальні зразки до заданої довжини відповідно до 6.1.2 так, щоб не впливати на характеристики частини для випробування. Для решіток з АК можна виготовити лінійні випробувальні зразки, відрізвавши сторонні частини. Не рекомендують залишати виступ поперечини 2 мм.

#### 6.1.2 Довжина випробувальних зразків

Довжину випробувальних зразків приймають як суму довжини випробувальної ділянки та анкерної ділянки (див. рисунок 1).

Довжину випробувальної ділянки приймають такою.

- a) Для стрижнів довжина має бути не менше ніж 300 мм і не менше ніж у 40 разів перевищувати номінальний діаметр.
- b) Для пучків довжина має відповідати положенню 6.1.2, а) та бути не менше 2-кратного кроку пучка.
- c) Для решіток довжина має відповідати положенню 6.1.2, а) та містити не менше трьох поперечних точок.

#### 6.1.3 Зберігання випробувальних зразків

Треба зберігати випробувальні зразки обережно та захищати їх від деформацій, нагрівання та впливу ультрафіолетового світла, що може спричинити зміни властивостей матеріалу випробувальних зразків.

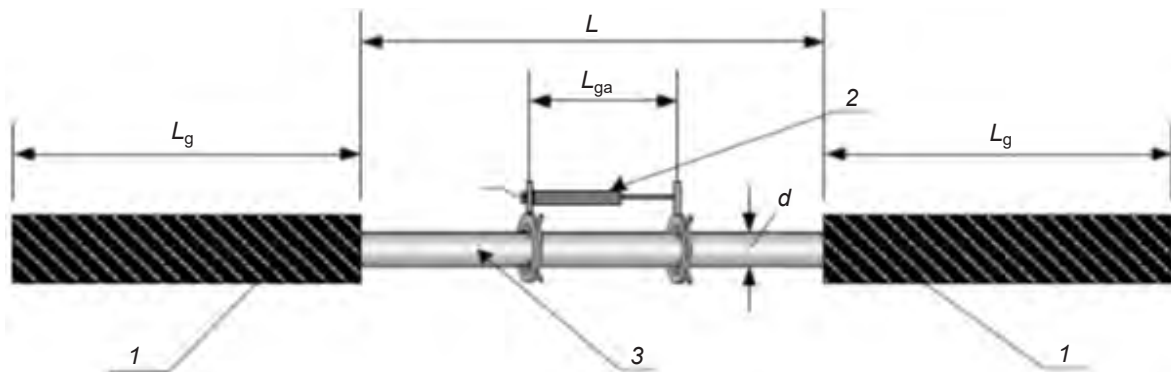
#### 6.1.4 Кількість випробувальних зразків

Загальна кількість випробувальних зразків повинна бути не менше ніж п'ять.

### 6.2 Випробувальне обладнання

#### 6.2.1 Випробувальна установка

Установка для випробування має відповідати вимогам, що їх пред'являють до установки для випробування на розтяг згідно з ISO 7500-1.



$$L_{tot} = L + 2L_g$$

Довжина випробувальної ділянки  $L$

- стрижень:  $L \geq 300$  мм,  $40 d$ ;
- пучок:  $L \geq 300$  мм,  $40 d$ , 2 кроки пучка;
- решітка:  $L \geq 300$  мм,  $40 d$ , 3 точки перетину.

Розрахункова довжина  $L_{ga}$

- стрижень, решітка:  $L_{ga} \geq 100$  мм,  $8 d$ ;
- пучок:  $L_{ga} \geq 100$  мм,  $8 d$ , крок пучка.

Умовні позначки:

- 1 — анкерна ділянка;
- 2 — екстензометр;
- 3 — випробувальна ділянка.

Рисунок 1 — Випробувальний зразок для випробування на розтяг

### 6.2.2 Анкерні кріплення

Анкерне кріплення має відповідати геометрії випробувальних зразків і мати здатність передавати лише зусилля на розтяг уздовж поздовжньої осі зразків.

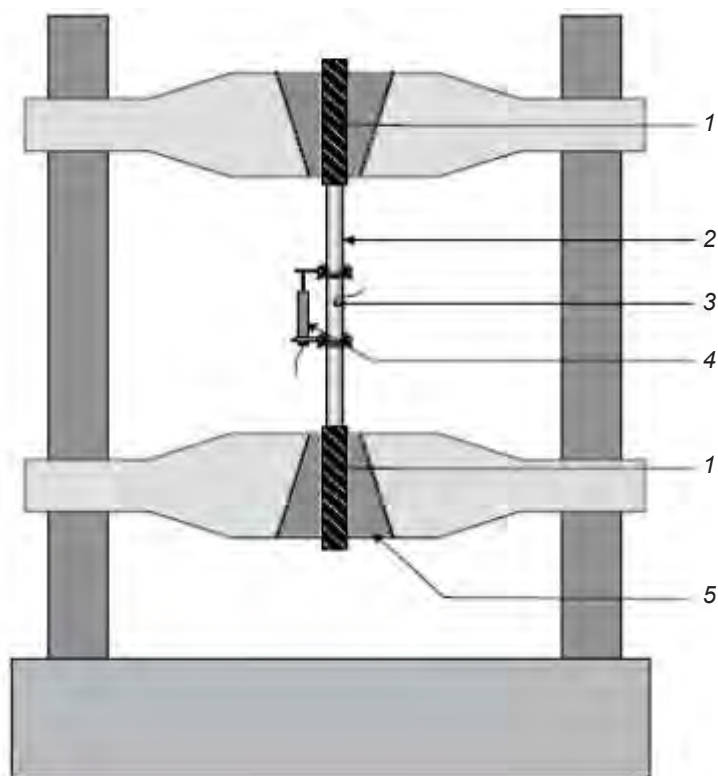
### 6.2.3 Екстензометр та тензодатчики

Екстензометр та тензодатчики, що їх використовують для вимірювання подовження випробувального зразка під навантагою, мають бути здатні фіксувати зміни розрахункової довжини чи подовження під час випробування з точністю не менше ніж  $10^{-5}$ . Розрахункова довжина екстензометра має бути не менше ніж 100 мм і не менше ніж у 8 разів перевищувати номінальний діаметр стрижня АК. Для пучків стрижнів, крім зазначеного вище положення, розрахункова довжина не повинна бути меншою, ніж крок пучка (див. рисунок 1). У системах, що мають зовнішню оболонку без зчеплення, треба переконатися, що екстензометр вимірює деформацію в основному волокні, а не на оболонці.

## 6.3 Метод випробування

### 6.3.1 Установлення випробувального зразка

Установити випробувальний зразок на випробувальну установку так, щоб передавалася лише осьова навантага (див. рисунок 2).



- Умовні позначки:  
 1 — анкерна ділянка;  
 2 — стрижень АК;  
 3 — тензометричний датчик;  
 4 — екстензометр;  
 5 — анкерні пристрої.

Рисунок 2 — Схема випробування на розтяг

### 6.3.2 Монтування екстензометра

Установити екстензометр по осі центральної частини випробувального зразка.

### 6.3.3 Метод навантаження

Виконувати навантаження відповідно до таких вимог.

а) Прикладати навантагу з постійною швидкістю без впливу на випробувальний зразок. Швидкість навантаження має бути від 0,5 % до 1,5 % деформації за хвилину. Час випробування не повинен перевищувати 5 хв.

- б) Виміряти деформацію не менше ніж у 10 розташованих на однаковій відстані точках навантаг до приблизно двох третин максимального зусилля розтягу.  
 в) Зафіксувати максимальне зусилля розтягу з точністю до трьох значущих цифр.

#### 6.3.4 Температура випробування

Температура випробування має бути в границях від 5 °С до 35 °С.

### 6.4 Обчислення

#### 6.4.1 Загальна інформація

Зазвичай використовують усі результати, крім випадків, коли місце розташування руйнування перебуває в границях анкерного кріплення. Однак, якщо часто виявляється, що місце руйнування розташовано на анкерному кріпленні, результати руйнування може бути долучено. У випадках, коли результат (у перерахунку на максимальне розтяжне зусилля) відхиляється на 10 % чи більше від середнього значення, цей результат ігнорують і використовують лише чотири результати, що залишилися. У таких випадках, якщо один результат відхиляється на 10 % чи більше від середнього значення, обчисленого за допомогою чотирьох результатів, усі результати відхиляють, і проводять нове випробування. Відхилені результати випробувань не потрібно використовувати для обчислення жорсткості на розтягування, модуля пружності або граничної деформації.

Середнє значення  $\bar{x}$  відхилу  $\Delta x_i$  та стандартний відхил  $\sigma$  визначають за формулами (3)—(5) відповідно:

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i, \quad (3)$$

$$\Delta x_i = x_i - \bar{x}, \quad (4)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum (x_i - \bar{x})^2}, \quad (5)$$

де  $N$  — кількість випробувальних зразків;  
 $x_i$  — дані вибірки.

#### 6.4.2 Площа поперечного перерізу

Площа поперечного перерізу — це номінальна площа поперечного перерізу, обчислена відповідно до розділу 5. Якщо про стандартну площу поперечного перерізу повідомляє виробник АК, як площу поперечного перерізу можна використовувати стандартну площу поперечного перерізу. До значень стандартної площі поперечного перерізу необхідно долучити номінальну площу поперечного перерізу, ефективну площину волокна, площу полімеру та міцність волокна.

#### 6.4.3 Міцність на розтяг

Обчислити міцність на розрив  $f_u$ , виражену у ньютонах на квадратний міліметр, з точністю до трьох значущих цифр, використовуючи формулу (6):

$$f_u = F_u / A, \quad (6)$$

де  $F_u$  — максимальне зусилля розтягу, Н;  
 $A$  — площа поперечного перерізу, мм<sup>2</sup>.

#### 6.4.4 Жорсткість під час розтягу та модуль пружності

Обчислити жорсткість під час розтягу  $E_A$ , виражену у ньютонах, та модулі пружності  $E$ , виражені у ньютонах на квадратний міліметр, обидва з точністю до трьох значущих цифр за формулами (7) та (8). Їх потрібно обчислювати з різниці між кривою навантаги (напруги)—деформації, отриманої від рівня навантаг за 20 % та 50 % міцності на розтяг. Для матеріалів, де задана гарантована міцність на розтяг, можна використовувати значення 20 % та 50 % гарантованої міцності на розтяг.

$$E_A = \frac{\Delta F}{\Delta \varepsilon}, \quad (7)$$

$$E = \frac{\Delta F}{\Delta \varepsilon \cdot A}, \quad (8)$$

де  $\Delta F$  — різниця між навантагами на 20 % та 50 % максимального розтяжного зусилля, Н;  
 $\Delta \varepsilon$  — різниця деформацій для  $\Delta F$ .

#### 6.4.5 Гранична деформація

Гранична деформація — це деформація, що відповідає граничній міцності на розтяг, коли вимірювання тензодатчиків випробувального зразка доступні до руйнування. Якщо вимірювання екстензометра чи тензометричного датчика недоступні до руйнування, граничну деформацію  $\varepsilon_u$  обчислюють з точністю до трьох значущих цифр за формулою (9):

$$\varepsilon_u = \frac{F_u}{E \cdot A}, \quad (9)$$

### 6.5 Протокол випробування

#### 6.5.1 Обов'язкова інформація

Протокол випробування містить такі пункти:

- a) назва, форма, дата виготовлення та номер партії випробуваної АК;
- b) тип волокна та полімер, що зчіплює волокно;
- c) номери чи ідентифікаційні знаки випробуваних зразків;
- d) позначка, номінальна площа поперечного перерізу та діаметр;
- e) дата випробування, температура, швидкість навантаження;
- f) метод обчислення;
- g) середній та стандартний відхили максимального зусилля розтягу (міцності) та максимального зусилля розтягу (міцності) для кожного випробуваного зразка;
- h) жорсткість на розтяг та модулі пружності для кожного випробуваного зразка та середній показник;
- i) середня гранична деформація та гранична деформація для кожного випробуваного зразка;
- j) крива напруга—деформації для кожного випробуваного зразка;
- k) режим руйнування для кожного випробуваного зразка;
- l) прізвище особи, відповідальної за проведення випробування.

#### 6.5.2 Додаткова інформація

Якщо як площу поперечного перерізу використовують стандартну площу поперечного перерізу, можна додати таке:

- a) стандартна площа поперечного перерізу, діаметр та передбачувана площа полімеру;
- b) середній та стандартний відхили максимальної міцності на розтяг та максимальної міцності на розтяг для кожного випробуваного зразка;
- c) модуль пружності для кожного випробуваного зразка та середній показник;
- d) крива напруга—деформації для кожного випробуваного зразка;
- e) міцність волокна.

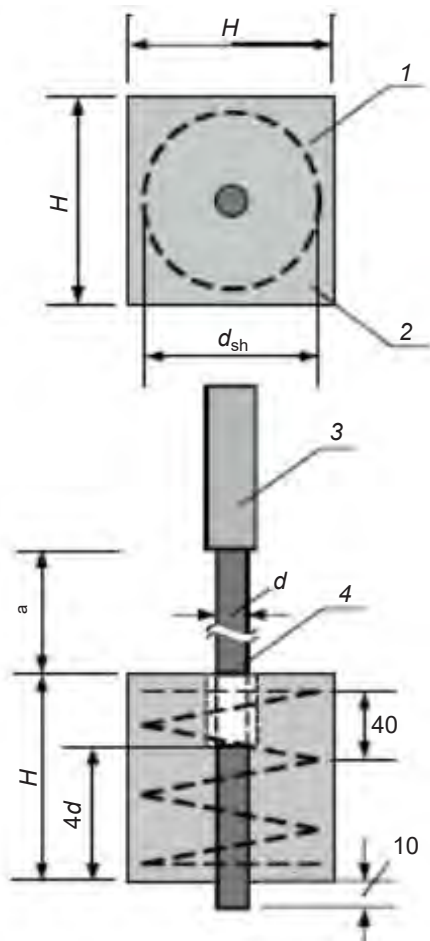
## 7 МЕТОД ВИПРОБУВАННЯ МІЦНОСТІ ЗЧЕПЛЕННЯ НА ВИСМИКУВАННЯ

### 7.1 Випробувальні зразки

Застосовують положення 6.1.

#### 7.1.1 Виготовлення випробувальних зразків

Випробувальні зразки зазвичай мають форму куба з одним стрижнем з АК, вставленим вертикально вздовж центральної осі (див. рисунок 3). Довжина зчеплення стрижня АК — це типовий переріз поверхні стрижня АК, розташований на вільному боці випробувальних зразків. Довжина зчеплення стрижня АК має бути в чотири рази більше діаметра стрижня АК. Щоб вирівняти напругу від навантажувальної плити на навантажуваний бік, вставлений стрижень поза зоною зчеплення покривають ПВХ або іншим відповідним матеріалом для запобігання зчепленню.



Розміри в мм		
$D$	$H$	$d_{sh}$
<17	100	$80 \leq d_{sh} \leq 100$
Від 17 до 30	150	$120 \leq d_{sh} \leq 150$

Умовні позначки:

1 — спіральна арматура  $\varphi = 6$ ;

2 — бетонний зразок;

3 — анкерна ділянка;

4 — стрижень АК.

<sup>a</sup> Щонайменше 300 мм та 40  $d$ .

Рисунок 3 — Випробувальний зразок для випробування на зчеплення (випробування висмикуванням)

### 7.1.2 Розміри випробувальних зразків

Визначити розміри випробувальних зразків як функцію від номінального діаметра стрижнів АК, як показано в таблиці 3 (див. також рисунок 3).

### 7.1.3 Розміри стрижнів АК

Залишити з вільного боку виступ стрижня АК приблизно на 10 мм та обробити торцевий бік для кріплення датчика з круглою шкалою тощо для вимірювання довжини витягування. Навантажуваний кінець стрижня АК має бути достатньо розтягнутий, що дає змогу проводити випробування на висмикування, і повинен мати анкерне кріплення, затискний пристрій або аналогічний пристрій, здатний передавати осьові навантаги на стрижень АК.

Таблиця 3 — Розміри випробувальних зразків

Номінальний діаметр АК, мм	Розмір куба <sup>a</sup> , мм	Довжина зони зчеплення	Зовнішній діаметр спіральної арматури $d_{sh}$ , мм
< 17	100 × 100 × 100	4-кратний номінальний	$80 \leq d_{sh} \leq 100$
Від 17 до 30	150 × 150 × 150	4-кратний номінальний	$120 \leq d_{sh} \leq 150$

<sup>a</sup> За потреби випробовувати стрижні діаметром більше ніж 30 мм, розмір бетонного куба може бути відповідно збільшено.

### 7.1.4 Установлення стрижнів АК

Розташувати стрижні АК на центральній осі випробувального зразка.

### 7.1.5 Спіральні арматури

Випробувальні зразки можуть мати спіральні арматури вздовж центральної осі для запобігання руйнуванню через розщеплення. Спіральні арматури мають діаметр 6 мм із кроком спіралі 40 мм.

Зовнішній діаметр спіральної арматури залежить від номінального діаметра стрижнів АК, як зазначено в таблиці 3. Кінці спіральних арматур мають бути зварені чи мати в 1,5 разу більше витків.

#### **7.1.6 Кількість випробувальних зразків**

Проводити випробування щонайменше на трьох випробувальних зразках. Якщо випробувальний зразок руйнується чи вислизає з місця кріплення, треба провести додаткове випробування на окремому випробувальному зразку, підготовленому за допомогою стрижнів АК з тієї самої партії, що й зруйнований випробувальний зразок.

#### **7.1.7 Якість бетону**

Зробити бетон на звичайних заповнювачах з крупнозернистими заповнювачами, що мають максимальний розмір 20 мм або 25 мм. Бетон повинен мати осадку конуса  $10 \text{ см} \pm 2 \text{ см}$  та 28-добову циліндричну міцність на стиск  $30 \text{ Н/мм}^2 \pm 3 \text{ Н/мм}^2$  для випробування на зчеплення.

#### **7.1.8 Закладання бетону**

- Очистити зону зчеплення стрижня АК та очистити його від жиру, бруду тощо.
- Перед тим, як укласти бетон, треба вжити відповідних заходів для запобігання зчепленню ділянок стрижня АК, що не передбачають зчеплення.
- Загерметизувати отвір у формі, через яку вставляють стрижень АК, щоб запобігти потраплянню води тощо, використовуючи масло, шпаклівку чи аналогічний матеріал.
- Після закладання бетону поверхню випробувального зразка вирівняти, знімаючи надлишки зверху, цей процес повторити ще раз приблизно через 2 год, щоб забезпечити отримання випробувального зразка належних розмірів.

#### **7.1.9 Видалення форм і затвердіння**

Видалити форми через два дні, після чого зберігати зразки у воді за температури  $20 \text{ }^\circ\text{C} \pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$  до часу випробування. За жаркої погоди застосовують температуру  $27 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ .

### **7.2 Випробувальна установка та прилади**

#### **7.2.1 Випробувальна установка**

Випробувальна установка для випробування висмикуванням має бути спроможна точно прикладати встановлену навантагу.

#### **7.2.2 Навантажувальна пластина**

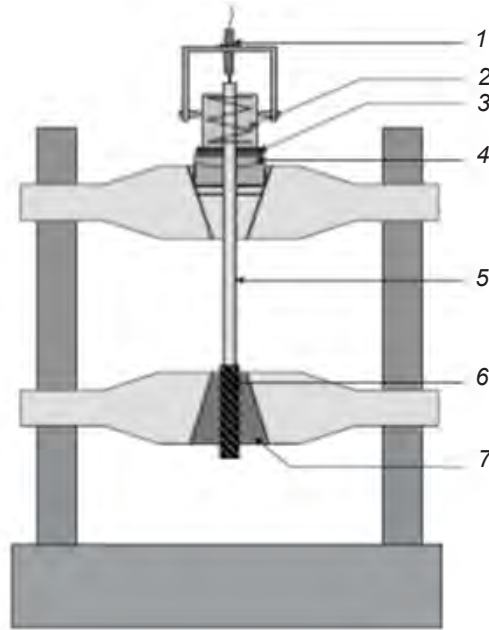
Навантажувальна пластина повинна мати отвір, через який проходить стрижень з АК. Діаметр отвору в навантажувальній пластині повинен бути у два-три рази більше діаметра стрижня АК.

#### **7.2.3 Анкерні кріплення**

Навантажувальний бік стрижня АК повинен мати анкерне кріплення, що може точно передавати навантагу доти, доки пучок не буде висмикнуто через розірвання зчеплення або через розщеплення чи розтріскування бетону. Пристрій передачі навантаги повинен передавати на стрижень АК лише осьові навантаги, не передаючи сили крутіння чи згинання.

#### **7.2.4 Вимірвальний пристрій переміщення**

Вимірвач переміщення, установлений на вільному кінці стрижня АК, має бути LVDT (диференційним трансформатором для вимірювання лінійних переміщень) або аналогічним пристроєм, що може давати показання з точністю 1/1 000 мм (див. рисунок 4).



Умовні позначки:

- 1 — LVDТ (диференційний трансформатор для вимірювання лінійних переміщень);
- 2 — бетонний зразок;
- 3 — навантажувальна пластина;
- 4 — сферична пластина;
- 5 — стрижень АК;
- 6 — анкерна ділянка;
- 7 — анкерний пристрій.

Рисунок 4 — Схема випробування на зчеплення (випробування висмикуванням)

### 7.3 Метод випробування

#### 7.3.1 Установлення випробувальних зразків

Установити випробувальний зразок правильно на навантажувальну пластину, під нею встановити сферичну пластину, щоб запобігти дії ексцентричних навантажень на випробувальні зразки (див. рисунок 4).

#### 7.3.2 Швидкість навантаження

Стандартна швидкість навантаження має бути такою, щоб середня напруга на розтяг стрижня АК збільшувалася зі швидкістю від  $10 \text{ Н/мм}^2/\text{хв}$  до  $20 \text{ Н/мм}^2/\text{хв}$ . Треба слідкувати за тим, щоб швидкість навантаження була максимально постійною, щоб не піддавати випробувальні зразки ударним навантагам.

#### 7.3.3 Обсяг випробувань

Зісковзування вільного кінця та прикладену навантагу реєструють із кроком, як показано в таблиці 4, доки стрижень АК не витягнуть з бетону чи навантага значно не зменшиться через розщеплення чи розтріскування бетону.

Таблиця 4 — Кроки вимірювань

Висмикування вільного кінця, мм	Крок вимірювання, мм
<0,1	0,01
0,1—0,2	0,02
0,2—0,5	0,05
>0,5	0,1

#### 7.3.4 Вік випробувальних зразків

Вік випробувальних зразків на момент випробування має становити 28 днів.

#### 7.4 Обчислення

Якщо вважають, що випробувальний зразок зазнав руйнування за розтягу на анкерній ділянці чи висковзнув з анкерної ділянки кріплення до того, як стрижень АК висковзне з бетону чи навантага значно зменшиться через розщеплення чи розтріскування бетону, відхилити дані й проводити додаткові випробування доти, доки кількість випробувальних зразків, що вислизать з бетону або зі значним зменшенням навантаги через розщеплення чи розтріскування бетону, не буде менше ніж три.

Обчислити напругу зчеплення  $\tau$ , виражену у ньютонах на квадратний міліметр, з точністю до трьох значущих цифр, використовуючи формулу (10), та побудувати криву для навантаги висмикування чи напругу зчеплення порівняно зі зміщенням ковзання для кожного випробувального зразка:

$$\tau = \frac{P}{u \cdot l}, \quad (10)$$

де  $P$  — навантага на розтяг у разі випробування висмикуванням, Н;  
 $u$  — номінальна довжина випробувального зразка по периферії, мм;  
 $l$  — довжина зони зчеплення, мм.

#### 7.5 Протокол випробування

Протокол випробування містить такі пункти:

- a) назва, форма, дата виготовлення та номер партії випробуваного АК;
- b) тип волокна та полімера, що зчіплює волокна, тип обробки поверхні волокон;
- c) номери або ідентифікаційні знаки випробувальних зразків;
- d) позначка, номінальна площа поперечного перерізу та діаметр;
- e) дата випробування, температура випробування, швидкість навантаження;
- f) розміри випробувальних зразків, довжина зони зчеплення стрижня АК;
- g) бетонна суміш, усадка та міцність на стискання під час випробування;
- h) середня й максимальна напруга зчеплення та режим руйнування для кожного випробуваного зразка;
- i) напруга зчеплення порівняно з кривою зміщення ковзання для кожного випробуваного зразка.

## 8 МЕТОД ВИПРОБУВАННЯ ХАРАКТЕРИСТИК АНКЕРНИХ КРІПЛЕНЬ ТА ХОМУТІВ

### 8.1 Метод випробування характеристик анкерних кріплень

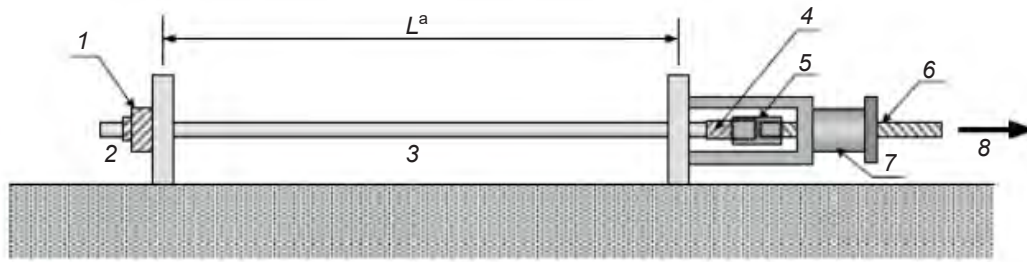
#### 8.1.1 Випробувальні зразки

##### 8.1.1.1 Підготування випробувальних зразків

Підготувати випробувальні зразки, установивши анкерне кріплення на один чи обидва кінці пучка АК.

##### 8.1.1.2 Розміри випробувальних зразків

Рекомендована довжина пучка АК між абатментами — 3 м (див. рисунок 5). Однак, якщо використовують коротші довжини, довжина пучка АК між анкерними кріпленнями має бути не менше ніж 300 мм і не менше ніж у 40 разів перевищувати номінальний діаметр.



Умовні позначки:

- 1 — анкерне кріплення (випробувальний зразок);
  - 2 — абатмент;
  - 3 — пучок АК;
  - 4 — анкерна ділянка;
  - 5 — хомут;
  - 6 — сталевий пучок у стані попередньої напруги;
  - 7 — тензометричний датчик;
  - 8 — зусилля.
- <sup>a</sup>  $L = 3,0$  м.

Рисунок 5 — Схема випробування характеристик анкерних кріплень (приклад)

### 8.1.1.3 Кількість випробувальних зразків

Проводити випробування щонайменше на трьох випробувальних зразках.

### 8.1.2 Температура випробування

Температура випробування зазвичай має бути в межах від 5 °С до 35 °С. За потреби проводити випробування зразків із пучків АК, чутливих до температури чи які використовують за високої температури, за фактичної температури експлуатації.

### 8.1.3 Метод випробування

#### 8.1.3.1 Установлення випробувального зразка

Установити випробувальні зразки з опорою на установці для випробування на розтяг. Визначити площу та геометрію поверхні, що підтримує анкерні кріплення, напругу в пучках АК та спосіб прикладання сил, що відображає реальні умови попередньо напруженої бетонної конструкції.

#### 8.1.3.2 Швидкість навантаження

Стандартна швидкість навантаження має бути постійною швидкістю деформації, еквівалентною 1 % деформації за хвилину  $\pm 0,5$  %.

#### 8.1.3.3 Обсяг випробування

Продовжувати навантаження аж до руйнування через розтягування, що визначають або руйнуванням пучка АК, або надмірною деформацією анкерного пристрою.

### 8.1.4 Обчислення

Обчислити міцність на розтяг для кожного випробуваного зразка та середню міцність на розтяг. Зафіксувати також режими руйнування, зазначаючи будь-які деформації, пошкодження, вигину тощо, анкерного кріплення.

## 8.2 Метод випробування характеристик хомутів

### 8.2.1 Випробувальні зразки

#### 8.2.1.1 Підготування випробувальних зразків

Підготувати випробувальні зразки, прикріпивши пучок АК або інші пучки до одного чи обох кінців хомута. Будь-які інші пучки та їхні хомути повинні мати достатню міцність відносно випробовуваних пучків АК.

#### 8.2.1.2 Розміри випробувальних зразків

Рекомендована довжина пучка з АК між абатментами — 3 м (див. рисунок 6). Однак, якщо використовують коротші довжини, довжина пучка АК між анкерними кріпленнями та хомутом має бути не менше ніж 300 мм і не менше ніж у 40 разів перевищувати номінальний діаметр.

#### 8.2.1.3 Кількість випробувальних зразків

Проводити випробування щонайменше на трьох випробувальних зразках.

### 8.2.2 Температура випробування

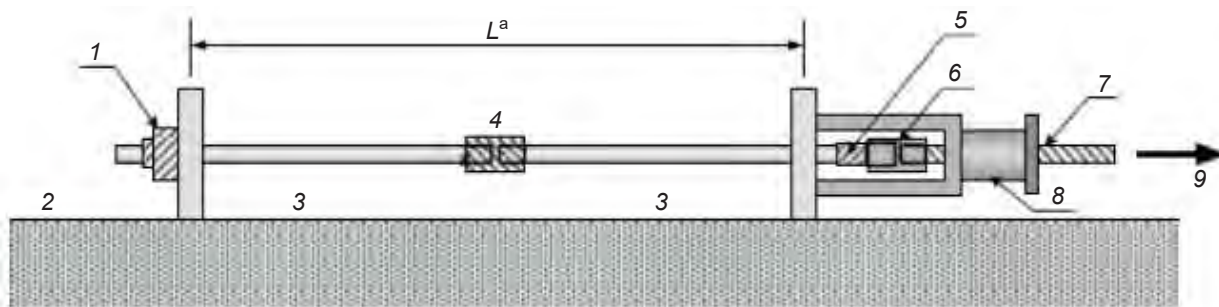
Температура випробування зазвичай має бути в границях від 5 °С до 35 °С. За потреби проводити випробування зразків із пучків АК, які чутливі до температури або їх використовують за високої температури, за фактичної температури експлуатації.

### 8.2.3 Метод випробування

Застосовують загальні положення 8.1.3.

### 8.2.4 Обчислення

Обчислити міцність на розтяг для кожного випробуваного зразка та середню міцність на розтяг. Зафіксувати також режими руйнування, зазначаючи будь-які деформації, пошкодження, вигину тощо, хомутів.



Умовні позначки:

1 — анкерні кріплення;

2 — абатмент;

3 — пучок АК;

4 — хомут (випробувальний);

5 — анкерна ділянка;

6 — хомут;

7 — сталевий пучок у стані попередньої напруги;

8 — тензометричний датчик;

9 — зусилля.

<sup>a</sup>  $L = 3,0$  м.

Рисунок 6 — Схема випробування характеристик хомутів (приклад)

## 8.3 Протокол випробування

Протокол випробування містить такі пункти:

- назва та номер партії випробуваної АК;
- тип волокна та матеріалу, що зчіплює волокна;
- номери або ідентифікаційні знаки випробуваних зразків;
- позначка, номінальна площа поперечного перерізу та діаметр;
- дата випробування, температура випробування, швидкість навантаження;
- розміри випробуваних зразків та опис анкерного кріплення;
- середня міцність руйнування на розтяг, міцність руйнування на розтяг та режим руйнування для кожного випробувального зразка;
- записи будь-яких деформацій, пошкоджень, вигинів тощо, анкерних кріплень і хомутів.

## 9 МЕТОД ВИПРОБУВАННЯ ТРИВАЛОЇ РЕЛАКСАЦІЇ

### 9.1 Випробувальні зразки

#### 9.1.1 Підготування, оброблення та розміри випробувальних зразків

Підготувати та обробити випробувальні зразки відповідно до положень розділу 6.

#### 9.1.2 Кількість випробувальних зразків

Проводити випробування щонайменше на трьох випробувальних зразках. Якщо випробувальний зразок руйнується чи вислизає з місця кріплення, проводити додаткове випробування на окремому випробувальному зразку з тієї самої партії, що й зруйнований випробувальний зразок.

### 9.2 Випробувальний стенд та прилади

#### 9.2.1 Випробувальний стенд та прилади

Випробувальний стенд та прилади мають бути здатні застосовувати стійку навантагу, зберігаючи постійну деформацію. Навантажувальний пристрій має бути здатний навантажувати з постійною швидкістю деформації, еквівалентною 1 % деформації за хвилину  $\pm 0,5$  %.

### 9.2.2 Анкерні кріплення

Анкерні кріплення мають відповідати положенням розділу 6.

### 9.2.3 Точність початкової навантаги

Точність початкової навантаги, прикладеної до випробувального зразка, має бути такою:

— випробувальний стенд та прилади з навантажувальною здатністю  $\leq 1$  кН:  $\pm 1,0$  % від заданої навантаги;

— випробувальний стенд та прилади з навантажувальною здатністю 1 кН:  $\pm 2,0$  % від заданої навантаги.

### 9.2.4 Точність вимірювання навантаги

Точність показань або автоматичної реєстрації навантаг, прикладених до випробувального зразка, має бути в межах 0,1 % від початкової навантаги.

### 9.2.5 Коливання деформації

Випробувальна установка має контролювати коливання деформації не більше ніж  $\pm 25 \times 10^{-6}$  у випробувальному зразку протягом усього випробувального періоду після того, як деформацію у випробувальному зразку було зафіксовано. Якщо АК висковзає з анкерної ділянки, відстань зісковзування потрібно компенсувати так, щоб не впливати на результати випробування.

### 9.2.6 Екстензометр та тензодатчик

Якщо на випробувальний зразок потрібно встановити екстензометр або тензодатчик, то екстензометр або тензодатчик повинні відповідати положенням розділу 6.

### 9.2.7 Вимірювання часу

Проміжок часу під час випробування вимірюють відповідним обладнанням (таймером тощо) з точністю в межах 1 % від часу, що минув.

## 9.3 Температура випробування

Температура випробування зазвичай має бути в межах  $20 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ , крім особливих обставин. За жаркої погоди застосовують температуру  $27 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ . Якщо температура значно впливає на результати випробувань, додаткові випробування треба проводити за температури  $0 \text{ }^\circ\text{C}$  та  $60 \text{ }^\circ\text{C}$ . У будь-якому разі коливання температури протягом періоду випробування має бути не більше ніж  $\pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ .

## 9.4 Метод випробування

### 9.4.1 Встановлення випробувального зразка та розрахункова довжина

Порядок встановлення випробувальних зразків і розрахункова довжина мають відповідати положенням розділу 6.

### 9.4.2 Попередній розтяг

Якщо для випробувального зразка використовують тензодатчик, зразок треба розтягнути, приклавши навантагу від 10 % до 40 % від встановленої початкової навантаги перед фіксацією та калібруванням тензодатчика.

### 9.4.3 Початкова навантага

Початкова навантага — це очікувана навантага під час передавання. Якщо ця навантага невідома, рекомендована початкова навантага має становити 70 % від гарантованої міцності на розтяг.

### 9.4.4 Прикладання початкової навантаги

а) Початкову навантагу прикладають так, щоб випробувальний зразок не зазнав ударів або вібрацій.  
 б) Зазначена швидкість навантаження випробувального зразка має дорівнювати  $(200 \pm 50)$  Н/мм<sup>2</sup>/хв.  
 с) Деформацію на випробувальному зразку потрібно фіксувати після того, як до випробувального зразка було прикладено початкову навантагу, яку підтримували протягом  $120 \text{ с} \pm 2 \text{ с}$ . Цей час вважають часом початку випробування.

### 9.4.5 Вимірювання зниження навантаги

Якщо не зазначено іншого, зменшення навантаги зазвичай вимірюють протягом періоду не менше ніж 1 000 год. Зниження навантаги фіксує вимірювальний пристрій, приєднаний до випробувальної установки. Якщо на випробувальній установці не встановлено вимірювача, зменшення навантаги вимірюють та фіксують у таких часових точках, якщо не зазначено іншого: 1 хв, 3 хв, 6 хв, 9 хв, 15 хв, 30 хв, 45 хв, 1 год, 1,5 год, 2 год, 4 год, 10 год, 24 год, 48 год, 72 год, 96 год, 120 год. Подальші виміри проводять не рідше одного разу через кожні 120 год.

## 9.5 Обчислення

### 9.5.1 Значення релаксації

Значення релаксації обчислюють діленням навантаги, виміряної під час випробовування релаксації, на початкову навантагу.

### 9.5.2 Крива релаксації

Криву релаксації будують на напівлогарифмічному графіку, де значення релаксації, виражене у відсотках, подано арифметичною шкалою на вертикальній осі, а час випробовування, виражений у годинах, подано логарифмічною шкалою на горизонтальній осі. Пряму наближення часу релаксації  $Y$ , виражену у відсотках, отримують із цих графіків, використовуючи метод найменших квадратів, наведений у формулі (11):

$$Y = k_a - k_b \times \log t, \quad (11)$$

де  $t$  — час, год;

$k_a, k_b$  — емпіричні константи.

Коефіцієнт визначення  $r^2$  обчислюють за формулою (12):

$$r^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n [Y_i - (k_a - k_b \cdot \log t_i)]^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}. \quad (12)$$

## 9.6 Протокол випробування

Протокол випробування містить такі пункти:

- назва, форма, дата виготовлення та номер партії випробуваної АК;
- тип волокна та матеріалу, що зчіплює волокна;
- номери або ідентифікаційні знаки випробуваних зразків;
- позначення, номінальна площа поперечного перерізу та діаметр;
- дата випробування, температура випробування та коливання температури;
- тип випробувальної установки;
- початкова навантага та швидкість початкового навантаження;
- гарантована міцність на розтяг та відношення початкової навантаги до гарантованої міцності на розтяг;
- крива релаксації для кожного випробування;
- середня швидкість релаксації за 10 год, 120 год та 1 000 год;
- формула для виведення прямої наближення та її коефіцієнта визначення.

## 10 МЕТОД ВИПРОБУВАННЯ НА ВТОМУ В РАЗІ РОЗТЯГУ

### 10.1 Випробувальні зразки

#### 10.1.1 Підготування, оброблення та розміри випробувальних зразків

Підготування, оброблення та розміри випробувальних зразків мають відповідати положенням розділу 6.

#### 10.1.2 Кількість випробувальних зразків

Проводити випробування щонайменше на трьох випробувальних зразках для кожного з трьох рівнів навантаги. Якщо випробувальний зразок руйнується чи вислизає з місця кріплення, проводити додаткове випробування на окремому випробувальному зразку з тієї самої партії, що й зруйнований випробувальний зразок.

### 10.2 Випробувальна установка та прилади

#### 10.2.1 Випробувальна установка

Випробувальна установка має бути здатна підтримувати постійну амплітуду навантаги (напруги), максимальну та мінімальну повторну навантагу (напругу) й частоту. Випробувальна установка має бути обладнана лічильником, що може фіксувати кількість циклів до руйнування випробувального зразка. Точність навантаги має бути в межах 1 % від діапазону навантаги.

#### 10.2.2 Анкерні кріплення

Анкерні кріплення мають відповідати положенням розділу 6. Якнайкраще для всіх випробувальних зразків у певній серії випробувань треба застосовувати однаковий тип кріплення.

### 10.2.3 Вимірювання деформації

За потреби вимірювання деформації в рамках випробувань на втому треба використовувати екстензометр і тензодатчик, що можуть підтримувати точність  $\pm 1$  % від зазначеного значення під час випробування.

### 10.3 Температура випробування

Температура випробування зазвичай перебуває в межах від 5 °C до 35 °C. Зазначена температура випробування для випробувальних зразків, чутливих до перепадів температури, становить 20 °C  $\pm$  2 °C. За жаркої погоди застосовують температуру 27 °C  $\pm$  2 °C.

### 10.4 Метод випробування

#### 10.4.1 Установлення випробувальних зразків

Порядок установлення випробувальних зразків має відповідати положенням розділу 6.

#### 10.4.2 Налаштування навантаг

Для визначення кривої  $S-N$  установити максимальні та мінімальні навантаги одним з таких трьох методів.

a) Зафіксувати середню навантагу та змінювати амплітуду навантаг.

b) Зафіксувати мінімальну навантагу та варіювати максимальну навантагу.

c) Зафіксувати коефіцієнт навантаги та змінювати максимальну та мінімальну навантагу відповідно до цього фіксованого співвідношення. Визначити метод, прийнятий відповідно до мети випробування. У будь-якому разі треба встановити щонайменше три однакові навантаги так, щоб діапазон кількості циклів до руйнування був між  $10^3$  та  $2 \times 10^6$ . Типові криві  $S-N$  для матеріалів АК для використання фіксованого коефіцієнта навантаги (напруги)  $R$ , 0, 1.

#### 10.4.3 Частота

Частота має бути в діапазоні від 1 Гц до 10 Гц.

#### 10.4.4 Початок випробування

Після статичної навантаги до середньої навантаги треба переходити до повторної навантаги. Ввести встановлену навантагу швидко та без ударів. Максимальні та мінімальні повторні навантаги мають залишатися постійними протягом випробування. Підрахунок кількості циклів зазвичай потрібно починати, коли навантага на випробувальний зразок досягне встановленої навантаги.

#### 10.4.5 Завершення випробування

Повне відокремлення (розрив) випробувального зразка вважають руйнуванням; треба зафіксувати кількість циклів до руйнування. Якщо випробувальний зразок не буде зруйновано через  $2 \times 10^6$  циклів, випробування можна припинити. Не використовувати повторно випробувальні зразки, які не були зруйновані.

#### 10.4.6 Переривання випробування

Випробування зазвичай потрібно проводити без перерв для кожного випробувального зразка від початку до кінця. Якщо випробування перервати, потрібно зафіксувати кількість циклів до моменту переривання та періоду перерви.

### 10.5 Обчислення

#### 10.5.1 Загальна інформація

Треба нехтувати даними випробувальних зразків, які висковзнули з анкерної ділянки під час оцінювання властивостей матеріалу АК. Якщо в анкерній ділянці виникло чітке руйнування чи висковзування, треба нехтувати даними. Додаткові випробування треба проводити доти, доки випробувальних зразків, які буде зруйновано у випробувальній ділянці, не буде менше ніж три.

#### 10.5.2 Крива $S-N$

Накреслити криву  $S-N$  з максимальною повторною напругою, діапазоном напруг чи амплітудою напруг, поданим арифметичною шкалою на вертикальній осі, та кількістю циклів, поданих логарифмічною шкалою на горизонтальній осі. Якщо точки вимірювань суміщаються, відзначити кількість збігових точок. Додати стрілки, спрямовані вправо, щоб зазначити точки, що подають результати випробувань для решти випробувальних зразків, які не було зруйновано.

### **10.5.3 Опір втомі**

Вивести опір втомі у  $2 \times 10^6$  циклів за допомогою інтерполяції на кривій  $S-N$ , отриманій одним з трьох методів ділянок навантаг (див. 10.4.2, а), б) чи с)), обговорених вище. Зазначити опір втомі з точністю до трьох значущих цифр.

### **10.6 Протокол випробування**

Протокол випробування містить такі пункти:

- а) назва, форма, дата виготовлення та номер партії випробуваної АК;
- б) тип волокна та матеріалу, що зчіплює волокна;
- в) номери або ідентифікаційні знаки випробуваних зразків;
- г) позначення, номінальна площа поперечного перерізу та діаметр;
- д) дата випробування, температура випробування та вологість (від початку до кінця випробування);
- е) максимальна навантага (напруга), мінімальна навантага (напруга), навантаги (діапазон напруг), кількість циклів до руйнування та частота для кожного випробуваного зразка;
- ж) запис режиму спостережуваних руйнувань для кожного випробуваного зразка;
- з) крива  $S-N$  та опір втомі.

## **11 МЕТОД ВИПРОБУВАННЯ ЛУГОСТІЙКОСТІ**

### **11.1 Випробувальні зразки**

#### **11.1.1 Підготування випробувальних зразків**

Перед випробуванням не піддавати випробувальні зразки жодному обробленню. Для решітки АК випробувальні зразки можна підготувати, відрізаючи сторонні частини так, щоб не впливати на характеристики випробувальної частини.

#### **11.1.2 Зберігання випробувальних зразків**

Зберігати випробувальні зразки обережно та захищати їх від деформацій, нагрівання та впливу ультрафіолетового світла, що може спричинити зміни властивостей матеріалу випробувальних зразків під час їхнього відбирання та підготування.

#### **11.1.3 Довжина випробувальних зразків**

Довжина випробувальної ділянки має бути не менше ніж 100 мм і не менше ніж у 40 разів перевищувати номінальний діаметр стрижня АК. Для пучків стрижнів АК довжина має відповідати зазначеним вище положенням і бути не менше 2-кратного кроку пучка.

#### **11.1.4 Кількість випробувальних зразків**

Проводити випробування на розтяг на п'яти випробувальних зразках до та після занурення. Якщо випробувальний зразок руйнується чи вислизає з місця кріплення, треба проводити додаткове випробування на окремому випробувальному зразку з тієї самої партії, що й зруйнований випробувальний зразок.

### **11.2 Занурення в лужний розчин**

#### **11.2.1 Приготування лужного розчину**

Лужний розчин, що його використовують для занурення, повинен мати той самий склад, що й розчин у порях бетону. Початковий рН розчину має бути вище ніж 13. Наприклад, до складу лужного розчину входять 8,0 г NaOH та 22,4 г KOH на 1 л деіонізованої води.

#### **11.2.2 Запобігання проникненню розчину у випробувальний зразок**

Щоб запобігти проникненню розчину через кінці випробувальних зразків під час занурювання, обидва кінці випробувальних зразків треба покрити епоксидною смолою й дати їй затвердіти.

#### **11.2.3 Температура занурення**

Установлена температура для занурення має бути  $60 \text{ }^\circ\text{C} \pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$ .

#### **11.2.4 Установлення випробувального зразка**

Установити випробувальний зразок на занурювальний апарат. За потреби до випробувального зразка прикладають навантагу натягування, наприклад, рівень навантаги, що відповідає проектній напрузі АК. Потрібно уникати поглинання лужним розчином  $\text{CO}_2$  з повітря та випаровування води під час занурювання.

#### **11.2.5 Термін занурення**

Визначений термін занурення має бути один місяць.

**11.2.6 Оброблення після занурення**

Після занурення треба промити випробувальний зразок у воді.

**11.3 Зміна зовнішнього вигляду та ваги****11.3.1 Перевіряння лужного розчину**

Вимірюють значення рН лужного розчину до та після випробування на лугостійкість.

**11.3.2 Зовнішній вигляд**

Досліджують зовнішній вигляд випробувального зразка до та після випробування на лугостійкість для порівняння кольору, стану поверхні та зміни форми. За потреби випробувальний зразок можна розрізати й відшліфувати, а стан поперечного перерізу дослідити за допомогою мікроскопа.

**11.3.3 Вимірювання зміни ваги**

Після занурення знімають з випробувального зразка кінці з епоксидної смоли; висушують випробувальний зразок і вимірюють вагу, доки вона не буде постійною. Обчислюють норму відсоткової втрати ваги  $R_{\Delta m}$  за формулою (13):

$$R_{\Delta m} = \left[ \frac{(m_0/L_0 - m_1/L_1)}{m_0/L_0} \right] \cdot 100, \quad (13)$$

де  $m_0$  — вага перед зануренням, г;  
 $L_0$  — довжина перед зануренням, мм;  
 $m_1$  — вага після занурення, г;  
 $L_1$  — довжина випробувального зразка, з якого після занурення було видалено обидва кінці, мм.

**11.4 Випробування на розтяг****11.4.1 Випробувальна установка та прилади**

Випробувальна установка та прилади мають відповідати положенням розділу 6.

**11.4.2 Температура та метод випробування**

Температура та метод випробування мають відповідати положенням розділу 6.

**11.5 Обчислення****11.5.1 Загальна інформація**

Оцінюють властивості матеріалу стрижня АК лише на основі випробувальних зразків, які зазнали руйнування на випробувальній ділянці. Якщо в анкерній ділянці виникло руйнування чи висковзування, нехтують даними. Додаткові випробування треба проводити доти, доки випробувальних зразків, які буде зруйновано у випробувальній ділянці, не буде менше ніж п'ять.

**11.5.2 Коефіцієнт збереження міцності на розтяг**

Обчислити коефіцієнт збереження міцності на розтяг  $R_{et}$ , виражений у відсотках, з точністю до двох значущих цифр за формулою (14):

$$R_{et} = \frac{F_{u1}}{F_{u0}} \cdot 100, \quad (14)$$

де  $F_{u1}$  — границя міцності на розтяг після занурення, Н;  
 $F_{u0}$  — границя міцності на розтяг до занурення, Н.

**11.6 Протокол випробування**

Протокол випробування містить такі пункти:

а) основна інформація:

- назва, форма, дата виготовлення та номер партії випробуваної АК;
- тип волокна та матеріалу, що зчіплює волокна;
- номери або ідентифікаційні знаки випробуваних зразків;
- позначки, номінальна площа поперечного перерізу та діаметр;
- дата початку та закінчення занурення;

б) інформація, що стосується занурення в лужний розчин:

- склад лужного розчину, рН, температура, період занурення та час;

- навантага розтягу та відношення навантаги розтягу до номінальної міцності на розтяг (якщо розтягу немає, це треба зазначити);
  - зафіксовані спостереження за зовнішнім виглядом і швидкістю втрат ваги;
- с) інформація, що стосується випробування на розтяг:
- температура випробування та швидкість навантаження;
  - середній та стандартний відхили міцності на розтяг (міцність) для випробувань із зануренням та без нього, і міцність на розтяг для кожного зануреного та незануреного випробувального зразка;
  - середня жорсткість на розтяг та середній модуль пружності для випробувань із зануренням та без нього, а також жорсткість на розтяг та модуль пружності для кожного зануреного та незануреного випробувального зразка;
  - гранична деформація для всіх занурених і незанурених випробувальних зразків і середня гранична деформація;
  - коефіцієнт збереження міцності на розтяг;
  - крива напруга—деформації для всіх занурених та незанурених випробувальних зразків.

## 12 МЕТОД ВИПРОБУВАННЯ РУЙНУВАННЯ В РАЗІ ПОВЗУЧОСТІ

### 12.1 Випробувальні зразки

#### 12.1.1 Підготування, оброблення та розміри випробувальних зразків

Підготувати й обробити випробувальні зразки відповідно до розділу 6.

#### 12.1.2 Кількість випробувальних зразків

Проводять випробування щонайменше на трьох випробувальних зразках для кожної умови випробування. Якщо випробувальний зразок руйнується чи вислизає з місця кріплення, проводять додаткове випробування на окремому випробувальному зразку з тієї самої партії, що й зруйнований випробувальний зразок.

### 12.2 Випробувальний стенд та прилади

#### 12.2.1 Випробувальний стенд та прилади

Випробувальний стенд та прилади мають бути спроможні застосовувати стійку навантагу, зберігаючи постійну навантагу, навіть якщо випробувальний зразок деформується.

#### 12.2.2 Анкерні кріплення

Анкерні кріплення мають відповідати положенням розділу 6.

#### 12.2.3 Екстензометр та тензодатчик

Екстензометр та тензодатчик мають відповідати положенням розділу 6.

#### 12.2.4 Вимірювання часу

Проміжок часу під час випробування вимірюють відповідним обладнанням (таймером тощо) з точністю в межах 1 % від часу, що минув.

### 12.3 Температура випробування

Температура має бути в межах  $20\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ , крім особливих обставин. За жаркої погоди застосовують температуру  $27\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ .

### 12.4 Границя міцності на розтяг

Границю міцності на розтяг обчислюють відповідно до положень розділу 6.

### 12.5 Метод випробування

#### 12.5.1 Установлення випробувального зразка та розрахункова довжина

Порядок установлення випробувальних зразків і розрахункова довжина мають відповідати положенням розділу 6.

#### 12.5.2 Навантаження

- Під час навантажування слідкують, щоб випробувальний зразок не зазнав ударів чи вібрацій.
- Виконують навантаження оперативно та зафіксують початковий час навантаження.
- Вважають, що вимірювання випробування на повзучість розпочинають після завершення прикладання встановленої навантаги до випробувальних зразків.
- Сила повзучості не повинна зменшуватися на 2 % чи більше від номінального показника.

**12.5.3 Вибір стійких застосовних навантаж**

— Проводять випробування на повзучість щонайменше для п'яти наборів умов коефіцієнта навантаги, вибраних, виходячи з межі міцності на розтяг.

— Один набір умов коефіцієнта навантаги має бути таким, щоб три випробувальні зразки не руйнувалися через 1 000 год навантаження.

**12.5.4 Вимірювання деформації в разі повзучості**

Деформація в разі повзучості автоматично фіксується реєстратором, приєднаним до випробувальної установки. Якщо на випробувальній установці не встановлено вимірювача, деформацію за повзучості вимірюють та фіксують у таких часових точках, якщо не зазначено іншого: 1 хв, 3 хв, 6 хв, 9 хв, 15 хв, 30 хв, 45 хв, 1 год, 1,5 год, 2 год, 4 год, 10 год, 24 год, 48 год, 72 год, 96 год, 120 год; і потім кожні 24 год із щонайменше одним вимірюванням кожні 120 год.

**12.6 Обчислення****12.6.1 Оброблення даних**

Оцінюють властивості матеріалу стрижнів АК лише на основі випробувальних зразків, які зазнали руйнування на випробувальній ділянці. Якщо в анкерній ділянці виникло чітке руйнування чи висковзування, нехтують даними. Додаткові випробування треба проводити доти, доки випробувальних зразків, які буде зруйновано у випробувальній ділянці, не буде менше ніж три.

Нехтують даними випробувальних зразків, що руйнуються на початку прикладання навантаги. У таких випадках фіксують лише прикладену навантагу та час руйнування за повзучості, але вилучають їх із даних; додаткові випробування не потрібні.

**12.6.2 Крива коефіцієнта навантаги/часу руйнування в разі повзучості**

Для кожного випробувального зразка, що пройшов випробування на повзучість, на напівлогарифмічному графіку має бути побудована крива коефіцієнта навантаги/часу руйнування в разі повзучості, де коефіцієнт навантаги подано арифметичною шкалою на вертикальній осі, а час руйнування в разі повзучості, виражений у годинах, подано логарифмічною шкалою на горизонтальній осі.

**12.6.3 Лінійна діаграма руйнування в разі повзучості**

Потрібно побудувати лінійну діаграму руйнування в разі повзучості на основі коефіцієнта навантаги за повзучості  $R_{Yc}$  та обчислити найкращу емпіричну криву для даних за допомогою методу найменших квадратів за формулами (12) та (15):

$$R_{Yc} = k_a - k_b \cdot \log t. \quad (15)$$

**12.7 Протокол випробування**

Протокол випробування містить такі пункти:

- a) назва, форма, дата виготовлення та номер партії випробуваної АК;
- b) тип волокна та матеріалу, що зчіплює волокна;
- c) номери або ідентифікаційні знаки випробуваних зразків;
- d) позначка, номінальна площа поперечного перерізу та діаметр;
- e) дата випробування, температура випробування;
- f) тип та назва випробувального стенда та приладів;
- g) тип та назва анкерних кріплень;
- h) середня міцність на розтяг та міцність на розтяг (міцність) для кожного випробувального зразка;
- i) початковий час навантаження;
- j) крива коефіцієнта навантаги/часу руйнування в разі повзучості;
- k) крива деформації/часу повзучості для кожного випробувального зразка;
- l) формула для виведення прямої наближення та її коефіцієнта визначення.

**13 МЕТОД ВИПРОБУВАННЯ МІЦНОСТІ НА ПОПЕРЕЧНИЙ ЗРІЗ****13.1 Випробувальні зразки****13.1.1 Підготування випробувальних зразків**

Випробувальні зразки не піддають жодному обробленню та мають бути максимально випрямлені. Не треба застосовувати надто зігнуті випробувальні зразки.

### 13.1.2 Оброблення випробувальних зразків

Отримуючи та готуючи випробувальні зразки, треба уникати будь-яких деформацій, нагрівання та зовнішнього впливу ультрафіолетового випромінювання, що може спричинити зміни властивостей матеріалу випробувальної частини зразка.

### 13.1.3 Довжина випробувальних зразків

Випробувальні зразки повинні мати постійну довжину незалежно від номінального діаметра стрижнів з АК. Довжина має бути не менше п'ятикратного інтервалу площини зсуву і не перевищувати 300 мм.

### 13.1.4 Кількість випробувальних зразків

Проводять випробування щонайменше на трьох випробувальних зразках. Якщо у випробувального зразка спостерігають значне витягнення волокон, що вказує на те, що руйнування не спричинено зрізом, треба виконати додаткове випробування на окремому випробувальному зразку, взятому з тієї самої партії, що і зруйнований випробувальний зразок.

## 13.2 Випробувальна установка та прилади

### 13.2.1 Випробувальна установка

Випробувальна установка має відповідати вимогам ISO 7500-1. Випробувальна установка повинна мати навантажувальну здатність, яка перевищує міцність на розтяг зразків і має бути здатна застосовувати навантагу за необхідної швидкості навантаження. Випробувальна установка також має бути здатна давати показання навантаги з точністю до 1 % під час випробування.

### 13.2.2 Апарат для випробування на зріз

Апарат для випробування на зріз (див. рисунки 7—9) має бути сконструйовано так, щоб зсув у випробувальному зразку у формі стрижня відбувався у двох площинах більш-менш одночасно двома лезами (ребрами), що проходять уздовж граней, перпендикулярних до осьового напрямку випробувального зразка. Розбіжність в осьовому напрямку між верхнім і нижнім лезами має бути від 0 мм до 0,5 мм та якомога меншою. Визначена відстань між площинами зрізу має бути 50 мм.

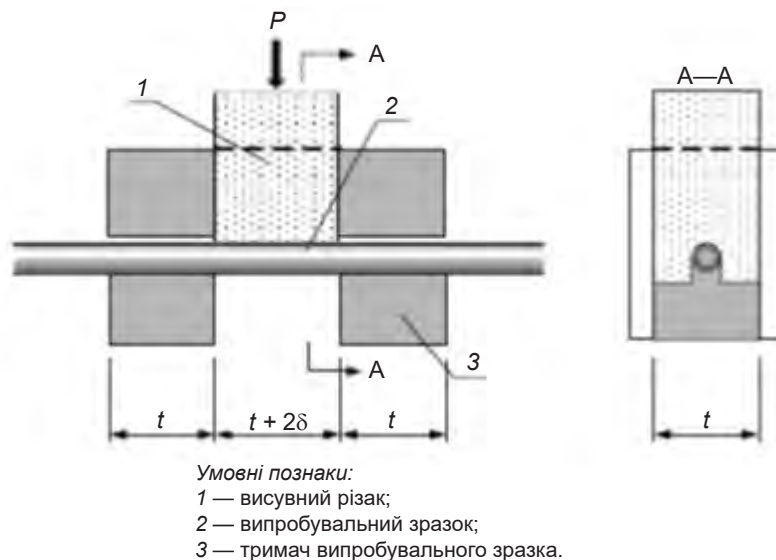


Рисунок 7 — Випробувальна машина на подвійний зріз (випробування на поперечний зріз)

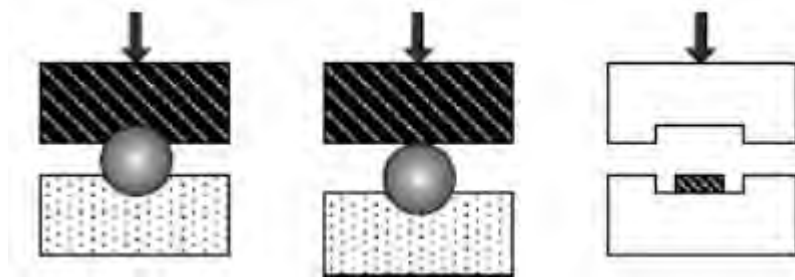
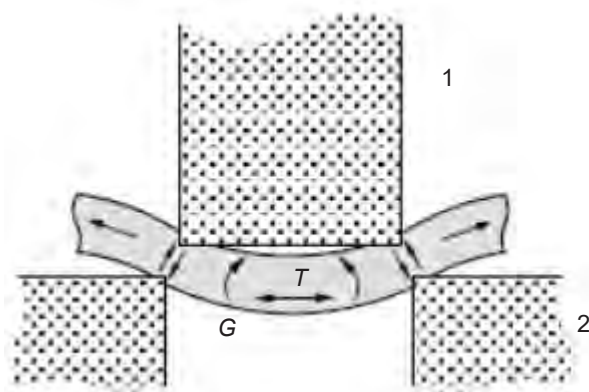


Рисунок 8 — Поєднання випробувальних зразків та контактних поверхонь випробувальної установки



Умовні позначки:  
1 — верхнє лезо;  
2 — нижнє лезо.

Рисунок 9 — Концептуальна схема контактної напруги випробувальної установки, що діє на випробувальний зразок

### 13.3 Температура випробування

Температура випробування зазвичай перебуває в межах від 5 °С до 35 °С. Зазначена температура випробувань для випробувальних зразків, чутливих до перепадів температури, становить 20 °С ± 2 °С. За жаркої погоди застосовують температуру 27 °С ± 2 °С.

### 13.4 Метод випробування

#### 13.4.1 Установлення випробувального зразка

Установити випробувальний зразок у центрі апарата для випробування на зріз, торкаючись верхнього навантажувального пристрою. Між контактними поверхнями навантажувальних пристроїв не повинно бути зазору.

#### 13.4.2 Швидкість навантаження

Визначена швидкість навантаження має бути такою, щоб напруга зрізу зростала зі швидкістю від 30 Н/мм<sup>2</sup>/хв до 60 Н/мм<sup>2</sup>/хв. Прикладати навантагу рівномірно, щоб не піддавати випробувальні зразки ударним навантагам.

#### 13.4.3 Обсяг випробувань

Продовжувати навантаження, доки випробувальний зразок не буде зруйновано. Зафіксувати руйнівну навантагу з точністю до трьох значущих цифр. Треба зазначити, що навантага може тимчасово знизитися через наявність двох поверхонь руйнування.

### 13.5 Обчислення

#### 13.5.1 Оброблення даних

Візуально визначити наявність руйнування, спричиненого зрізом. Якщо висмикування волокон очевидне, нехтують даними; додаткові випробування треба проводити доти, доки випробувальних зразків, які буде зруйновано через зріз, не буде менше ніж три.

### 13.5.2 Міцність на зріз

Обчислити міцність на зріз  $\tau_s$ , виражену у ньютонях на квадратний міліметр, з точністю до трьох значущих цифр, використовуючи формулу (16):

$$\tau_s = \frac{P_s}{2A}, \quad (16)$$

де  $P_s$  — навантага руйнування зрізом, Н;

$A$  — номінальна площа поперечного перерізу випробувального зразка, мм<sup>2</sup>.

### 13.6 Протокол випробування

Протокол випробування містить такі пункти:

- a) назва АК;
- b) типи волокон та матеріалу, що зчіплює волокна;
- c) номери або ідентифікаційні знаки випробуваних зразків;
- d) позначка, номінальна площа поперечного перерізу та діаметр;
- e) дата випробування, температура випробування, швидкість навантаження;
- f) інтервал між подвійними гранями зрізу та геометрія контактної поверхні;
- g) навантага руйнування через зріз для кожного випробуваного зразка, середня навантага руйнування через зріз та міцність на зріз;
- h) режим руйнування кожного випробуваного зразка.

## 14 МЕТОД ВИПРОБУВАННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ РОЗТЯГУ В РАЗІ ЗГИНАННЯ

### 14.1 Випробувальні зразки

#### 14.1.1 Підготування та оброблення випробувальних зразків

Підготувати й обробити випробувальні зразки відповідно до положень розділу 6.

#### 14.1.2 Довжина випробувальних зразків

Довжину випробувальних зразків приймають як суму довжини випробувальної ділянки та анкерної ділянки. Розрахункова довжина випробувальної ділянки має бути не менше ніж 100 мм від анкерних кріплень до викривленої ділянки і не менше ніж у 40 разів перевищувати номінальний діаметр стрижня АК. Для пучків стрижнів АК довжина має бути не менше 2-кратного кроку пучка.

#### 14.1.3 Кількість випробувальних зразків

Кількість випробувальних зразків не повинна бути менше ніж три для кожної умови випробування (поєднання діаметрів та кутів вигину). Якщо випробувальний зразок руйнується чи вислизає з місця кріплення під час розтягування 95 %, проводять додаткове випробування на окремому випробувальному зразку з тієї самої партії, що й зруйнований випробувальний зразок.

### 14.2 Випробувальна установка та прилади

#### 14.2.1 Випробувальна установка

Випробувальна установка (див. рисунок 11) має охоплювати навантажувальний пристрій, індикатор навантаги, анкерний тримач та напрямну. Випробувальна установка повинна також мати конструкцію, що може виконувати випробування на руйнування через розрив.

#### 14.2.2 Навантажувальний пристрій

Навантажувальний пристрій повинен мати навантажувальну здатність, яка перевищує міцність на розтяг зразків і має бути здатна застосовувати навантагу за потрібної швидкості навантаження.

#### 14.2.3 Індикатор навантаги

Індикатор навантаги має бути здатний відображати навантагу з точністю не менше ніж 1 % від навантаги руйнування й до руйнування випробувального зразка.

#### 14.2.4 Анкерний тримач

Анкерний тримач має відповідати геометрії випробувального зразка та бути спроможним точно передавати навантагу з випробувальної установки на випробувальний зразок. Його має бути сконструйовано так, щоб передавати на випробувальний зразок лише осьові навантаги, не передаючи сили крутіння чи згинання.

**14.2.5 Напрямна**

Напрямна має бути спроможна підтримувати потрібний кут та діаметр вигину під час випробовування до руйнування випробувального зразка. Поверхня напальної, що контактує з випробувальним зразком, має бути міцною та гладкою. Див. рисунок 10.

**14.2.6 Температура випробування**

Якщо не зазначено іншого, визначена температура випробування має бути в межах від 5 °C до 35 °C. Температура випробування для випробувальних зразків, чутливих до перепадів температури, становить 20 °C ± 2 °C. За жаркої погоди застосовують температуру 27 °C ± 2 °C.

**14.3 Метод випробування****14.3.1 Підготування до випробування**

Діаметр та кут вигину для випробування відповідно встановлюють. Тоді ця комбінація становить єдину умову випробування. Як конфігурація у випробувальному зразку має бути лише одна викривлена ділянка.

**14.3.2 Установлення випробувального зразка**

Під час установлення випробувального зразка на випробувальну установку треба слідкувати за підтриманням потрібного кута та діаметра вигину на викривленій ділянці під час випробовування.

**14.3.3 Швидкість навантаження**

Стандартна швидкість навантаження має бути постійною швидкістю деформації, еквівалентною 1 % деформації за хвилину ±0,5 %.

**14.3.4 Обсяг випробування**

Прикладають навантагу до руйнування випробувального зразка. Вимірюють та зафіксують місце навантаги та руйнування й час руйнування.

**14.4 Обчислення****14.4.1 Оброблення даних**

Оцінити властивості матеріалу стрижня АК лише на основі випробувальних зразків, які зазнали руйнування на випробувальній ділянці. Якщо в анкерній ділянці виникло чітке руйнування чи висковзування за умови міцності на розтяг у 95 %, даними нехтують.

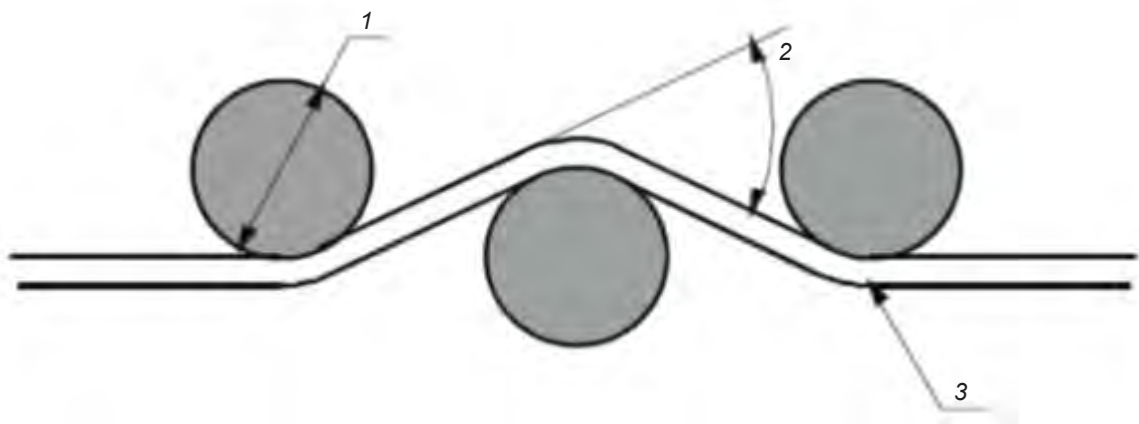
**14.4.2 Границя міцності на розтяг у разі вигину**

Обчислюють середню, максимальну та мінімальну міцність на розтяг для кожного набору умов випробування.

**14.5 Протокол випробування**

Протокол випробування містить такі пункти:

- a) назва, форма, дата виготовлення та номер партії випробуваної АК;
- b) тип волокна та матеріалу, що зчіплює волокна;
- c) номери або ідентифікаційні знаки випробуваних зразків;
- d) позначка, номінальна площа поперечного перерізу та діаметр;
- e) дата випробування, температура випробування, швидкість навантаження;
- f) стан поверхні стрижня АК (матеріал, товщина, конфігурація тощо, будь-якого покриття);
- g) кут вигину, зовнішній діаметр положення поверхні викривленої ділянки, співвідношення діаметра вигину, матеріал та конфігурація поверхні;
- h) границя міцності на розтяг у разі вигину для кожного випробувального зразка;
- i) місце та режим руйнування для кожного випробувального зразка;
- j) кількість випробувальних зразків для кожного набору умов відповідно до 14.5, g), середня, максимальна та мінімальна границя міцності на розтяг у разі вигину.



Умовні позначки:  
1 — діаметр вигину;  
2 — кут вигину;  
3 — стрижень АК.

Рисунок 10 — Приклад напрямної



Рисунок 11 — Випробувальна установка та прилади

## 15 МЕТОД ВИПРОБУВАННЯ КОЕФІЦІЄНТА ПОЗДОВЖНЬОГО ОБ'ЄМНОГО ТЕПЛОВОВО РОЗШИРЕННЯ ЗА ДОПОМОГОЮ ТЕРМОМЕХАНІЧНОГО АНАЛІЗУ

### 15.1 Випробувальні зразки

#### 15.1.1 Попереднє затвердіння випробувальних зразків

Якщо не визначено іншого, перед випробуванням зразки витримують не менше ніж 24 год за температури  $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$  та відносної вологості  $(50 \pm 10)\%$ , за температури класу 2 та відносної вологості згідно з розділом 6 ISO 291:2008. Потім випробувальні зразки зазвичай витримують протягом 48 год за максимальної температури випробування, щоб уникнути деформації, яка виникає внаслідок вигину, а також для зневоднення та деаерації.

#### 15.1.2 Розміри випробувальних зразків

Випробувальний зразок, який вирізають зі стрижня АК, повинен мати довжину 20 мм, круглий чи квадратний переріз діаметром або шириною не більше ніж 5 мм.

**15.1.3 Кількість випробувальних зразків**

Кількість випробувальних зразків не повинна бути менше ніж три.

**15.2 Випробувальний прилад****15.2.1 Випробувальний прилад**

Апарат термомеханічного аналізу (ТМА), що його використовують для випробування, має бути спроможним вимірювати в режимі стиснення, підтримувати постійну атмосферу навколо випробувального зразка та підвищувати температуру випробувального зразка за постійної швидкості.

**15.2.2 Калібрування випробувального пристрою**

Калібрування чутливості датчика переміщення треба періодично проводити, використовуючи або зовнішній мікрометр згідно з ISO 3611, або мікрометр, приєднаний до випробувальної установки.

Калібрування датчика температури потрібно проводити за допомогою чистої речовини з відомою температурою плавлення.

**15.2.3 Установлення випробувального пристрою**

Прилад ТМА має бути встановлено в місці, яке не зазнає впливу вібрації під час випробування.

**15.3 Метод випробування**

Процедуру випробування викладено нижче.

а) Очистити випробувальний зразок, вимірювальний стрижень та випробувальну платформу, поставити випробувальний зразок вертикально і, якщо можливо, закріпити на платформі.

б) Помістити вимірювальний стрижень у центр випробувального зразка, не прикладаючи сили.

в) Атмосфера навколо випробувального зразка має складатися із сухого повітря (вміст води не більше ніж 0,1 % масової частки) чи азоту (вміст води не більше ніж 0,001 % масової частки, вміст кисню не більше ніж 0,001 % масової частки), що підтримується за швидкості потоку в діапазоні 500 мл/хв—100 мл/хв.

г) Ретельно прикладають навантагу до кінчика вимірювального стрижня за кімнатної температури. Якщо іншого не визначено, спочатку температуру треба знизити до 0 °С, потім підвищити до 60 °С і зафіксувати повний процес переміщення випробувального зразка.

е) Швидкість підвищення температури не повинна перевищувати 5 °С/хв.

ф) Напруга стиску, що діє на випробувальний зразок, має бути близько 3 МН/мм<sup>2</sup>.

**15.4 Обчислення****15.4.1 Коефіцієнт об'ємного теплового розширення**

Коефіцієнт об'ємного теплового розширення  $\alpha_{sp}$ , виражений у зворотних градусах Цельсія, для випробувального зразка в межах вимірюваного діапазону температур  $T_1$ — $T_2$  обчислюють за формулою (17):

$$\alpha_{sp} = (\Delta L_{spm} - \Delta L_{refm}) / [L_0 \cdot (T_2/T_1)] + \alpha_{set}, \quad (17)$$

де  $\Delta L_{spm}$  — різниця у довжині випробувального зразка між температурою  $T_1$  та температурою  $T_2$ , мкм;  
 $\Delta L_{refm}$  — різниця у довжині випробувального зразка специфікації для калібрування довжини між температурою  $T_1$  та температурою  $T_2$ , мкм;

$L_0$  — довжина випробувального зразка за кімнатної температури, мкм;

$T_2$  — максимальна температура для обчислення коефіцієнта об'ємного теплового розширення, зазвичай 60 °С;

$T_1$  — мінімальна температура для обчислення коефіцієнта об'ємного теплового розширення, зазвичай 0 °С;

$\alpha_{set}$  — коефіцієнт об'ємного теплового розширення, обчислений для випробувального зразка специфікації для калібрування довжини між температурами  $T_1$  та  $T_2$ , °С.

Для пристроїв, у яких випробувальний зразок та випробувальний зразок специфікації для калібрування довжини вимірюють одночасно,  $\Delta L_{refm}$  у формулі (17) має дорівнювати 0.

**15.4.2 Округлення числових значень**

Кожний з коефіцієнтів об'ємного теплового розширення обчислюють до шести знаків після коми ( $10^{-7}$ ), а середнє значення округляють до п'яти знаків після коми ( $10^{-6}$ ). Якщо середнє значення менше ніж 1, його потрібно виражати з точністю до шести знаків після коми ( $10^{-7}$ ).

**15.5 Протокол випробування**

Протокол випробування містить такі пункти:

а) назва, форма, дата виготовлення та номер партії випробуваної АК;

б) тип волокна та матеріалу, що зчіплює волокна;

в) номери або ідентифікаційні знаки випробуваних зразків;

- d) позначка, номінальна площа поперечного перерізу та діаметр;
- e) дата випробування;
- f) розміри випробуваних зразків;
- g) метод попереднього затвердіння;
- h) тип випробувальної установки;
- i) тип атмосфери навколишнього середовища під час випробування та швидкість потоку;
- j) назва речовини, яку використовують для калібрування температури та проведення вимірювань;
- k) тип випробуваного зразка специфікації для калібрування довжини;
- l) діапазон температур, для якого вимірювали коефіцієнт об'ємного теплового розширення, і репрезентативна температура;
- m) крива ТМА для кожного випробуваного зразка;
- n) коефіцієнт об'ємного теплового розширення для кожного випробуваного зразка та середній коефіцієнт об'ємного теплового розширення.

ДОДАТОК НА  
(довідковий)

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

ДСТУ EN ISO 291:2017 (EN ISO 291:2008, IDT; ISO 291:2008, IDT) Пластмаси. Стандартні атмосферні умови для кондиціонування та випробування

ДСТУ EN ISO 7500-1:2017 (EN ISO 7500-1:2015, IDT; ISO 7500-1:2015, IDT) Матеріали металеві. Калібрування та повірка машин для статичних одновісних випробувань. Частина 1. Випробувальні машини на розтягування та стиснення. Калібрування та повірка силовимірювальних систем

ДСТУ EN ISO 13385-1:2018 (EN ISO 13385-1:2011, IDT; ISO 13385-1:2011, IDT) Технічні вимоги до геометричних параметрів продукції (GPS). Прилади для лінійних та кутових вимірювань. Частина 1. Штангенциркулі. Проектні та метрологічні характеристики.

---

Код згідно з НК 004: 83.120; 91.100.30

**Ключові слова:** анкерні кріплення, втома на розтяг, коефіцієнт поздовжнього об'ємного теплового розширення, композитна арматура, лугостійкість, методи випробування, міцність зчеплення з бетоном, міцність на двосторонній зріз, міцність на згин, міцність на розтяг, модуль пружності, повзучість, пучки, решітки, розтяг у разі згину, стрижні, тривала релаксація, термомеханічний аналіз, хомути.

---

Редактор **І. Дьячкова**  
Верстальник **М. Кравченко**

---

Підписано до друку 11.02.2021. Формат 60 × 84 1/8.  
Ум. друк. арк. 4,18. Зам. 147. Ціна договірна.

---

Виконавець  
Державне підприємство «Український науково-дослідний і навчальний центр  
проблем стандартизації, сертифікації та якості» (ДП «УкрНДНЦ»)  
вул. Святошинська, 2, м. Київ, 03115  
Свідоцтво про внесення видавця видавничої продукції до Державного реєстру видавців,  
виготівників і розповсюджувачів видавничої продукції від 14.01.2006 серія ДК № 1647