

ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерно-технологічний
Кафедра будівництва та професійної освіти

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи

на тему: **«Пошук нового профілю арматури
підвищеної корозостійкості»**

КРМ.192 БЦмд_21 ПЗ

Виконав: здобувач вищої освіти
за освітньо-професійною програмою
«Технології будівельних конструкцій,
виробів і матеріалів» спеціальності 192
«Будівництво та цивільна інженерія»
ступеня вищої освіти магістр групи
192БЦмд_21

Даценко Ілля Вікторович

Керівник: Бондар Л.В.

Полтава 2025 року

ВСТУП

Арматура залізобетонних конструкцій є найбільш масовим видом продукції з високоміцної сталі. Не дивлячись на існуючу в світі тенденцію до скорочення виробництва сталевого прокату, обсяг випуску арматурної сталі за останні 20 років виріс майже вдвічі.

За рахунок раціональної та економічної витрати сталі при використанні залізобетонних конструкцій може бути досягнута велика економія в будівництві.

Стрижнева арматура становить основний обсяг (близько 85 %) споживаної сталі в залізобетоні. До стрижневої арматури залізобетонних конструкцій відносять всю гарячекатану арматурну сталь, яка в подальшому може піддаватися зміцненню – термічному (забо в холодному сталі (сплюсненням, скручуванням, витяжкою).

Практично до 1950 р. єдиним видом стрижневої арматури, що поставлялась проїсловістю, була кругла гладка сталь марок Ст0 і Ст3 загального призначення. Тоді ж, орієнтація на підвищення марок бетону та необхідність зменшення витрати металу висунули питання про застосування арматури з підвищеними міцнісними характеристиками. Цьому сприяла розробка нової теорії розрахунку залізобетону по ручних навантаженнях, а також перші дослідження зі створення попередньо напружених конструкцій.

Перехід до більш міцних сталей зумовив необхідність значного збільшення зчеплення стрижнів арматури з бетоном, яке може бути досягнуте за рахунок надання їм спеціального профілю.

Дослідження показали, що найкращі результати по зчепленню дають стрижні з виступами, що йдуть по гвинтових лініях, які можна отримати при гарячій прокатці сталі.

Масове виробництво ефективної гарячекатаної арматури почалося з 1950 р. Підвищені характеристики міцності такої арматури, в основному, пов'язані з введенням легуючих добавок і підвищенням вмісту вуглецю, а в

певних випадках подальшим зміненням витяжкою в холодному стані або спеціальною термічною обробкою.

Виникла необхідність у розробці основних вимог до арматурних сталей, їх уніфікації та класифікації.

При розробці кожного нового виду арматури вирішувалося комплекс питань. Спочатку вважали основні вимоги і область застосування; при створенні сталі проводили всебічні дослідження в галузі металознавства, підбору складу і технології виплавки сталі, а також її прокату; на більш пізньому етапі досліджували фізико-механічні властивості арматурної сталі, її зварюваність і особливості роботи в залізобетонних конструкціях. Надалі організується випуск арматури за спеціальними технічними умовами, а після освоєння масового виробництва, - по Державним стандартам. На підставі проведення досліджень розробляються інструктивні та нормативні документи щодо застосування нового виду арматури в залізобетонних конструкціях.

Раніше, на корозійну стійкість арматури не звертали великої уваги, адже основним пріоритетом були міцнісні характеристики стрижнів та їх зчеплення з бетоном. Це і являлось недоліком того часу. Тому перед людством постало питання створення арматури з підвищеною корозійною стійкістю, яка б не погіршувала основних характеристик, задовольняла вимоги залізобетонних конструкцій.

РОЗДІЛ 1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД

1.1 Загальна характеристика та класифікація стержневої арматури

В залежності від основних механічних властивостей сталі поділяються на класи (табл. 1.1.).

Гарячекатапу арматурну сталь, що не піддається після прокатування зміцнюючій обробці, в нашій країні випускають декількома класами, за двома нормативними документами — ДСТУ 9130:2021 і ДСТУ 3760, кожен з класів позначається літерним індексом «А».

Згідно ДСТУ 9130:2021 арматурну сталь поділяють на клас: А-I(A240), А-II(A300), Ас-II(Ас300), А-III(A400), А-IV(A600), А-V(A800), А-VI(A1000). В позначеннях за літерним індексом наведено римська цифра, що означає клас, а в дужках знову вводять літерний індекс «А» з числом, яке є встановленим стандартом номінованим значенням умовної чи фізичної границі текучості в МПа (Н/мм²).

За ДСТУ 3760 прокат виготовляють класів: А240С, А400С, А500С, А600, А600С, А600К, А800, А800К, А800СК і А1000. В позначеннях після літерного індексу «А» наводять цифру - встановлене стандартом значення умовної чи фізичної границі текучості в МПа (Н/мм²) та індекс, який вказує на службові властивості прокату. В залежності від службових властивостей прокат поділяють на той, що зварюється (індекс «С») і той, що не зварюється (без індексу «С»); тривкий до корозійного розтріскування під напругою (індекс «К») і нетривкий до корозійного розтріскування (без індексу); зварюваний та тривкий до корозійного розтріскування під напругою (індекс «СК»).

Термічно і термомеханічно зміцнена арматурна сталь позначається індексом «Ат», з відпорідною цифрою, в залежності від мінімального значення границі текучості. Якщо сталь має стійкість проти корозійного

1.2 Вимоги до параметрів і розмірів арматурного прокату

За видом поверхні сталева арматура може бути круглою гладкою чи періодичного профілю.

Арматурну сталь класу А-I(A240), класу А240С за ДСТУ 3760 виготовляють гладкою. Стержньову арматурну сталь всіх інших класів виготовляють періодичного профілю. Гладкою, за погодженням виробника з споживачем, можуть виготовляти арматурну сталь класу А200 і вище.

Кращим видом арматури періодичного профілю була сталь класу А-II з границею текучості $\sigma_T >$ а, виробництво якої було розпочато в кінці 40-х років минулого століття. Використання такої арматури в залізобетонних конструкціях замість гладких стержнів з сталі марки Ст3 з границею текучості 210-250 МПа потребувало значного збільшення її зчеплення з бетоном, що було забезпечено за рахунок періодичного профілю [23]. Тоді ж був розроблений ДСТУ 3760:2006, який формулював вимоги до арматури періодичного профілю діаметром 12-32 мм з сталі марки Ст5 групи А. Одночасно була розроблена і дротяна арматура періодичного профілю [2, 9].

З того часу і до 1980-х років періодичний профіль стержньової арматури не змінювався. Прутки арматури з профілем за ДСТУ 3760:2006 являть собою круглий профіль з двома поздовжніми ребрами і поперечними виступами, які розташовані під кутом до поздовжньої осі стержня і йдуть за тризаходною гвинтовою лінією.

Для стержнів діаметром 6 і 8 мм допускається розташування виступів за одно- і двозаходними гвинтовими лініями. Арматурна сталь класу А-II (А200) має виступи, що йдуть за гвинтовими лініями з однаковим заходом

на обох боках профілю, а арматурна сталь класу А-III (А400) і інших більш міцних видів (А600 - А1200) випускають з виступами за гвинтовими лініями, що мають з одного боку правий, а з іншого - лівий захід.

Вибір конструкції і геометричних розмірів профілю для арматурної сталі є складною технологічною задачею в зв'язку з тим, що при цьому повинні задовольнятися багаточисельні і суперечливі один одному вимоги.

Забезпечення найкращих умов сумісної роботи арматури з бетоном в звичайному гальобетоні вимагає необхідного, для даного класу сталі, найбільшого зусилля зчеплення і найменшої довжини анкерування при одночасному збереженні механічних властивостей і високої границі витривалості.

Спільцевий періодичний профіль стержневої арматури за ДСТУ 3760:2006 класів А-III(А400), А-IV(А600), А-V(А800), А-VI(А1000) з поздовжніми і поперечними ребрами, що перегинаються, призводить до концентрації напружень в місцях їх перетину, зниженню пластичності, неповному використанню механічних властивостей і обмежує міцність сталі при навантаженнях, які багатократно повторюються.

Проведений порівняльний аналіз [23] вимог стандарту ISO, Німеччини і інших країн і ДСТУ 3760:2006 до періодичного профілю арматури показав, що останні 25-30 років всі країни Європи і більшість країн світу випускають арматуру з серповидним періодичним профілем. За таким профілем виготовляють арматурний прокат за ДСТУ 3760. Прокат з серповидним профілем має поперечні серповидні виступи, які заходять на нуль і не повинні з'єднуватись з поздовжніми виступами. Поздовжні виступи не обов'язкові.

За рахунок серповидного періодичного профілю ліквідуються концентратори напруження в місцях перетину поздовжніх ребер і поперечних виступів і знижується розклинююча дія профілю на бетон.

Дослідження довели значний вплив геометрії періодичного профілю на механічні властивості арматурної сталі.

Загальні закономірності впливу геометрії періодичного профілю на механічні властивості арматурної сталі можна з деякими спрощуваннями сформулювати наступним чином. Чим частіше поперечні вигуги, більше їх перетинань з поздовжніми ребрами і менше радіус зігнання з тілом стержня, тим чітше:

- опір сталі навантаженням, які багатократно повторюються (витривалість) і динамічним навантаженням;
- пластичні властивості арматури і опір крихким руйнуванням при низьких мінусових температурах;
- статична міцність (тимчасовий опір і границя текучості);
- опір сталі корозійному розтріскуванню;
- технологічність переробки в будівництві.

За цими причинами високоміцну, напружувану сталь для натягування «на бетон» в відповідальних спорудах таких, як мости і т. п., в багатьох країнах використовують у вигляді гладких стержнів [15, 25].

Конструкція періодичного профілю в значній мірі визначає ефективність виробництва арматурної сталі на металургійних підприємствах. Зменшення концентраторів на поверхні арматурного прутка при переході на серповидний профіль збільшує в 1,5 рази стійкість калібрів (прокатних валків) і відповідно зменшує витрати на прокатування арматури.

Термомеханічно зміцнену арматурну сталь, виготовляють періодичного серповидного профілю за ДСТУ 3760.

Арматурну сталь виготовляють діаметром від 6 до 80 мм. За ДСТУ 3760 арматурну сталь класу А240С виготовляють круглого перерізу з гладкою поверхнею діаметром від 5,5 до 40 мм, арматурний прокат інших класів виготовляють з періодичним профілем номінальними діаметрами від 6 до 40 мм.

Параметри елементів арматурної сталі періодичного профілю і допуски до них наведені в табл. 1.5 - для арматурного прокату, виготовленого за ДСТУ 3760.

Таблиця 1.5

Характеристика профілів арматурного прокату за ДСТУ 3760

Параметри елементів арматурної сталі періодичного профілю і допуски до них наведені в табл. 1.6 - для арматурного прокату, виготовленого за ДСТУ 9130:2021.

Величина t для кільцевого профілю як номінальна, без нормування її мінімальних і максимальних значень, що дозволяє виробникам арматури змінювати її в широких межах і це, в свою чергу, призводить до більшої мінливості f_r для такого профілю і можливості суттєвого зменшення цього показника.

Мінімальний кут нахилу поперечних виступів β регламентується стандартами Німеччини, США, України (ДСТУ 3760), а також міжнародними стандартами ISO [43] і EN [14] в межах від 35° до 45° .

Величина кута нахилу поперечних ребер не нормується і теоретично може бути рівною 90° , але на практиці він складає $60-70^\circ$.

Для напружуваної арматури необхідна мінімальна розпірність профілю, щоб не відбувалось поздовжнього розколювання бетону при передаванні попереднього напруження, і навпаки - якому менша довжина зони передавання поперечного напруження на бетон.

В результаті значної розклинюючої дії розпору при передаванні зусилля на бетон стержнів високоміцної сталі з профілем поздовжні тріщини в бетоні утворюються при $\sigma_{con} > 50 \text{ МПа}$ [53, 55]. Тому в торцях виробів, що виготовляються з натягуванням «на упори» арматурної сталі класів Ат800(Ат-V) – Ат1000(Ат-VI) досить часто спостерігаються поздовжні тріщини. Для компенсації цього необхідно використовувати додаткове конструктивне армування у вигляді сіток, каркасів, спіралей і т. д. Але це не запобігає утворенню тріщин, а лише перешкоджає їх розкриттю і розвитку по довжині виробу.

Перші відомості про поперечний диск арматури на бетоні що є причиною розколювання бетону, зроблені на початку 60-х років минулого сторіччя [53, 54]. Встановлено, що тріщини з'являються при певному значенні взаємних зміщень арматури і бетону, і поширюються від кутів робочих площадок виступів, тобто від зони концентрації напружень.

Напрямок поширення тріщин залежить від висоти поперечних виступів. Якщо виступи невисокі і площа змінання мала, то тріщини, що виникають,

поширюються в поперечному напрямі (рис. 1.1 *а*). При збільшенні висоти виступів, збільшується площа змигання, а тріщини спрямовані ближче до осі стержня (рис. 1.1 *б*) і виникають раніше [4].

Новий профіль поперечних виступів чи їх похилий абрис призводять до великої кількості малих тріщин локального характеру (рис. 1.1 *в, г*).

Таким чином, інтенсивність поперечного тиску арматури на стоїть бетон залежить, в основному, від конструкції періодичного профілю, що підтверджується багатьма дослідженнями [23].

В 1980-1992 рр. в Радянському Союзі проведені комплексні дослідження впливу геометричних розмірів періодичного профілю на властивості арматурної сталі і її сумісну роботу з бетоном, на основі яких було визначено оптимальні розміри періодичного профілю і розраховано масове промісьове виробництво арматури з серповидним профілем.

Рис. 1.1. Характер утворення тріщин і їх розвиток під виступами арматури:

а - при прямокутному виступі невеликої висоти; *б* - при прямокутному виступі великої висоти; *в* - при плавному (криволінійному) виступі; *г* - при похилому виступі.

Арматурний дріт виготовляють з гладкого та періодичного профілю. Холоднокатаний дріт з низьковуглецевої сталі виготовляють тільки періодичного профілю класу Вр-I, номінальними діаметрами 3, 4, 5 мм. Викоміцний холоднокатаний дріт з вуглецевої сталі (В-II, Вр-II) виготовляють діаметром від 3 до 8 мм гладкого та періодичного профілю.

Таблиця 1.10

Параметри профілю високоміцного дроту

1.3 Технічні вимоги до арматурного прокату

1.3.1 Хімічний склад арматурної сталі

Хімічний склад арматурного прокату повинен відповідати вимогам нормативної документації. За ДСТУ 3760 масові частки хімічних елементів у сталі за ковпковою пробєю повинні відповідати наведеним в табл. 1.11.

Таблиця 1.11

Масова доля хімічних елементів в готовому прокаті за ДСТУ 3760

Гарячекатану арматурну сталь виготовляють з вуглецевої і низьколегованої сталі. Хімічний склад вуглецевих сталей відповідає ДСТУ

2651. Нормовані значення масової доли елементів в низьколегованих сталях наведені в табл. 1.12.

Таблиця 1.12
Масова доля хімічних елементів низьколегованих сталей

Хімічний елемент	Масова доля, %	
	Нормована	Діапазон
C	0,05-0,25	0,05-0,25
Mn	0,01-0,30	0,01-0,30
P	0,005-0,025	0,005-0,025
S	0,005-0,025	0,005-0,025
Si	0,01-0,30	0,01-0,30
N	0,005-0,025	0,005-0,025
Al	0,01-0,30	0,01-0,30
Cr	0,01-0,30	0,01-0,30
Ni	0,01-0,30	0,01-0,30
Mo	0,01-0,30	0,01-0,30
W	0,01-0,30	0,01-0,30
B	0,005-0,025	0,005-0,025
Cu	0,01-0,30	0,01-0,30
As	0,005-0,025	0,005-0,025
Se	0,005-0,025	0,005-0,025
Te	0,005-0,025	0,005-0,025
Co	0,01-0,30	0,01-0,30
Zn	0,01-0,30	0,01-0,30
Fe	0,95-0,99	0,95-0,99

Термомеханічно зміцнена сталь також виготовляється з вуглецевої і низьколегованої сталі, з масовою часткою хімічних елементів за ковшовою пробою, згідно табл. 1.13. Граничні відхилення хімічного складу в готовому прокаті, від встановлених нормативною документацією [31], повинні відповідати наведеним в табл. 1.11.

Таблиця 1.13

Зміст хімічних елементів за ковшовою пробою в термомеханічно зміцненій сталі

Дріт класу Вр-I виготовляють з катанки, виготовленої з низьковуглецевої сталі. Дріт класів Вр-II і Вр-III, за ГОСТ 7548 для попередньо напружуваних арматурних виробів виготовляють з вуглецевої сталі марок 60, 70, 75, 80, 85 хімічний склад сталі за плазмовим аналізом повинен відповідати нормам, наведеним в табл. 1.14.

Таблиця 1.14

Вміст хімічних елементів в вуглецевій сталі, призначеної для виготовлення дроту для попередньо напружуваних виробів

Марка сталі	Масова частка хімічних елементів, %			
	C	Si	Mn	Cr
1	2	3	4	5

1.3.2. Механічні властивості арматурної сталі

Гарячекатана сталь. Першим і до останнього часу самим масовим видом арматури залізобетонних конструкцій є гарячекатана сталь.

Спочатку гарячекатану арматуру виготовляли тільки зі сталі марок Ст0 і Ст3. До 1950 р гладка арматура класу А-I(A240) була єдиним видом стеркнєвої арматури залізобетонних конструкцій [22].

Діаграма розтягування арматурної сталі класу А240 (А-I(A240), А240С), що поставляється в прутках, характеризується значною площадкою

текучості (ϵ_s до 3%) і величиною різномірного відносного подовження, δ_p , від 18 до 28%. Арматура діаметром 6-10 мм, що поставляється в бунтах, за такої ж великої пластичності, не має явно вираженої площадки текучості. В більшості випадків площадка текучості утворюється після правлення і старіння сталі в процесі виготовлення і експлуатації залізобетонних конструкцій [20].

Для оцінки поведінки арматури при низьких температурах і складних умовах експлуатації, необхідно враховувати всі фактори, в тому числі: стабільність технології виробництва та системи контролю і нормування властивостей готової продукції, вид поверхні арматурних прутків (гладка або періодичного профілю), характеристики пластичності при розтягуванні і згинанні та і їх стабільність, як у вихідному стані, так і після переробки, в тому числі зварювання.

За цими показниками арматура класу А240 (А-I(A240), А240С) зі сталі марки СтЗсп і СтЗпс має наглядні переваги. Завдяки високим пластичним властивостям і гладкій поверхні, ця арматура в меншій мірі схильна до крихкості при згинанні.

В 1966 р в країні було опановано промислове виробництво стержньової арматури періодичного профілю класу А-II(A300), з гарячекатаної сталі марки Ст5.

Спочатку така арматура випускалась діаметром 12-32 мм, в подальшому з цієї сталі виготовлялись стержні діаметром 36—90 мм для армування масивних гідротехнічних споруд і промислових об'єктів.

З 1988 р рішенням X Всесоюзної конференції по залізобетону (м. Казань), почали скорочувати сортамент стержньової арматури періодичного профілю за рахунок ліквідації класу А-II(A300). Останнім часом і в усіх розвинених країнах сталь класу А-II знята з виробництва як малоефективна і замінена на більш міцні види арматури класів А500 та А400.

Гарячекатана низьколегована сталь класу А-III(A400) марок 35ГС і 25Г2С з границею текучості $\sigma_T > 400$ МПа, протягом багатьох років, з 1961

року по 1998 рік, була основним видом арматури для звичайного бетону. Гарячекатана арматурна сталь класу А400 марок 25Г2С і 35ГС характеризується стабільними і однорідними механічними властивостями. Забезпеченість показників механічних властивостей кожної партії складає 0,95-0,98 [13, 23].

Пластичність при згинанні цієї арматури помітно нижче, ніж сталі класів А240 і А300.

Практично вся арматура залізобетонних конструкцій при виготовленні арматурних виробів може піддаватись зварюванню. Дослідження впливу зварювання на підвищення схильності до крихкого руйнування показали, що зварні шви підвищують схильність сталі Ст5 і 35ГС до крихких руйнувань.

Механічні властивості гарячекатаної сталі класу А400 (А-III(А40С), А400С) можуть змінюватись в часі. Як правило, після вилежувачня при температурах вище нуля протягом від 8 годин до 8 діб, спостерігається деяке підвищення відносного подовження - δ_5 . При цьому значення σ_B і σ_T практично не змінюються [23]. За даними δ_5 в цей період може збільшуватись в 1,5-2,0 рази. Влітку це непомітно для споживача, так як до моменту доставки металу ефект вилежувачня проходить. В зимовий час цей процес уповільнюється і зміна властивостей сталі відбувається при зберіганні її в теплом приміщенні.

Виробництво і використання арматурної сталі класу А-IV(А500) з умовною границею текучості $\sigma_{0,2} > 600$ МПа і тимчасовим опором $\sigma_s > 900$ МПа розпочато в 1956 р. Спочатку гарячекатана арматурна сталь цього класу розроблялась і використовувалась тільки як напружувач арматура попередньо-напружених залізобетонних конструкцій і була в 50-60 роках самим високоефективним видом напружуваної стержневої арматури [20]. Одночасно в зв'язку з постійним дефіцитом арматури класу А-IV, особливо діаметром 20-32 мм, в будівництві широко використовувалась напружувана арматура класу А-IIIв(А550в), зміцнення витягуванням якої здійснювалось безпосередньо на підприємствах будіндустрії [1, 7, 27]. Пізніше в 70-80

роках, після розробки і опанування масового виробництва і використання високоміцної арматурної сталі класів A-V(A800), Ат-V (At800) і Ат-VI (At1000) і розвитку виробництва високоміцного арматурного дроту і канатів, вагомість арматури класу A-IV(A600), тільки як напруженої, суттєво зменшилась [23].

Першою сталлю класу A-IV(A600) була 30ХГ2С [11], що використовувалась протягом восьми років. Однак, металургам не вдалось досягти стабільності механічних характеристик такої арматури через високу чутливість сталі до коливань вмісту хімічних елементів, у зв'язку з охолодження і зміну діаметра стержнів. Тому сталь цієї марки була знята з виробництва і замінена сталлю інших марок. Крім того, ця арматурна сталь мала низьку пластичність і обмежену зварюваність.

В зв'язку з цим подальші дослідження були направлені на створення і впровадження напруженої арматурної сталі класу A-IV(A600) двох видів:

- економічної, з підвищеним вмістом вуглецю і зменшеним - легуючих елементів (тобто технічно простої і дешевої, але обмежено зварюваної);
- зварюваної, з меншим, у порівнянні з 30ХГ2С, вмістом вуглецю, леговану додатково манганом, хромом, титаном і іншими елементами.

В процесі попереднього напруження напружена арматура розтягується до напружень від 0,6 до 0,9 від її границі текучості, нагрівається при електротермічному способі натягу до 350-450°C остигає, а потім тривалий час в процесі термомеханічної обробки бетону нагрівається і остигає разом з ним. Все це призводить до змінення механічних властивостей, а в ряді випадків і довготривалої міцності напруженої арматури [23].

Арматурна сталь 80С діаметром 12-16 мм в стані поставки повністю відповідає механічних властивостей арматурної сталі класу A-IV(A600). Сталь має високу однорідність властивостей, що характеризується коефіцієнтами варіацій величин σ_b , $\sigma_{0,2}$ і δ_5 , які відповідно дорівнюють 4,7; 7,4 і 19,4%. Тимчасовий опір сталі 80С, як правило, більше 1000 МПа, співвідношення $\sigma_{0,2}/\sigma_b$; $\sigma_{t,0,2}/\sigma_{0,2}$ в середньому складає відповідно 0,615 і 0,8 і

змінюється в межах: перше - 0,52-0,64, друге - 0,75 і 0,9 [23]. Початковий модуль пружності E_8 сталі 80С в середньому складає $2,06 \cdot 10^5$ МПа. Кут згинання навколо оправки діаметром $5d_n$ для арматури діаметром 12 і 14 мм складає 140-180°, а для зразків діаметром 16, 25 і 32 мм - 38-180° і значення змінюється за довжиною прутка [10]. Ударна в'язкість сталі 80С нижче: при температурі 20°C - від 0,13 до 0,26 М • Дж/м², а при температурі мінус 30°C - від 0,06 до 0,08 М • Дж/м².

Сталь марки 80С, завдяки стійкій і дрібнодисперсній структурі, має відносно високу стійкість проти корозійного розтріскування під напругою, що відповідає розрахунковим значенням. Тому її рекомендують для використання як напружувачу арматуру попередньо напружених залізобетонних конструкцій, що експлуатуються в агресивних середовищах. Поряд з тим, через погану зварюваність, недостатню пластичність і міцність при низьких мінусових температурах, галузь використання арматурної сталі марки 80С обмежується використанням її у вигляді прутків діаметром 10-18 мм мірних довжин в попередньо напружених залізобетонних виробках до 12 м. У випадку необхідності стикування стержнів немірних довжин цієї сталі рекомендується використовувати спосіб опресування втулок або муфтові з'єднання.

Досліди впливу легуючих добавок на зварюваність різних за складом сталей з механічними властивостями арматурної сталі класу А-IV (A600), показали, що задовільну зварюваність в поєднанні з необхідною міцністю, мають хромо-мангановисті сталі з вмістом вуглецю 0,20-0,28% [5, 11, 23].

Зменшення, у порівнянні з вмістом в сталі 30ХГ2С, кількості вуглецю в цих сталях компенсується більшою витратою мангану чи кремнію і введенням, вказаних вище модифікуючих добавок, які, поряд зі збільшенням відносно подовження при розриві δ_5 і δ_p , сприяють певному покращенню в гарячекатаному стані характеристик опору сталі пластичному деформуванню $\sigma_{0,2}$ і $\sigma_{0,2}$ і прискорюють процеси зміни властивостей сталі в процесі «в'ялізнення». Це пояснюється тим, що досадка в хромо-марганцеві сталі

марок, що розглядаються, елементів з карбідоутворюючою здатністю, таких як титан, ванадій чи цирконій, призводить до зменшення розміру зерен і розширення інтервалу бейнітних перетворень [10, 11, 23]. Одним з найбільш ефективних карбідоутворюючих елементів є титан.

Арматурна сталь марок 20ХГ2Ц і 20ХГ2Т значно краще стигується зварюванням, ніж 30ХГ2С, має добру ударну в'язкість при температурах до -40°C , зберігає високі пластичні і міцнісні властивості при розтягуванні в умовах низьких мінусових температур і динамічних навантажень [23]. Тому її можна застосовувати практично при будь-яких умовах експлуатації попередньо напружених залізобетонних конструкцій без обмежень довжини прогону. Починаючи з 1963 року ця арматура повністю замінила сталь марки 30ХГ2С і протягом 10 років була основною напруженою стержньоз'єдкованою арматурою попередньо напружених залізобетонних конструкцій [23].

Гарячекатана сталь класів **A800(A-V)** марки 23Х2Г2Т була розроблена на основі арматурних сталей марок 20ХГ2Ц і 20ХГ2Т шляхом вдосконалення їх хімічного складу і введення в технологічний процес низькотемпературного відпуску після прокатування. Подальші дослідження, в тому числі селектування сталі 23Х2Г2Т за хімічним складом, дали практичну можливість отримання арматури класу **A1000(A-VI)**.

Арматурна сталь класу **A800**, як при нормальних, так і при мінусових температурах до -70°C , характеризується меншою чутливістю до концентраторів напружень, які викликані механічними ураженнями чи зварними опіками, ніж гарячекатана сталь інших класів. Теплова і експлуатаційна зварюваність сталі 23Х2Г2Т оцінюється на тих же рівнях, як і сталь 20ХГ2Ц класу **A-IV(A600)**, а металургійна зварюваність дещо вища. Наведені вище данні дозволили включити цей клас сталі в СНиП 2-03-01 і рекомендувати використання арматурної сталі як зварюваної напруженої арматури для залізобетонних виробів прогоном 12 і більше метрів при розрахункових температурах до мінус 55°C , а без зварювання у вигляді цілих стержнів

мірної довжини - без обмеження температури експлуатації і виду навантажень. Сталь класу **A-VI(A1000)** випускається діаметром 10-22 мм.

Арматурна сталь **A-VI(A1000)** після низькотемпературного відпуску має вищу, ніж сталь **A-V(A800)** втомну міцність, також відрізняється високою ударною в'язкістю при низьких мінусових температурах і стійкістю проти крихкого руйнування. Ці особливості механічних властивостей дозволили рекомендувати її використання в залізобетонних конструкціях, що експлуатуються як при нормальних, так і низьких мінусових температурах.

Для арматурного прокату класів **A800**, **A800K** і **A1000**, згідно вимог ДСТУ 3670, релаксація напружень за 1000 годин не повинна перевищувати 4% від початкового зусилля, що становить 70% від максимального, яке відповідає тимчасовому опору розриванню.

Термомеханічно зміцнена сталь. Термічне зміцнення вуглецевих і низьколегованих сталей є досить ефективним способом підвищення їх міцносних характеристик на 60—100% і більше при порівняно невеликих витратах (5-12% вартості сталі). Над створенням термічно зміцненої арматури науково-дослідні і виробничі організації працюють починаючи з 1958 р.

Класифікація і основні технічні вимоги до термічно зміцненої арматури були встановлені ще в 1959-1961 рр. і введені в відповідні нормативні документи і стандарти.

Першим видом термомеханічно зміцненої арматури (**At-III(At400)**), яка по суті є різномодом гарячекатаної сталі і відрізняється лише умовами охолодження після гарячого прокатування, для звичайного залізобетону в нашій країні була арматура зі сталі марок Ст5пс і Ст5сп, призначена для замінення гарячекатаної сталі класу **A-III(A400)**. При застосуванні цих марок гарячекатаної сталі термомеханічно зміцненою сталлю марки 35ГС досягається економія легуючих добавок від 21,4 до 17,5 т на 1 т сталі.

Ненапружену термічнозміцнену арматуру класу **At-III(At440C)** зі сталі Ст5пс і Ст5сп для звичайного залізобетону почали розробляти з 1973 р,

а її промислове виробництво було введено в 1976 р. Механічні властивості і діаграма розтягування цієї сталі відрізняється від аналогічних показників гарячекатаної сталі класу А400 більш високими середніми значеннями границі текучості $\sigma_T(\sigma_{0,2})$ і тимчасового опору σ_B при менших δ_5 і δ_r .

Арматурна сталь класу А500С за ДСТУ 3670 і класу Ат500С виготовляється шляхом термомеханічного зміцнення з сталі марок, наведених в додатку В. Механічні властивості цих сталей, регламентовані різними нормативними документами [13], характеризуються одним рівнем показників. Не дивлячись на значну мінливість властивостей арматури окремих діаметрів (Ат500С), яка зберегла, необхідні нормативні значення границі текучості $\sigma_T > 500$ МПа забезпечують по всьому сортаменту з ймовірністю більше ніж $0,975(\bar{X} - 2S)$. Розрахунковий опір сталі $f_t(R_s) = 435-450$ МПа (відповідно для діаметрів 8-22 мм і 25-32 мм) забезпечується з ймовірністю більше 0,999.

За рахунок високих границь пружності і текучості, великої пластичності діаграма розтягування цієї сталі не має значної зони зміцнення і на ділянці від $\sigma_{0,2}(\sigma_T)$ до σ_B майже прямолінійна.

Критична температура крихкості термомеханічно зміцненої сталі на 20°C нижча ніж гарячекатаної сталі і відповідно її можна використовувати в залізобетонних конструкціях, що експлуатуються при розрахунковій зимовій температурі до мінус $55-70^\circ\text{C}$ [23].

На Україні в 1995 р виробництво термомеханічно зміцненої арматурної сталі класів А500С розпочалось на комбінаті «Криворіжсталь», який виготовляє її діаметром 8-32 мм, і в 2000 р., в Росії, - Череповецьким комбінатом АТ «Северсталь». Якість арматури відповідає EN13080.

Сталь класів Ат400 і Ат500 при випробуванні на згинання, без руйнування і тріщин, витримує згинання на кут $160-180^\circ$, при нормованому значенні 90° і діаметрі оправа $3d_n$. Це пояснюється високою локальною пластичністю термомеханічно зміцненої сталі [23].

Механічні властивості арматурного прокату класу А500С регламентуються ТУ У 27.1-4-551-2003. Всі інші технічні вимоги до прокату - за ДСТУ 3760 для класу А500С.

В 1960 р. в Тульському політехнічному інституті була виготовлена дослідна установка, на якій вдалось отримати першу високоміцну термічно зміцнену арматуру класу Ат-IV(Ат600) з сталі марки Ст5 і більш міцні матеріали з сталі 35ГС і 25Г2С [7, 9]. Промислове виробництво термічно зміцненої високоміцної напружуваної арматури було здійснено в 1962 р на заводі ЗБІ №2 в м. Рязань на установці електротермічного зміцнення арматури ЕТУ-1.

Термомеханічно зміцнена сталь класу Ат600 (Ат600С, Ат600К) виготовляється за такою ж технологією, що й клас Ат500С, шляхом прискореного охолодження при прокатуванні з температурою самовідпуску близько 500-550°C [12] з низьколегованих сталей.

Арматура класу Ат600 характеризується високою стійкістю при дії низьких температур при осьовому розтягуванні. Так, результати випробувань впливу температур на механічні властивості показала [12, 23], що зі зниженням температури від +20°C до -60°C міцності властивості зразків з необробленою поверхнею поступово підвищуються на 40-60 МПа при незначному зниженні відносного подовження δ_5 .

Теоретичні і експериментально-пошукові дослідження властивостей, технології виробництва і використання високоміцної термічно і термомеханічно зміцненої арматурної сталі були розпочаті в 1958 році. Спочатку досліджувались механічні властивості термомеханічно зміцненої арматурної сталі марок Ст5, Ст5 і 35ГС, потім були розроблені спеціально для арматури класів Ат800 і Ат1000 марки сталі 20ГС і 20Г2С, а пізніше для сталі класу Ат800 марки 08Г2С, 20ХГС2 і 28С.

Механічні властивості арматурного прокату всіх марок цих класів відповідають вимогам. Нормативні або бракувальні значення умовної границі

текучості сталі класів Аt800 і Аt1000 в стані постарки забезпечуються з довірчою імовірністю відповідно не менше 0,95 і 0,84.

При вмісті хрому в цих сталях в кількості 0,9-1,2% і сумарній кількості марганцю і хрому 2,1-2,3% вдається забезпечити міцність зварних з'єднань при контактному стиковому зварюванні стержнів діаметром 10-22 мм до рівня вимог до сталі класу А300, а в поєднанні з легуванням кремнієм в кількості 1,5-2,2% - значно підвищити стійкість проти корозійного постріскування, отримавши, таким чином, сталь класу Аt800К.

Промислове виробництво термомеханічно зміцненої арматурної сталі класів Аt800(Аt-V) і Аt1000(Аt-VI) було вперше в світовій практиці опановано в Україні в 1967 р. Криворізьським металургійним комбінатом.

Самим високоміцним видом стержнкової термомеханічно зміцненої арматури є сталь класу **Аt1200** з границею текучості $\sigma_{0,2} > 1200$ МПа і $\sigma_B > 1450$ МПа. При такій високій міцності в стержнях діаметром 10-25 мм фактичне відносне подовження $\delta_5 > 9\%$ і $\delta_p \geq 2,3\%$, що суттєво більше нормованих величин δ_5 і δ_p [23]. Діаграма розтягування цієї сталі в стані поставки характеризується параметром пружності $m_1 = 0,54$ і співвідношенням 1,296.

Арматурна сталь такої високої міцності може ефективно використовуватись в конструкціях великого прогону або спеціальних спорудах з високим ступенем відповідальності, наприклад в оболонках атомних реакторів.

Суттєвим недоліком високоміцної термомеханічно зміцненої арматури є знеміцнення її при контактному-стиковому і інших видах зварювання з великими тепловкладеннями. Ступінь знеміцнення залежить від виду вихідної сталі і способу зварювання [12, 23], однак в озрахункових перерізах залізобетонних конструкцій зварні стики арматурної сталі класів Аt800 і Аt1000 не допускаються. Тому, не дивлячись на досить значні об'єми виробництва, ця арматура використовується, в основному, у вигляді стержнів меншої довжини діаметром 10-14 мм в збірних попередньо напружених

виробах прогоном до 12 м, головним чином, в плитах покриттів і перекриттів 5,8 -7,2 м.

1.4 Зчеплення арматури з бетоном

Під зчепленням арматури з бетоном розуміється безперервний зв'язок по поверхні контакту між арматурою і бетоном, що забезпечує їх спільну роботу.

Сили зчеплення викликають в прилягаючому до арматури бетоні складний напружено-деформований стан і можуть бути зведені до розподіленого навантаження, спрямованого по осі арматури, в результаті чого величина поздовжніх зусиль в арматурі стає змінною по довжині стрижня. Це навантаження зазвичай оцінюється величиною умовних лінійних напружень зчеплення ($\tau_{сч}$), діючих по поверхні контакту арматури з бетоном. Сили зчеплення можуть надавати розклинючу дію на бетон, яка оцінюється величиною поперечних (нормальних до осі стрижня) напруг, названих напруженнями «розкору» або поперечним тиском.

Зчеплення повинно забезпечувати передачу зусиль від арматури на бетон або в зворотному напрямку аж до руйнування конструкції, зумовлюючи тим самим роботу залізобетону як конструктивного матеріалу. Надійність конструкції, крім того, залежить від анкеровання решт арматури в опорних вузлах, стиках, місцях обриву стрижнів і т. п. Зчеплення обумовлює перерозподіл зусиль між арматурою і бетоном у випадку розвитку в останньому пластичних деформацій, а також при відкненні й розвитку тріщин. Для деяких видів згинальних та позацентрально стиснутих елементів зчеплення грає істотну роль в забезпеченні міцності перерізів, запобігаючи надмірне розкриття тріщин, що веде до скорочення висоти стиснутої зони і, як правило, до передчасного руйнування конструкції. Завдяки зчепленню в більшості випадків забезпечується передача зусиль остачення від напруженої арматури на бетон.

В основному зчеплення арматури з бетоном визначається характеристиками арматурної сталі (станом її поверхні , профілем , діаметром і її механічними властивостями) ;

характеристиками бетону (його міцністю , віком , складом , властивостями цементу , заповнювачів) ;

технологією приготування бетону , способом укладання й ущільнення , умовами твердіння ;

напруженням станом залізобетонних елементів , що викликають передачу й розподіл зусиль між арматурою й бетоном.

Сили адгезії порушуються при порівняно великих напругах зчеплення і величинах взаємного зміщення стержня і бетону , тому вони не відіграють вирішальної ролі.

Отримані дані про першорядне значення фактора зчеплення послужили основою для розробки стрижневої арматури періодичного профілю.

Підвищення зчеплення арматури з бетоном може бути здійснено різними способами:

збільшенням шорсткості поверхні стрижнів;

зміною форми перерізу стрижнів , що дозволяє збільшити відношення бічної поверхні стрижня.

Можна виділити три принципові групи поверхонь арматури , враховуючи лише основні профілі , що закликаються при зміщенні в бетоні (рис. 1.3 , а) ; змінюють бетон при зміщенні (рис. 1.3,б) і профілі , що зрушують бетон при зміщенні (рис. 1.3 , в) .

Періодичні профілі , що закликаються в бетоні , отримують шляхом скручування стрижнів некруглого перетину (овального , прямокутного , хрестоподібного , типу «Тор » і т. д.) або гарячої пресаткою спеціальних стрижнів [9]. При цьому утворення стрижнів набуває хвилеподібний характер або має періодично повторювані похилі ділянки . Зазвичай у таких профілів кут нахилу поверхні до осі стрижня не перевищує 10 - 30°. Початок взаємного зміщення у розглянутих профілів обумовлюється тими ж

факторами, що й у гладких стрижнів. Подальше зростання опору зрушенню досягається силами тертя, викликаних розпором, що збільшується в міру наростання переміщень, тобто в процесі заклинювання профілю. Перше порушення зчеплення при зміщуванні зазвичай настає в результаті розриву бетону в поздовжньому напрямку.

В даний час рідко зустрічається стрижнева арматура, збільшення зчеплення якої розраховане тільки на заклинювання її поверхні.

Періодичні профілі, змінаючі бетон при зміщенні, походять шляхом утворення на поверхні стрижня відповідних виступів або западин при сплюсненні в холодному стані або в процесі гарячої прокатки стрижнів. Особливість зчеплення таких профілів викликана специфікою роботи бетонних консолей, що утворюються між виступами стрижнів. Пружина ступеня передачі напружень зчеплення обумовлена в основному грубою роботою бетону консолей під впливом стискаючих зусиль, переданих виступами. Величина розпору на цій стадії невелика й залежить як від величини поперечного розширення ступеня в поздовжньому напрямку бетону, укладеного між суміжними виступами, так і від форми їх опорної поверхні. Виникнення великих напружень змінання в умовах обмежених деформацій призводить до порушення структури бетону під виступами й розвитку місцевих пластичних деформацій. Зміщення стрижнів при цьому зростають. На якомусь етапі розвитку пластичних деформацій у місцях концентрації напружень біля вершини виступів в бетоні утворюються невеликі внутрішні тріщини. Ці тріщини розвиваються в напрямку траєкторій головних стискаючих напружень і нахилені зазвичай під кутом $45 \pm 10^\circ$ до лінії дії зсувного зусилля.

Періодичні профілі, у яких зчеплення забезпечується в основному роботою бетону на зрушення, являють собою стрижні, що мають на поверхні западини невеликих розмірів або часто розташовані виступи. По методу виготовлення і зовнішньому вигляду вони можуть не відрізнятися від попереднього профілю. Різниця полягає в тому, що розміри утворення

бетонних консолей обумовлюють роботу їх на зрушення, зминання бетону під виступами незначне, внутрішні тріщини не утворюються. Порухнення зчеплення у такої арматури відбувається тільки через зріз бетону при відносно невисоких зсувах. Розпір у цих профілів невеликий, що може позначитися корисним для арматури деяких видів залізобетонних конструкцій.

Оскільки зчеплення арматури в основному залежить від геометричних розмірів утворення бетонних консолей, то величини, що їх характеризують, слід вважати параметрами періодичних профілів арматури. Вони важливі для оцінки зчеплення існуючих видів арматури і створення найбільш ефективних нових видів профілів. Доцільно скористатися наступними параметрами.

Площа зминання бетону під виступами F_{cm} приймається рівною площі проекції виступу на площину, перпендикулярну осі стержня. Ця величина буде дорівнювати:

для круглих стержнів:

$$F_{cm} = \pi d_n K_{ox} h_{cp}; \quad (1.2)$$

для стержнів довільного перерізу:

$$F_{cm} = P_n K_{ox} h_{cp}; \quad (1.3)$$

де P_n і d_n — номінальний периметр або діаметр стержня;

h_{cp} — середня висота виступів (глибина впадин);

K_{ox} — коефіцієнт охоплення.

Коефіцієнт охоплення характеризує частку периметра, на якому розташовані виступи:

$$K_{ox} = 1 - \frac{\sum l_{oxi}}{P_n} \quad (1.4)$$

де l_{oxi} — довжина ділянок периметра, на яких поверхня стержня гладка.

Площа зрізу бетону між виступами F_{cm} приймається рівною площі поверхні між суміжними гранями виступів, за якої можливий зріз бетону для круглих стержнів:

$$F_{cp} = \pi d_1 K_{ox} S = \pi d_1 K_{ox} (t - b); \quad (1.5)$$

для стержнів довільного перерізу:

$$F_{cp} = PK_{ox} S = PK_{ox} (t - b), \quad (1.5)$$

де S - відстань між суміжними гранями виступів;

t - крок виступів;

b - ширина виступів у вершини;

d_1 - зовнішній діаметр стержня.

Опір ковзання стержнів різного діаметру і форми перерізу може бути оцінено співвідношенням площ бетону під виступами і зрізу між ними на одиниці довжини стержня до площі поперечного перерізу стержня.

Таким чином, відносна площа зминання бетону γ_m на ділянці, що дорівнює одному діаметру стержня, дорівнюватиме (для круглих стержнів):

$$\gamma_{cm} = \frac{F_{cm}}{F_{ct}} \cdot \frac{d_n}{t} = \frac{4 \pi d_n K_{ox} h_{cp}}{\pi d_n^2} \cdot \frac{d_n}{t} = 4 K_{ox} \frac{h_{cp}}{t} \quad (1.7)$$

Багато дослідників користуються як параметром тільки співвідношенням $\frac{h_{cp}}{t}$, а в окремих випадках параметром f_a («відносна поверхню виступу»), чисельно рівним $K_{ox} \frac{h_{cp}}{t}$.

Відносна площа зрізу бетону на ділянці, рівному діаметру, обчислюється за формулою:

$$\gamma_{cp} = \frac{F_{cp} \cdot \frac{dn}{t}}{F_{cm}} = \frac{4\pi K_{ox} S}{\pi dn^2} \cdot \frac{dn}{t} = 4K_{ox} \frac{t-b}{t} = 4K_{ox} \left(1 - \frac{b}{t}\right). \quad (1.8)$$

Важливо знати і співвідношення між площею зрізу бетону між виступами й площею змінання бетону під виступом:

$$\frac{F_{cp}}{F_{cm}} = \frac{\pi a^2 K_{ox} (t-b)}{\pi dn h_{cp} K_{ox}} \approx \frac{t-b}{h_{cp}} \quad (1.9)$$

Самостійним параметром треба вважати абсолютне значення висоти виступів h .

Для виявлення оптимальних параметрів арматури періодичного профілю доводиться опиратися на експериментальні дані, а також на ряд теоретичних залежностей, вдало апроксимуючих результати досліджень [9, 17].

Ефективність зчеплення зазвичай визначають за результатами випробувань стержнів на висмикування їх з бетону. Основним критерієм для оцінки зчеплення є величина зсуву стержня (g) на різних стадіях його навантаження. Необхідно знати величину максимальних напружень зчеплення і не тільки значення руйнівного навантаження, а й причину руйнування.

Можна сформулювати основні положення, якими слід керуватися при розробці ефективних видів гарчечкатоної стержневої арматури періодичного профілю:

1. Геометричні параметри стержнів арматури повинні забезпечувати отримання профілю, зминаючого бетон при зміщенні.

2. Основним параметром, що характеризує ефективність зчеплення, є величина відносної площі змінання бетону під виступами (γ_{cm}), оптимальне значення якого знаходиться в межах 0,6-0,8.

3 . Відносну площу зрізу бетону між виступами (γ_{cp}) доцільно призначати не менше 3 .

4 . Відношення площі зрізу до площі зминання має бути в межах 5 -10.

5 . Необхідно прагнути розташовувати виступи по всьому периметру стрижня , забезпечуючи найбільш повне охоплення (значення $K_{ox} \geq 0,9$) .

6 . Співвідношення між висотою виступів і номінальним діаметром стрижня слід призначати в межах 0,1-0,05 ; абсолютне значення висоти виступу бажано призначати можливо більшим.

7 . Форму поперечного перерізу виступу доцільно приймати трапецієподібної , що дозволить скоротити ширину виступу у вершини і мати похилу бічну поверхню (в середньому 60 °).

Такий вид стрижнів і встановлені геометричні розміри профілю забезпечують :

- оптимальне збільшення зчеплення арматури з бетоном , завдяки якому можна використовувати сталі з високим значенням межі текучості ;
- постійну по всій довжині стрижня розрахункову площу перерізу;
- можливість отримання арматури на звичайних прокатних станах , що випускають круглі гладкі стрижні , без зниження їх продуктивності.

Геометричні розміри стержнів періодичного профілю встановлювалися з таким розрахунком , щоб їх номінальний діаметр відповідав діаметрам рівновеликих за площею круглих гладких стрижнів. Іншими словами об'єм металу (маса) стержнів періодичного профілю даного номінального діаметра практично дорівнює об'єму (масі) круглого гладкого стержня того ж діаметру. У середньому по всьому сортаменту стержнів періодичного профілю відхилення їх розрахункової площі від площі відповідних гладких круглих стрижнів складає всього 0,8 %.

Висота виступів і відстань між ними призначалися відповідно до рекомендацій , що містяться в попередньому розділі , з урахуванням вимог технології прокату.

Прийняті розміри профілів забезпечили по всьому сортаменту високі значення відносної площі зчеплення бетону під виступами (в середньому $\gamma_{cm} \approx 0,7$). У стрижнів діаметром від 9 до 28 мм вони близькі до граничного рекомендованого значення $\gamma_{cm} = 0,8$. Із зменшенням діаметра стрижнів до 12 мм значення γ_{cm} поступово знижуються до 0,6 . Для стрижнів малого діаметра (6 - 10 мм) значення γ_{cm} ще менше (0,55-0,36) . Це пояснюється тим , що у таких стрижнів умови анкерування в бетоні кращі , ніж у більших стрижнів. Відношення площі зрізу бетону між виступами до площі зчеплення у середньому дорівнює 5 , хоча і змінюється в залежності від діаметра стрижнів від 9 до 4 , що цілком припустимо. Значення відносної площі зрізу близько до рекомендованого.

Висота виступів призначалася таким чином , щоб співвідношення її значень з діаметром стрижня не залишалось постійним. У стрижнів діаметром 10-14 мм воно близьке до 0,1 , а з збільшенням діаметрів поступово зменшується до 0,05-0,04 . Для катанки (6-9 мм) воно складає 0,07-0,08 . Це викликано як умовами прокату стрижнів , так і бажанням отримати якомога більшу абсолютну висоту виступів, особливо у стрижнів дрібного сорту , призначених в основному для виготовлення збірних залізобетонних конструкцій.

При розробці профілів було враховано низку вимог , пов'язаних з технологією їх прокату . Розташування виступу по гвинтових лініях забезпечило індустріальний метод калібрування валків. Нарізка кочавок для виступів в струмах може проводитися на звичайних зубофрезерних верстатах. Подовжні ребра зроблені для полегшення прокату. Вони утворюються в роз'ємі валків під час прокату, забезпечуючи отримання необхідної форми виступів. Висота ребер прийнята також ж , як у виступів , а ширина - мінімальною з метою досягнення найбільшого охоплення виступами периметра стрижня , що дозволило досягти високих значень коефіцієнта охоплення ($\alpha_{ox} = 0,9 \dots 0,95$) .

На звичайних прокатних станах не забезпечується абсолютна синхронність роботи валків й тому не можна домогтися постійного збігу виступів. Відбувається їх відносне зміщення по обидва боки ребер. Однак воно не призводить до зміни площі поперечного перерізу всього стрижня і не впливає на зчеплення. Завдяки розташуванню виступів по трьох асиметричних гвинтових лініях площа зберігається постійною як у верхній, так і у нижній половинках стрижня. Наявність поздовжніх ребер дозволяє м'якшати напрям нахилу виступів з різних сторін стрижня і тим самим легко розрізняти арматуру різних класів по зовнішньому вигляду.

Специфіка прокатки стержнів періодичного профілю, яка впливає на встановлення раціональної форми й розмірів виступів, полягає в тому, що періодичний профіль стрижня формується в процесі прокатки на останніх «частових» клітках з стрижня, що має овальну форму. Окружна швидкість в глибині калібру валка (v_0) менше, ніж на його зовнішній поверхні (v_n). Різниця швидкостей залежить від глибини калібру (діаметру прокатуваного стрижня), і діаметра валка. Швидкість виходу круглих гладких стрижнів близька до окружної швидкості в глибині калібру, при цьому відбувається як би «пробуксовка» між поверхнею стрижня і калібру у роз'єму валків. Стержні періодичного профілю не можуть «пробуксовувати», тому швидкість їх виходу ($v_{ст}$) проміжна між v_0 і v_n . Так, для стержнів діаметром 60-90 мм вона може становити $v_{ст} = 1,154v_0$ [22].

Форма виступів, маючи тупий кут при вершині і викружки радіусом більше їх висоти, забезпечує краще фермування металу в калібрі і нормальний «випуск» виступів. Якщо виступи мали бічну поверхню, перпендикулярну осі стрижня, вони завжди би «знослися». Виступи більшої висоти пізніше виходять із зачеплення з валками і тому більше схильні знесенню. Це пов'язано, звичайно, і з величиною співвідношення діаметра прокатуваного стрижня з діаметром валка.

Слід зазначити, що особливість прокатки стержнів періодичного профілю дозволила збільшити продуктивність прокатних станів у порівнянні

з випуском гладких круглих стержнів. Це повністю компенсує додаткові витрати по фрезеруванні валків.

Встановлені розміри стержнів періодичного профілю були включені в Рекомендації по стандартизації Ради Економічної Взаємодопомоги РС-386-66 і прийняті у відповідних національних стандартах країн - членів РЄС.

В інших країнах також регламентуються геометричні розміри і параметри арматури періодичного профілю. Наприклад, в США встановлені значення мінімальної висоти виступів і граничної відстані між ними, а також граничний розмір ділянки периметра, не охопленого виступами. У ФРН в останні роки введено спеціальний параметр для оцінки ефективності періодичних профілів арматури - « відносна площа виступів » f_a чисельно рівна $0,25 \gamma_{cm}$. При цьому геометричні розміри періодичних профілів різного виду підібрані з таким розрахунком, що значення параметра f_a у них зрештою відповідає мінімально допустимому його значенню ($0,065$). Співвідношення між висотою виступів і діаметром стержнів зазвичай зберігається постійним по всьому діаметру і дорівнює $0,04-0,05$. Таким чином, у вітчизняних стержнів періодичного профілю відносна площа змінання бетону під виступами в 2-3 рази більше, ніж у профілів арматури, що випускаються в США і ФРН.

Для стержнів великого діаметра абсолютне значення висоти виступів усюди зближуються, а у стержнів невеликого діаметру вони в 1,5-2 рази більше. Очевидно, що ефективність зчеплення арматури періодичного профілю, що випускається у нас в країні, значно вище, ніж у ряді країн. Таке положення пояснюється специфічними вимогами до арматури, що визвані особливостями розвитку вітчизняного залізобетону. Для збірних конструкцій, які є основним видом залізобетону, необхідно забезпечити підвищену надійність закладення кінців арматури на опорних ділянках, довжина яких, як правило, дуже обмежена. Відмінна риса вітчизняних переважно напружених конструкцій полягає в переважному використанні високоміцної стержневої арматури періодичного профілю, передача напруг

від якої на бетон в торцях елементів здійснюється тільки за рахунок зчеплення.

При статичних навантаженнях періодичний профіль не робить помітного впливу на механічні характеристики арматури. Однак межа витривалості такої арматури значно нижче, ніж у гладкої. В результаті досліджень встановлено, що найбільш небезпечними вогнищами втомного руйнування стрижнів є місця припинення поперечних виступів до поздовжніх ребер, а також місця сполучень виступів з тілом стрижня.

Розроблений профіль нового типу складається з двох змінних елементів: напівкруглих пологих поглиблень і виступів (рис. 1.6). Кожен з цих елементів виконує певну функцію. Пологі поглиблення (западини), радіус поверхні яких дорівнює приблизно $10 h_e$, забезпечують плавний перехід до циліндричного тілу стрижня. Цим досягається зниження рівня концентрації напруг і створюються сприятливі умови для залучення виступів в роботу стрижня. Поперечні виступи (гребені) у поєднанні з западинами забезпечують надійне зчеплення з бетоном. Виступи мають «серповидну» форму - висота їх у середині стрижня найбільша, а потім зменшується в міру наближення до поздовжніх ребер, до яких виступи не доходять. Цим усувається перетин виступів і ребер, а тим самим і концентрація напруг.

Відстані між виступами прийняті приблизно в 1,5 рази більшими, ніж у стрижнів. Повна висота виступів h , що включає глибину западини h_e і висоту «гребеня» h_g , також збільшена з тим розрахунком, щоб забезпечити необхідну величину відносної площі зчеплення (τ_{cm}). Стрижні з новим профілем вигуускаються за спеціальними технічними умовами і показали при випробуваннях більш високу міцність зчеплення, ніж стрижні із звичайним профілем, що пояснюється деяким збільшенням поверхні різку бетону [35].

Рис. 1.6. Періодичний профіль арматури по ЧМТУ 1-944-70

а - загальний вигляд стрижня; б - деталь профілю (розріз)

1.5 Методи захисту арматури від корозії

В конструкціях виробничих будівель і споруд, що експлуатуються в умовах дії агресивних середовищ, в залежності від виду середовища і ступеня агресивного впливу передбачають первинний, а для ряду середовищ і вторинний захист від корозії.

Залізобетонні конструкції, експлуатовані в умовах впливу газоподібного середовища (слабо- і середньоагресивному), захищаються первинним захистом, а для забезпечення довговічності конструкцій, експлуатованих в умовах дії рідких середньо- і сильноагресивних середовищ, рекомендують застосовувати способи як первинного, так і вторинного захисту.

Різні підходи в механізмі депасивації сталі і ступеня вивченості кінетики взаємодії середовища з бетоном призводить до необхідності по-різному підходити до вирішення питань захисту залізобетону. В одних випадках необхідно забезпечити щільність бетону, не вдаючись до захисту поверхні, в інших - застосування інгібітора, в третьому - лакофарбовими покриттями, в четвертих - застосувати активні методи захисту.

Для конструкцій, у яких пристрій захисту поверхні ускладнено, СНиП рекомендує первинний захист за рахунок застосування спеціальних видів цементу, регулювання заповнювача, підбору складу бетону, введення добавок, підвищення щільності бетону, обмеження тріщиностійкості бетону, нормування товщини захисного шару та ін.

Наприклад, використання в бетонах замість звичайного портландцементу сульфатостійкого цементу дозволяє розширити область застосування бетонів без додаткового (вторинного) захисту. В умовах сульфатної корозії може бути використаний бетон на низькальцієвому цементі. Захисні властивості алітних цементів вивчені І. І. Курбатовою і В. Ф. Степановою.[20]

Вдома механіко-хімічна активація цементу шляхом домолу у присутності твердого суперпластифікатора нафталінформальдегідного типу. С. Г. Еншерловою, В. Б. Ратиноюю та ін [16] доведено зростання захисних

якостей отриманого на його основі бетону по відношенню до сталевій арматури .

Зменшення ширини розкриття тріщин в бетоні є одним з ефективних методів первинного захисту конструкцій із залізобетону. Однак , підвищення вимог з тріщиностійкості призводить до збільшення вартості конструкції.

Знайшов застосування у будівництві самонапружений залізобетон на основі напружувачого цементу, що підвищує його тріщиностійкість і зменшує водонепроникність . Швидкість корозії арматури при цьому знижується.

На збільшувальну міру корозійну швидкість арматури в бетоні забезпечує застосування щільних бетонів. Щільність бетону досягається підбором зернового складу заповнювача, зменшенням водоцементного відношення , технологічними прийомами (вібрація , вакуумування , режим твердіння та ін.) . Зниження агресивного середовища може також досягнуто ущільненням навколишнього бетон- середовища . У працях Ф. М. Іванова та інших дослідників доведено залежність корозостійкості бетону від характеристик його структури . Розробкою складів щільних бетонів займалися Субботкін М. І. , В. Є. Бессонов , С. А. Шмаков та інші.

Поліпшення захисних якостей бетону по відношенню до арматури , зниження водоцементного відношення , підвищення пластичності бетону може бути досягнуто при використанні різних добавок інгібіторів , пластифікаторів.

Важливою галузю в розвитку науки про захисту арматури залізобетонних конструкцій від корозії стала праця вчених НДІЗБ С. Н. Алексєєва , В. Б. Ратинова , Н. П. Розенталя , Н. М. Капурнікова з дослідження інгібіторів . Узагальнено вітчизняний та зарубіжний досвід щодо захисту арматури залізобетонних конструкцій за допомогою інгібіторів , в тому числі в агресивних хлоридних середовищах , в бетонах із зниженими захисними властивостями , в тріщинах

А. С. Алексеевим, Н. К. Резенталем досліджено поєдінку найбільш застосовуваного інгібітора - нітрату натрію. Дослідження І. І. Курбатової і В. Ф. Степанової [20] дають можливість підвищити захисні властивості бетону по відношенню до сталі за рахунок введення в бетон й інших спеціальних добавок.

Найважливішим показником захисних якостей бетону по відношенню до арматури є товщина захисного шару. Зі збільшенням товщини бетону над арматурою захисні якості його поліпшуються.

У важких умовах експлуатації застосовують конструкції з хімічно стійких бетонів. Кислототривкий бетон отримують завором рідким склом кислототривких заповнювачів. Особливістю таких бетонів є збільшення щільності і міцності.

А. Н. Піменовим, В. М. Борисенко проведені дослідження з оптимізації складу кислотостійкого бетону на основі рідкого скла і герліту. Кислототривкими бетонами займався В. М. Московін. Істотним недоліком кислототривких бетонів є те, що сталь в них практично не пасивується.

Більш вигідні модифіковані кислотостійкі бетони - полімерсилкатбетон. Завдяки введенню спеціальних добавок вдалося поліпшити якість бетону.

Одним з найбільш перспективних серед хімічно стійких бетонів є полімербетон. Роль зв'язуючого в ньому виконують синтетичні смоли. Головними перевагами полімербетонів є: висока щільність, кислото- і лугостійкість, висока міцність. Завдяки високій стійкості полімербетон надійно ізолює арматуру від дифузійного проникнення агресивних середовищ. Основним недоліком таких бетонів є висока вартість і випуск конструкцій з нього не завжди рентабельний.

Для захисту залізобетонних конструкцій рекомендує застосовувати різні покриття. В умовах газоподібного і твердого агресивного середовища рекомендуються звичайні лакофарбові покриття. Лакофарбові покриття

залежно від умов експлуатації можуть виконуватися з різних матеріалів: бітумні, олійно-бітумні, перхлоретилові, епоксидні та ін.

Лакофарбові матеріали мають кілька різновидів, які відрізняються своїми захисними властивостями, складом. Це: грунтовки, шпаклівки, оливи, емалі. Для зменшення пористості в умовах агресивних впливів чіпляють багатошарові лакофарбові покриття. Якість покриття залежить від типу матеріалу, підготовки поверхні, дотримання технологічного регламенту при нанесенні покриття. Захисні лакофарбові покриття в умовах агресивних середовищ мають обмежений термін служби, який не перевищує 4 - 8 років.

З розробки та впровадження лакофарбових покриттів для конструкцій, експлуатованих в агресивних виробничих умовах, проведено дослідження І. В. Дичейдерової.

Знайшли застосування для захисту конструкцій армовані лакофарбові покриття. Вони більш міцні. В якості армуючого матеріалу в них найчастіше використовують склотканину. Однак пристрій такого захисту є трудомістким. Вимагає ретельного вирівнювання поверхні для виключення утворення порожнин, пазух, де може накопичуватися агресивне середовище. Більш технологічні для захисту еластomers або мастичні покриття. Покриття з еластomers наносять на бетонну поверхню в кілька шарів з хімічно стійких складів на основі різних матеріалів. Пристрій таких покриттів вимагає суворого дотримання технологічного регламенту, якісної підготовки поверхонь.

У деяких працях показано, що покриття на основі поліуретанових смол можна наносити на вологу бетонну поверхню. Однак не завжди вдається досягти еластичності захисного покриття в широкому діапазоні температур. Крім того, при деформації конструкції і, особливо, при появі тріщин плівковий захист втрачає свої захисні властивості.

Застосовуються методи гідрофобізації поверхні бетону (наприклад, кремнійорганічними складами та ін). У розробці таких складів взяли участь І. М. Москвін, В. Г. Батраков та ін.

Для гідрофобізації бетонних поверхонь застосовують поліетилгдросілоксанову рідину ГКЖ - 94 , алкілсилікати натрію ГКЖ 10 , ГКЖ - 11 та ін. Гідрофобізація здійснюється обробкою поверхонь водними їх розчинами або розчинами в уайт-спіриті , гасі.

Поліпшення фізико -механічних характеристик бетону можливо добитися просоченням його синтетичними мономерами . Для цієї мети використовують бітуми, лаки , смоли . Подібні просочення призводять до кольматації порової

структури просочуваних виробів. В [18] показано, що водні дисперсії вінілового ряду можуть бути використані як просочувальний матеріал для підвищення корозостійкості бетону. Принципово нові якості бетону отримані при просоченні мономерами з подальшою полімеризацією в поровій структурі. Однак цей метод накладає ряд вимог. По-перше, просочувальний матеріал повинен мати мінімальну в'язкість, велику змочуваність, хорошу адгезію з бетоном, зведення його і затвердіння - не складно і доступно.

Є відомості про просочування бетонів дивінілацетиловим лаком.

При існуючому дефіциті хімічно стійких лакофарбових матеріалів вони замінюються більш доступними торкрет- покриттями. Розроблено такі покриття на основі силікатних і органосилікатних композицій. В умовах дії агресивних середовищ застосовують різні листові і рулонні покриття. Однак вони мають недостатню міцність і технологічно складні при влаштуванні. Лише плівка з профільованого поліетилену і поліхлорвініловий еластикат знайшли застосування в будівельній практиці . Застосовуються хімічно стійкі облицювання з листового поліетилену або поліетиленових труб.

В особливо важких умовах експлуатації залізобетонні конструкції захищаються спеціальною футеровкою . Футеровка конструкції виконується , як правило , комбінованою : зовнішній шар (кислотопривка цегла , блоки , плити) , прошарок (розчини , мастики) , непроникний хімічно стійкий підшар (еластомери , рулонні матеріали та ін) . Футеровка є найбільш

трудомісткою і матеріаломісткою з усіх існуючих видів антикорозійного захисту.

У агресивних середовищах захисні покриття бетону не дають очікуваного ефекту. Про це говорять результати обстежень стану захисних покриттів трестом Укрмонтажхімзахист на підприємствах різних галузей промисловості.

Одним з методів боротьби з електрокорозією залізобетону є додання електроізоляційних властивостей бетону. Т. Г. Крачченко (НДІЗБ) запропонував зводити в бетон кремнійорганічні олігомери і парафіни, що підвищує електроопір бетону. Однак, при цьому спостерігається зниження міцності бетону на 20-30%.

За участі Т. Г. Крачченко розроблена Інструкція по захисту залізобетонних конструкцій від корозії, що викликається блуждаючими струмами, в якій наведені показники небезпеки і захищеності, заходи пасивного захисту залізобетонних конструкцій, заходи активного захисту залізобетонних конструкцій. Нормами пропонуються наступні заходи захисту залізобетону від електрокорозії: обмеження струмів витоку (на джерелах блукаючих струмів), пасивний захист (застосування бетонів з високою маркою за водопрохідністю, виключення з бетону добавок, що підвищують його електроопір, призначення збільшеної товщини захисного шару бетону, обмеження ширини розриву тріщин), активний (електрохімічний) захист.

Введення до складу сталі легуючих добавок може сильно загальмувати корозію. Основними легуючими компонентами, що підвищують корозійну стійкість сталі, є кремній, хром, нікель.

Однак, хімічно стійкі нержавіючі сталі в даний час дефіцитні. Крім того, при дії агресивних середовищ на попередньо напружені елементи може бути корозійне розтріскування сталей. Небезпека цього виду корозії полягає в здатності високоміцної арматури раптово руйнуватися без будь-яких зовнішніх ознак.

У промисловому середовищі цинкові покриття руйнуються швидше алюмінієвих. Однак, відомо, рідка фаза в бетоні має лужний характер і взаємодіє з алюмінієвим покриттям.

Розроблено спосіб захисту арматури формуванням на її поверхні анодних плівок. Повітряється про поверхнєве дифузійне легування арматурних сталей хромом з метою підвищення їх корозійної стійкості. Однак виникає небезпека появи знеутрацьованих зон під захисним шаром, що може призвести до зниження їх механічної міцності.

Для збереження пасивного стану сталі в бетоні, покритої іржею, існують різні способи, в тому числі ті, що передбачають використання перетворювачів іржі. Пасивність сталі при цьому забезпечується в результаті створення на поверхні металу захисної плівки, що представляє собою будьякі з'єднання цього металу. Традиційні перетворювачі - різні солі і кислоти. Однак застосування в будівельній практиці їх обмежене, оскільки вони вимагають спеціальних технічних рішень, а самі перетворювачі екологічно «брудні».

На жаль, у вітчизняній практиці не знайшов застосування конструктивний метод захисту арматури конструкцій будівель і споруд, за рахунок розробки корозостійкого профілю арматури

РОЗДІЛ 2

МЕТА ТА ТЕОРЕТИЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ

Мета дослідження

Об'єкт дослідження – арматура періодичного профілю.

Предмет дослідження – утворення профілю підвищеної корозостійкості.

Задачі дослідження:

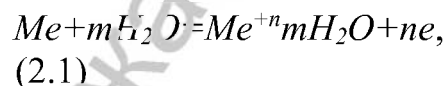
- вивчити процеси електрохімічної корозії металу арматури;
- виявити фізико-хімічні явища на поверхні арматури в процесі її корозії;
- вивчити характер розподілу корозійного струму на арматурі періодичного профілю.

Теоретичне обґрунтування

2.1 Загальні відомості про електрохімічну корозію.

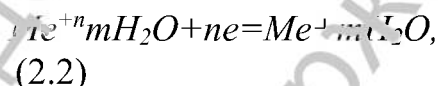
При анодному процесі йде перехід атомів металу з розчини у вигляді гідратних іонів із залишком від'ємної електрики на металі, яка дорівнює сумарному заряду іонів, що не вийшли у розчин. Це загальним результатом двох процесів:

- 1) гідролізація



швидкість якою в одиницях щільності струму є \vec{i}_a

- 2) процес розряду цих іонів на поверхні металу:



швидкість якою в одиницях щільності струму \vec{i}_a із виділенням нейтральних атомів Me .

При цьому: $|\vec{i}_a| = |\vec{i}_c|$, т.б. реальна швидкість анодного процесу:

$$i_a = \vec{i}_c + \overleftarrow{i}_a \quad (2.3)$$

Рівняння (3) треба сприймати як алгебраїчну суму. За напрямком щільності струму в електродинаміці прийнято напрямок руху позитивних зарядів у просторі. Складовою орієнтації напрямку у просторі при чужості розділу між металом і електролітом є напрямок вектору перпендикулярного елементу, що вивчається. Вектори i_a та \vec{i}_c , позитивні, тоді \overleftarrow{i}_a - негативний.

Анодний процес йде з накопиченням електричного заряду, тобто зі збільшенням абсолютного значення потенціалу металу, йде його електрична поляризація.

Катодний процес. Надлишок негативних електронів асимілюється якимись іншими іонами або молекулами сполук, які знаходяться в електроліті (виключаючи іони взятого металу).

Сполуки за допомогою яких реалізується катодний процес називаються деполіаризаторами. Вони позначаються як Д.

Реакція катодного процесу асиміляції електронів записується у вигляді:



$[Dne]$ - утворення, яке відбуло в наслідок поєднання n електронів до деполіаризатора.

Швидкість реакції (2.4) визначається в одиницях щільності струму \overleftarrow{i}_k . Щільність струму \overleftarrow{i}_k негативна. Вона визначає відток негативно електрики із металу в розчин.

Одержані електрони деполіаризатор відновлюються. Реакція (2.4) називається відновлючою.

Одначасно є зворотній процес виділення електронів - реакція окислення.



швидкість якою $\vec{i}_k \leftarrow i_k$

Реальна швидкість катодного процесу $i_k = \overleftarrow{i}_k + \overrightarrow{i}_k$.

При катодному процесі зменшується електричний заряд на металі, тоді зменшується його абсолютна величина. Метал деполіризується.

Коли катодний процес відсутній, а при анодному відбувається рівноважний обмін зарядами, то

$$|\overrightarrow{i}_a| = |\overleftarrow{i}_a|, i_k = 0.$$

Таким чином біля поверхні металу встановлюється визначена концентрація іонів металу. На самому металі виникає рівноважний (зворотній) електродний потенціал, який визначає зміну енергії при переході іона з металу в розчин:

$$(\varphi_M)_{обр} = (\varphi_M)^0 + \frac{RT}{nF} \ln m^+ \gamma, \quad (2.6)$$

де: $(\varphi_M)_{обр}$ - стандартний потенціал металу при $m^+ \gamma = 1$, В

$R = 1,987 \text{ кал/град} \cdot \text{моль}$ - газова постійна;

T - абсолютна температура;

n - валентність іонів;

$F = 23062 \text{ кал/г.екв.}$ - стала Фарадея;

m^+ - концентрація металу в розчині;

γ - середній коефіцієнт активності.

Для рівноважного процесу: $Fe \rightleftharpoons Fe^{2+} + 2e$

Рівноважний потенціал заліза $(\varphi_{Fe})_{обр}$ залежить від виду електроліту та температури.

При відсутності анодного процесу (наприклад метал інертний, його іони не переходять у розчин), електрони металу беруть участь лише в реакціях (2.4) й (2.5). При встановленні рівноваги $|\overrightarrow{i}_a| = |\overleftarrow{i}_a|$, $i_k = 0$, на металі встановлюється рівноважний (зворотній) окислювально-

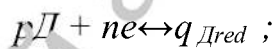
відновлюваний потенціал, який залежить від активності денольризатора D та його відновлювальної форми

$$D_{red} = [D_{ne}],$$

$$(\varphi_D)_{obr} = (\varphi_D)_{obr}^0 + \frac{RT}{nF} \ln \frac{a_D^p}{a_{D_{red}}^q}, \quad (2.7)$$

де: $(\varphi_D)_{obr}^0$ - рівноважний потенціал при активності рівній 1,

a_D й $a_{D_{red}}$ - активність окислювача й його відновлювальної форми відповідно.



p й q - коефіцієнти в різниці окислювально - відновлювальної реакції (кількість молекул окислювача та його відновленої форми).

Для таких найбільш конкретних окислювачів, як кисень (відновлювальна форма OH^-) та іони водню H^+ (відновлювальна формула - аморфний водень H_2), рівноважний потенціал залежить від pH розчину.

Необмежене накопичення електричного заряду при електрохімічній корозії не відбувається.

Характеристика зарядженості металу (його електродний потенціал)

встановлюється на відповідному рівні між $(\varphi_M)_{obr}$ і $(\varphi_D)_{obr}$.

Це означає, що одночасно з потенціалом зарядів в анодному процесі є точнісінько такий же потік зарядів в зворотньому напрямку в катодному процесі:

$$i_a + i_k = 0 \quad (2.8)$$

Встановлений на металі в даному випадку потенціал вже не буде рівноважний (зворотнім), так, як в переносі зарядів беруть участь різноманітні іони і рівноважність в обміні однорідним іонами відсутня:

$$i_a \neq 0; i_k = -i_a \neq 0;$$

Такий потенціал називається незворотнім електродним потенціалом. Значення його визначається швидкістю протікання електродних процесів й не може бути розраховано термодинамічно.

Сталі за часом значення незворотного потенціалу називається стаціонарним або потенціалом корозії (ϕ_c).

Для електрохімічних процесів на поверхні металу характерна залежність потенціалу металу ϕ , або здвигки $\Delta\phi$ відносно рівноважного, від щільності струму для анодного процесу,

$$\Delta\phi_a = \phi - (\phi_c)_{обр} = f_a(i_a), \quad (2.9)$$

та катодного процесу;

$$\Delta\phi_k = \phi - (\phi_c)_{обр} = f_k(i_k). \quad (2.10)$$

Це явище називається поляризацією.

В теорії електрохімічної корозії розглядається два механізми корозійного процесу: гомогенний й гетерогенний.

Гомогенний - потенціалоутворюючі реакції (анодна і катодна реакції) одночасно протікають на одній і тій же ділянці металу, тобто по відновленню до можливості реалізації цих реакцій поверхня корозуючого металу однорідна (гомогенна).

В цьому випадку корозійний процес визначається тільки з використанням електрохімічної термодинаміки й кінетики; а використання законів

електродинаміки, в тому числі й закон Ома, рахується невідповідним.

Гомогенний механізм корозії спостерігається при вивченні корозії (розчинення) спектрально чистого металу, електродів із амальгамами й тому подібне

Відповідно гетерогенному механізму (теорія локальних елементів) поверхня корозуючого металу по відношенню до анодного й катодного

процесів представлена неоднорідною (гетерогенною). Відбувається просторове розділення цих процесів. На одних ділянках поверхні протікають анодний, а на інших - катодний процеси. В силу чого для корозії необхідне переміщення зарядів вздовж границі розділу фаз: в металі - електронів, в електроліті - іонів.

Внаслідок такої локалізації анодного й катодного процесів уся поверхня представлена, як сукупність площин (анодів і катодів короткозамкнута гальванічних елементів), струм яких віднесений до одиниці площі анодів, буде характеризуватись швидкість корозії.

В загальному випадку площа анодної ділянки S_a не дорівнює площі катодних S_k й умова відповідності приймає вигляд:

$$i_a S_a = i_k S_k$$

(2.11)

Для визначення процесу корозії по гетерогенному механізму використовується електродинаміка у вигляді простої форми закону Ома.

$$i_{кор} = i = \frac{I}{S_R};$$

(2.12)

$$V_a = \varphi_{a/обр} + \Delta\varphi_a(i_a);$$

(2.13)

$$I_a = I_{жс} = \frac{V_k - V_a}{R} = (i_k S_k + \Delta\varphi_k(i_k));$$

(2.14)

де:

$i_{кор}$ - швидкість корозії;

$I_{жс}$ - струм гальванічного елемента;

V_a, V_k - ефективні електродні потенціали аноду й катоду;

$\varphi_{a/обр}, \varphi_{k/обр}$ - зворотні потенціали аноду й катоду;

$\Delta\varphi_a(i_a), \Delta\varphi_k(i_k)$ - змітка потенціалів від зворотніх, як функція швидкостей реакції i_a й i_k [функції зворотні залежностям (2.9) й (2.10)].

Якби анодні і катодні ділянки були б ізольовані один від одного ($I_{\text{жс}} = 0$),

то:

$$V_k - V_a = (\varphi_{k/\text{обр}} - (\varphi_{a/\text{окт}})), \quad (2.15)$$

Різниця потенціалів $(\varphi_{k/\text{обр}} - (\varphi_{a/\text{окт}}))$ - це е.р.с. гальванічного елемента,

$V_k - V_a$ - діюче напруження на його зажимах, коли в його ланцюзі тече струм; R - опір зовнішнього ланцюга.

Для коротко замкнутих елементів $R = 0$; $R \approx 0$; $V_k - V_a \approx 0$; $I_{\text{жс}} = I_{\text{жс}}^{\text{max}}$.

Просторовий поділ анодного і катодного процесів більш вигідні енергетично, так як вони локалізовані на цих ділянках, де їх проходження обмежене.

Гетерогенний механізм спостерігається при корозії різних сплавів, для яких характеризується електрохімічна неоднорідність поверхні.

Корозія по гомогенному механізмі рівномірна, а по гетерогенному - ні. В більшості випадках в загальному процесі корозії обоє механізмів діють разом й одночасно.

Поверхня металу є сукупністю ділянок, розміри якої на багато разів більше товщини подвійного електричного шару, існуючого на границі металу з електролітом. Для таких ділянок металу залишаються правомірні поняття «електрод», електродний потенціал. Абсолютні розміри ділянок достатньо малі в їх межах фізико-хімічні властивості металу і електроліту сталі.

Анодна і катодна реакції йдуть по гомогенному механізмі при однорідній поверхні металу, якщо ділянки його електрично не зв'язані один з одним.

В загальному випадку кінетика анодного і катодного процесів відрізняються від ділянки до іншої ділянки, залишаючись сталою в межах кожної з них. В відповідності з гомогенним механізмом, метал на кожній такій ділянці буде мати тільки йому притаманний стаціонарний потенціал та швидкість корозії.

Нехай поверхня металу складається із двох розділених ділянок I й II, площини яких відповідно S_1 й S_2 . (рис.2.1.)

Рис. 2.1

Кінетика анодної та катодної реакції для ділянки I (рис. 2.1) характеризується частими поляризаційними діаграмами A_1A_1 й K_1K_1 , для ділянки II - A_2A_2 й K_2K_2 .

На ділянці I стаціонарний потенціал й швидкість корозії $-\varphi_{c1}$ й i_{c1} , а на II - $-\varphi_{c2}$ й i_{c2} .

Операція по розділенні макроповерхні на ділянки називається гомогенізацією, а утворена при цьому поверхня - гомогенною.

Основна властивість цієї поверхні - процес корозії йде на будь-якому елементі по гомогенному механізмі, не залежно від інших елементів.

На дійсній поверхні гомогенні ділянки з'єднані між собою. Розглянемо приклад переходу від гомогенної поверхні до дійсної (рис. 2.2).

Так як, I має потенціал φ_{c1} , а II - φ_{c2} , тоді після усторонення електроізоляції між ними виникає електрострум, який націлений зрівняти потенціали ділянок. Цей зрівноважуючий струм поширюється в якомусь об'ємі металу та електроліту.

Утворюється електрополе сталого струму. У ньому $\varphi_{c2} < \varphi_c$, ділянка II стає анодною, а I катодною.

В процесі зрівнювання φ_{c2} змінюється у позитивному напрямку (анодна поляризація), а φ_{c2} - в негативному (катодна поляризація).

Розподіл щільності струму поля буде залежати:

- від форми поверхні просторового розміщення, характеристик металу та інше.

Для знаходження розподілу вводяться функції:

\mathcal{U}_0 - характеризує електричне поле сталого струму в електроліті.

\mathcal{U}_M - характеризує електричне поле сталого струму в металі і задовольняє рівняння Лапласа:

$$\mathcal{U}_{0,M} = 0 \quad (2.16)$$

Треба побудувати таке рішення (2.16), для якого на поверхнях обох ділянок реалізуються граничні умови рівності потенціалів (2.18):

$$\mathcal{U}_c - \mathcal{U}_0 = \varphi_c - \Delta\varphi_c \quad (2.17)$$

і формальних складових щільності струму:

$$i = \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial \varphi}{\partial n}; \quad i_{n.m.} = \frac{1}{\rho_m} \cdot \frac{\partial \varphi_n}{\partial n}; \quad (2.18)$$

де:

(ρ_d, ρ_m - питомий електроопір електроліту та металу, Ом;

n - напрямом нормалі до поверхні ділячки.

В такій постановці задачі визначення корозії гетерогенної поверхні металу разом зв'язуються закони електродинаміці і електрхімічної кінетики.

Більш детальний розв'язок задачі робиться методами математичної фізики.

2.2 Фізико-хімічні явища на поверхні арматури звичайного періодичного профілю

При вивченні корозійних процесів на арматурі необхідно враховувати фізико-хімічні явища, які мають місце при контакті рідини з твердою поверхнею. Перш за все йде процес розтікання рідини до утворення крайового кута, межа якого визначається напрямком векторів поверхневого натягу середовищ "рідина – газ" і "метал – рідина" ($\sigma_{кг}$ і $\sigma_{тж}$).

Змочування поверхні арматури періодичного профілю в порівнянні з гладкою має ряд особливостей. Наявність виступів на поверхні арматури призводить до пропорційного збільшення питомої вільної поверхневої енергії (поверхневого натягу).

$$\sigma_{тж}^{\Pi} = k \sigma_{тж} \quad (2.19)$$

де $\sigma_{тж}^{\Pi}$ - поверхневий натяг рідини на арматурі періодичного профілю;

$\sigma_{тж}$ - поверхневий натяг на гладкій арматурі;

k - збільшення площі контакту рідини на поверхні періодичного профілю в порівнянні з поверхнею гладкої арматури.

Відповідно до рівняння Венделя – Дерюгіна:

$$\cos \theta^{\Pi} = k \cos \theta \quad (2.20)$$

де θ'' , θ – крайові кути змочування рідиною на поверхні арматури періодичного профілю і гладкої.

Так як $\kappa > 1$, то $\cos \theta'' > \cos \theta$, а $\theta'' < \theta$, тобто наявність періодичного профілю арматури призводить до зменшення крайового кута і, отже, до покращення змочування арматури.

Крайовий кут, який утворюється на періодичному профілі арматури θ'' (рис. 1), визначається крайовим кутом θ і кутом φ , що характеризує нахили поперечних виступів.

$$\theta'' = \theta + \varphi \quad (2.21)$$

Кут φ може бути визначений за формулою:

$$\operatorname{tg} \varphi = -\frac{dy}{dx} \quad (2.22)$$

Кут φ є змінною величиною и залежить від місця зіткнення фронту рідини з поверхнею арматури. На ідеалізованій поверхні арматури періодичного профілю (рис. 2.3)

висота виступу може бути визначена за формулою:

$$y = h \left(1 + \cos \frac{2\pi x}{t} \right) \quad (2.23)$$

де y , h – поточна і максимальна висоти виступів відповідно;

t – відстань між сусідніми виступами.

Із рівнянь (2.22) і (2.23) можна отримати наступний вираз для визначення φ :

$$\varphi = \operatorname{tg}^{-1} \left(\frac{2\pi h}{t} \sin \frac{2\pi x}{t} \right) \quad (2.24)$$

Фактичне значення кута φ змінюється від мінімального до максимального, тобто $\varphi_{\min} \leq \varphi \leq \varphi_{\max}$. Максимальний кут φ_{\max} буде при $\sin \frac{2\pi x}{t} = 1$. Мінімальний – φ_{\min} при $\sin \frac{2\pi x}{t} = -1$

В табл. 2.1 для арматурної сталі періодичного профілю звичайного виготовлення по ГОСТ 5781-82 наведені значення σ_m і κ профілів від №6 до №50 при різних $\frac{h}{t}$.

Таблица 2.1

Значення φ_{\max} і K для арматури періодичного профілю

	$\frac{h}{t}$		φ_{\max}°		K		φ_{\max}°

З наведених даних виходить, що при збільшенні відношення $\frac{h}{t}$ від 0,1 до 0,222, тобто більше, ніж в два рази, кут φ_{\max} змінюється від 32,13 до 54,34°, тобто збільшується на 22,21°.

Зі збільшенням висоти виступу крайовий кут на арматурі періодичного профілю зростає.

Розвинуті профілі (що мають великі значення K) мають більш високу вільну поверхневу енергію. Для них також характерні великі значення φ_{\max} .

Розтікання рідини на арматурі періодичного профілю представлено на рис. 2.3

φ – кут, що характеризує нахил переріжних виступів на арматурі

Розтікання рідини на ідеалізованій поверхні арматури періодичного профілю представлено на рис. 2.3

Рис.2.4 Розтікання рідини на ідеалізованій поверхні арматури

φ - кут, що характеризує нахил ідеалізованої поверхні арматури;

A – довільна точка на ідеалізованій поверхні арматури.

2.3 Розподіл корозійного струму на арматурі підвищеної корозостійкості

Коли арматура знаходиться в контакті з агресивним розчином, який наявний в бетоні захисного шару, або відкрита в результаті його

пошкодження, то в цих умовах зберігається ряд загальних закономірностей, властивих корозії сталі при повному зануренні в рідкий електроліт.

Ломаний профіль арматури робить її поверхню не рівно доступною по відношенні до дифундуючого компоненту електроліту, що призводить до істотних змін в розподілі корозійних струмів на поверхні арматури в поздовжньому напрямку.

Теоретичний аналіз корозійних процесів в цих умовах проведений на математичній моделі, в якій границя фаз «рідина - метал» представлена у вигляді синусоїдального слабко вигнутого профілю рис. 2.4.

$$y = H \sin kx_1, \quad (2.25)$$

де H – амплітуда, L – період, $k = 2\pi/L$, x, y – поточні координати.

Причому $Hk < 1$;

Синусоїдальний профіль будується на основі ламаної границі $ABKOD$ (рис. 2.5) взятої із реальної геометрії періодичного профілю арматури, при умові, що $AB = BK = KC = CD$. Відстань між точками A і D є періодом L , а амплітуда виражається відстанню точок B і C від ліній AD .

а- фрагмент поздовжнього перерізу арматури періодичного профілю; б- схема розрахункової ділянки арматури; в- модельне уявлення розрахункової ділянки арматури;

1- гребінь арматурного елемента; 2- стержень арматури; 3- межа фаз; 4- електроліт.

Будемо рахувати, що масоперенесення анодних і катодних деполяризаторів у поверхні кородуючої арматури визначається дифузією, що на достатньо великих відстанях від границі фаз густина струму стала, а лінії електричного струму паралельні між собою і перпендикулярні поверхні арматурного стержня. При таких допущеннях в стаціонарних умовах задача зводиться до спільного рішення двовірних диференціальних рівнянь Лапласа, що описують дифузійне поле анодних і катодних деполяризаторів:

$$\Delta C = 0$$

$$\cdot \sin kx_1$$

∞

$$-i = \sigma_1 \cdot \frac{\partial C^1}{\partial y} = i_{кор} \rightarrow \infty$$

$$-i = \sigma_2 \cdot \frac{\partial C^2}{\partial y} = i_{кор} \rightarrow -\infty$$

$$\sigma_1 \frac{\partial C^1}{\partial n} = \sigma_2 \frac{\partial C^2}{\partial n} ;$$

- умова екіпотенціальності поверхні арматури при високій електропровідності електролітичного середовища і слабо випуклому синусоїдальному профілі, потенціал якого рівний стаціонарному потенціалу

$$E_{ст} = f (C_{ao}; C_{ko}; i_a^0; i_k^0; E_a^0; E_k^0, i_{кор.}). \quad (2.30)$$

В рівняннях:

C^1 і C^2 – концентрації анодного і катодного деполаризаторів;

$\sigma_1 = Z_a D_a F$; $\sigma_2 = Z_k D_k F$ – заряд дифундуючих іонів,

D – коефіцієнт дифузії, F – число Фарадея, $i_{кор.}$ – густина струму порозі;

$\partial C / \partial n$ – похідна по нормалі до профілю, C_{ao} і C_{ko} – рівноважні концентрації

анодного і катодного деполаризаторів, i_a^0 і i_k^0 – струми обміну, E_a^0 і E_k^0 –

рівноважні потенціали анодного і катодного деполаризаторів.

$$C^1 \equiv C_a = \frac{i_{кор.}}{k\sigma_a} [v - h(-e^{-v}(A \sin kx - B \cos kx) + \sin kx)],$$

$$C^2 \equiv C_k = \frac{i_{кор.}}{k\sigma_k} [v + h(-e^{-v}(A \sin kx + B \cos kx) + \sin kx)],$$

$$v = \frac{E_{ст}}{h};$$

Розподіл анодного корозійного струму по синусоїдальному профілю в першому наближенні:

$$i_a(x) = k\sigma_a \left(\frac{\partial C_a^0}{\partial v} + h \frac{\partial C_a^1}{\partial v} \right), \quad \text{при } v = 0.$$

Після підстановки значення $\frac{\partial C_a^0}{\partial v}$ і $\frac{\partial C_a^1}{\partial v}$, отримали рівняння для визначення розподілу корозійного струму по синусоїдальному профілю в першому наближенні.

$$i_a(x) = i_{кор.} [1 + h(A \sin kx + B \cos kx)]. \quad (2.32)$$

Для визначення постійних A і B скористались умовою (2.30). Коли катодна і анодна реакції визначаються дифузійно, розподіл корозійного струму може бути визначено по формулі:

$$i_a(x) = i_{кор.}(1 + Hk \sin kx). \quad (2.33)$$

Рівняння (2.33) співпадає з рівнянням Вангера для процесів поліровки і осаду металів при умові сталості на профілі потенціала або концентрації розчинного і осаджуючого метала.

Аналогічними розрахунками можна отримати рівняння розподілу корозійного струму і для інших кінетичних умов протікання зяжених реакцій.

Таким чином, отримані результати дозволяють оцінити корозійні процеси в широкому діапазоні вихідних даних. Із рівняння (2.33) видно, що найбільша густина струму буде при $\sin kx = 1$ (рис 2.6), а найменша – при $\sin kx = -1$.

Рис. 2.6.

Це призводить до того, що йде процес зглажування арматурного стержня. Із збільшенням швидкості корозії $i_{кор.}$ збільшуються нерівномірності розподілення струму. На розподілення корозійного струму значно впливає геометрія арматурного профіля.

Скориставшись законом Фарадея можливо виразити зміни в часі амплітуди профіля:

$$-\partial H = \frac{M}{\rho Z_a F} (i_{\lambda} - i_{\nu}) \partial t,$$

ρ

i_A i_V

$$i_{кор.} = 2i_{кор.} \cdot kH$$

$$\frac{dH}{dt} = -Adt$$

$$A = \frac{M}{\rho Z_a F} \cdot 2i_{кор.} \cdot k$$

$$H_0 e^{-At}$$

$$\delta = \frac{M}{\rho Z_a F} t$$

δk

ті (ШИМ

РОЗДІЛ 3 МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1 Підходи до побудови профілю

Якщо обертати твірну $x = C_1 ch \frac{t}{c_1}$ навколо осі t , то отримаємо мінімальну площину бічної поверхні створеної фігури обертання. (рис. 3.1) [21]

Рис. 3.1 Утворення мінімальної площі бічної поверхні.

В рівнянні твірної C_1 невідома постійна. Для знаходження постійної C_1 необхідно підставити якесь відомі координати, наприклад, точки A в формулу твірної:

$$x_0 = c_1 ch \frac{t_0}{c_1}$$

(3.1)

Отримали рівняння відносно невідомої C_1 , яке точно не вирішується. Його можна розв'язати наближено.

Якщо позначити $x = \frac{t_0}{c_1}$; $a = \frac{c_1}{t_0}$ то рівняння (3.1) матиме вигляд:

$$ax = chx \quad (3.2)$$

Розв'язок рівняння (3.2) знаходимо на перетині двох ліній l_1 і l_2 :

$$y = ax ; y = chx.$$

l_1 – це пряма яка проходить через початок координат.

l_2 – твірна катеноїда, яка проходить через точку $(0; 1)$

В залежності від значення a можливі три випадки: l_1 і l_2 перетинаються, l_1 і l_2 дотикаються, l_1 і l_2 не перетинаються.

Задаючись різними значеннями a і обчисливши значення chx при різних значеннях x , знаходимо мінімальні значення функції :

$$y = chx - ax \rightarrow 0$$

У випадку дотику l_1 і l_2 (рис. 3.2) вибираємо значення $a = 1,5/3$ при $x = 1,5$

Рис. 3.2 Дотик прямої і твірної катеноїда

Підставляємо значення a, x у рівняння (3.2)

$$chx = \frac{e^{1,5} + e^{-1,5}}{2} = 2,35$$

$$x = \frac{t_0}{c_1}$$

$$c_1 = \frac{t_0}{x}$$

$$c_1 = \frac{t_1 - b}{2 \cdot 1,5}$$

$$a = \frac{x_0}{t_0}$$

$$t_1 = \frac{d_1}{1,573} + b$$

$$x = \frac{1-b}{2} ch \frac{3t}{t_1 - b}$$

3.2 Приклади побудови профілів та визначення їх технічних характеристик.

$$x_1 = \frac{-b}{3} = \frac{27}{3} = 9 \text{ мм}$$

$$x = 9 - \frac{h}{2}$$

Рис. 3.3 Стрижень періодичного профілю

$$x = 9 - ch \frac{0}{9} = 9 \text{ мм}$$

(тобто $0,5 d_1$)

Переріз (рис. 3.4) по 1-1 буде мати наступні форми і розміри: $AB = 21,2 + 9 = 30,2$ мм; $CD = 2 \cdot 12,55 = 25,1$ мм

Обчислимо

які рекомендується дотримуватися при конструюванні ефективних видів арматури періодичного профілю [34].

1. Ефективність зчеплення з бетоном характеризується параметром γ_{cm} , оптимальні значення якого 0,6 – 0,8.

В нашому випадку:

$$(3.2)$$

де

l_{ox} – довжина ділянок периметра на яких поверхні стрижня гладка

(прийнято $b_1 = 2,5$ мм);

d_1 – номінальний діаметр стрижня;

$h_{\text{ср}}$ – середня глибина впадин;

t_1 – крок виступів ($t = 29\text{мм}$).

2. Відносна площа зрізу бетону між виступами ($\gamma_{\text{ср}}$) доцільно призначити не менше 5.

В нашому випадку:

$$(3.13)$$

3. Відношення площі зрізу до площі змінання повинно бути не більше 10.

В нашому випадку:

$$(3.14)$$

4. Співвідношення між висотою виступів і номінальним діаметром стрижня слід призначати в межах 0,1 – 0,65, а абсолютне значення висоти виступу бажано призначити можливо більшим.

В нашому випадку:

$$(3.15)$$

(номінальний діаметр – це діаметр, коли він відповідає діаметру рівномірного по площі круглого гладкого стрижня. Об'єм металу (маса) стрижня періодичного профілю даного номінального діаметру дорівнює об'єму (масі) круглого гладкого стрижня того ж діаметру).

5. Кут нахилу бічної поверхні виступів (рис. 3.5) в межах $\beta = 90^\circ - 45^\circ$ не впливає на зчеплення арматури.

В нашому випадку:

За 0,75 мм від вершини ($t = 13,5 - 0,75 = 12,75$)

$$(3.16)$$

Кут нахилу бічної поверхні стрижня показано на рис. 3.5

При радіусі по виступах 21,2 зменшення радіусу складає:

$$21,2 - 19,64 \approx 1,5\text{мм}$$

рис. 3.5 Кут нахилу бічної поверхні виступів

$$\alpha = \operatorname{tg} \frac{0,75}{1,5} \approx 26^\circ \quad \beta = 90^\circ - 26^\circ = 64^\circ.$$

6. Відповідно [29] зразок володіє підвищеною витривалістю, коли: збільшується радіус переходу виступу до нього стрижня, збільшується відстань між виступами і зменшується ширина виступу.

Все це відповідає пропозованому рішенню.

7. За умовами зчленення потрібне збереження оптимальності

$$\text{співвідношення } \frac{h}{t} \approx 0,2$$

В нашому випадку:

Відповідно [30] принципово мати мінімальні розміри гребенів (h), а для покращення анкерувочних властивостей доцільно розрядження виступів профілью.

Найбільш ефективним заходом по зниженню концентрації напружень (а, отже, підвищенню втомлявочної міцності) є створення плавного сполучення виступів

з циліндричною поверхнею стрижня. (рис 3.6) При цьому профіль може мати навіть значну висоту.

Рис 3.6

3.3 Виведення залежностей та приклади визначення поверхні об'єму маси арматури

Розглянемо параметри

1) Визначення

Е П ДИ:

b _____

(T, c, T)

t
 c

0

В розрахунку на I крок (тобто на T) площа поверхні:

$$S = 4\pi c_1 \left(\frac{T}{4} + \frac{c_1}{4} sh \frac{T}{c_1} \right);$$

$$S = \pi c_1 \left(T + c_1 sh \frac{T}{c_1} \right);$$

Об'єм фігури обертання впадин на I крок:

$$V = \frac{c_1^2 \pi}{2} \left(T + c_1 sh \frac{T}{c_1} \right)$$

3) Визначення поверхні поздовжніх ребер (рис. 3.8)

Рис. 3.8 Поверхні поздовжніх ребер

4) Об'єм поздовжніх ребер

При довжині ребра b_1 об'єм на I крок ребра становитиме:

$$V_{\text{крок}} = S_{\text{крок}} \cdot b_1 \cdot 2$$

5) Вага поздовжніх ребер

$$Q_{\text{крок}} = V_{\text{крок}} \cdot \frac{7,85}{10^9}$$

Обчислимо площу поверхні й масу для стрижня з параметрами.

Приклад I: $d_1=42,4\text{мм}$; $T=29\text{мм}$; $d_H=28,2\text{мм}$; $c_1=1$

а) для впадин:

б) для поздовжніх ребер. Поверхня на 1 п. м.

Об'єм на 1 п. м.

$$V = 16657,8 \cdot 2,5 = 41644,4 \text{ м}^3$$

Вага на 1 п. м.

в) для випадиві поздовжніх ребер на 1 п. м.

Для звичайного стрижня при даному номінальному діаметрі маса 1 п. м. складає 5,19 кг/п.м. тобто до масі вони майже однакові.

Проведемо розріз унок поверхні для звичайного стрижня при наступних параметрах: $d=26,5\text{мм}$; $h=2\text{мм}$; $d_1=30,5\text{мм}$; $h_1=2$; $t=9$; $b=1,5$; $b_1=2,0$; $\alpha=60^\circ$.

Для цього використовуємо подані нижче формули:

$$k = \frac{3t}{2r} = \frac{3 \cdot 9}{2 \cdot 3,14} = 4,3$$

$$p = \frac{d}{2} = \frac{26,5}{2} = 13,25$$

$$S_{AB} = S_{AB} /_{p=15,25} - S_{AB} /_{p=13,25} = 1040,66 - 827,2 = 213,46;$$

$$S_{DE} = 3,14 \cdot 26,5 \cdot \left(9 - 1,5 - 2,2 \cdot \frac{1}{\text{tg}60^\circ} \right) = 431,66;$$

$$S_{HP} = 2 \cdot 2 = 4$$

Відношення площі поверхні звичайного профілю до запропонованого буде:

Тобто площа поверхні в запропонованому рішенні арматурного стрижня менше звичайного в 2,3 рази.

Отримаємо рівняння кривої $x = 4,5ch \frac{t}{4,5}$

При $t=0$; $x=4,5$; $d=9$

$$t - \frac{1}{4}(t_1 - b) = \frac{13,25}{2 \cdot 2}; \quad x = 4,5ch \frac{13,5 + 0,5}{4 \cdot 4,5} = 5,93$$

Для детальнішого розгляду поданий переріз стрижня (рис. 3.9)

Рис. 3.9 Переріз стрижня

$$h_{cp} = (d_1 - d) \cdot \frac{1}{2} = \frac{21,2 - 13,95}{2} = 3,62 \text{ мм.}$$

$$\frac{h_{cp}}{d_n} = \frac{3,62}{13,95} = 0,26; \quad \frac{h_{cp}}{t} = \frac{3,62}{13,5} = 0,27$$

Визначимо площу поверхні погонного метра арматури на прикладу 2.

$d_1=21,2\text{мм}$; $t_1=14,5\text{мм}$; $c_1=4,5$; $b_1=7,5$.

а) для випадку

$$V_{\text{крок}} = \frac{\pi \cdot 4,5^2}{2} \left[14,5 + 4,5 \left(\frac{e^{\frac{14,5}{4,5}} - e^{-\frac{14,5}{4,5}}}{2} \right) \right] = 2252,48 \text{ мм}^3$$

Визначимо поверхню на I п. м.

Визначимо вагу I п. м. арматури

Так як в даному прикладі арматурний стрижень рвноміцний звичайному арматурному стрижню з $d_H = 14\text{мм}$, то співставимо площу поверхні и вагу звичайного та зацімнтованого стрижня.

Для звичайного стрижня періодичного профілю $d_H = 14\text{мм}$ маса I п. м. складає 1,21 кг/п. м., тобто арматурні стрижні по масі майже рівні.

Визначимо площу поверхні звичайного арматурного стрижня з $d_H = 14\text{мм}$.

Розрахункові формули на I крок наступні:

$$S_{\text{крок}} = 6 \cdot S_{AB} + 3 \cdot S'_C + 3 \cdot S_{DC} + 2S' - 12S_{TP} - 12S_{LD}$$

$$S_{AB} = S / \frac{p}{2} - h - S / \frac{p}{2} - d; \quad K = \frac{3t}{2\pi};$$

$$S_{DC} = \pi d(t - b - 2h \cdot ctg\alpha);$$

$$S' = 3t(b_1 + 2h_1);$$

Детальніше розглянемо переріз стрижня (рис. 3.10)

Розрахункові формули:

$$S_{TP} = (b + h \cdot \operatorname{ctg} \alpha) \cdot h$$

$$S_{np} = b_1 \cdot h; \quad \operatorname{ctg} \alpha = \frac{1}{\operatorname{tg} \alpha};$$

$$S_{AB} = S_{AB}^{\text{верх}} - S_{AB}^{\text{низ}} = 252,87 - 249,037 = 13,855$$

$$S_{BC} = 2\pi \left(\frac{13}{2} + 1,25 \right) \cdot 1 = 48,67$$

Відношення площі поверхні звичайного профілю до запропонованого

$$\frac{130762,71}{69041,4} = 1,89$$

Тобто площа поверхні в запропонованому варіанті арматурного

конструкцій пролітає з переважним ватедним контролем при основній ролі дифузії крісло через тонку електрлітичну плівку. [3]

Дифузійна щільність корозійного струму (3.17) буде залежати від товщини дифузійного шару рідни. [19, 47]

$$i = \frac{z \cdot F \cdot D(c_0 - c_e)}{\delta_0}$$

(3.17)

де z – заряд дифузійних іонів;

F – число Фарадея,

D – коефіцієнт дифузії, $\text{м}^2/\text{с}$;

C_0 – концентрація в глибині розчину за межами дифузійного шару, моль/ м^3 ;

C_e – приелектродна концентрація розчину на межі з подвійним електричним шаром, моль/ м^3 ;

δ_0 – товщина дифузійного шару, м.

Будь-яке уповільнення катодного процесу, в тому числі і внаслідок обмеження дифузії кисню, супроводжується змещенням потенціалу в область негативних значень. [1]

Розподіл електролітичної плівки по поверхні арматури періодичного профілю буде нерівномірним на існуючих профілях, так як поверхневий натяг

прагне скоротити вільну поверхню до мінімальних розмірів, чому не сприяє поверхня арматури. Наявність нерівномірної товщини плівки призводить до виникнення макрогальванспар на її поверхні з анодними ділянками з боку тонкої плівки (за рахунок нерівномірної аерації), в яких інтенсивно йде процес локальної корозії.

Струм корозії буде залежати від сфери товщини плівки і проляжності зразка. Ці положення підтверджують і вітчизняні дослідники. [6]

Запропоновані рішення арматурного стрижня дозволяють рівномірно розподілити плівки на поверхні арматури і уникнути цих гудоліків.

Відомий спеціаліст [12] вказує на необхідність прагнути до зменшення площі поверхні арматури в залізобетонних конструкціях за умовами їх кращої корозостійкості.

Принцип найменшої площі поверхні металу за рахунок вибору раціональних конструктивних форм при умові атмосферної корозії рекомендується в інших проц. [6]

РОЗДІЛ 5

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ

Арматурники при провадженні робіт відповідно до наявної кваліфікації зобов'язані виконувати вимоги безпеки, вміщені в «Типовій інструкції з охорони праці для працівників будівництва, промисловості будівельних матеріалів і житлово-комунального господарства», даної інструкції, розроблені з урахуванням будівельних норм і правил, а також вимоги інструкцій заводів-виготовлювачів по експлуатації застосовуваного устаткування і технологічного оснащення.

Вимоги безпеки перед початком роботи

1. Перед початком роботи арматурники зобов'язані:

А) пред'явити керівнику посвідчення про перевірку знань безпечних методів робіт, одержати завдання в бригадира або керівника і пройти інструктаж на робочому місці по специфіці виконуваних робіт;

Б) надягти спецодяг, спецвзуття і каску встановленого зразка.

2. Після одержання завдання в бригадира або керівника робіт арматурники зобов'язані:

А) підготувати необхідні засоби індивідуального захисту і перевірити їхню справність;

Б) перевірити робоче місце і підходи до нього на відповідність вимогам безпеки:

В) підібрати інструмент, устаткування і технологічне оснащення, необхідні при виконанні роботи, перевірити їхню справність і відповідність вимогам безпеки;

Г) переконатися у відсутності дефектів у застосовуваних матеріалах;

Д) перевірити стійкість і цілісність опалубки і підтримуючих лісів.

3. Арматурники не повинні приступати до виконання роботи при наступних порушеннях вимог безпеки:

А) відсутності огорожень робочого місця або обладнаних систем доступу при роботі на висоті 1,3 м і більш;

Б) несправності застосовуваного устаткування і технологічного оснащення, зазначених в інструкціях заводів-виготовлювачів, при яких не допускається їхнє застосування;

А) несвочасному проведенні чергових іспитів (технічного огляду) технологічного оснащення, інструменту і пристосувань;

Г) недостатній освітленості або захищеності робочого місця;

Д) перебуванні в хиткому положенні вертикальних конструкцій армокаркаса, опалубки або наявності дефектів кріплення лісів;

Е) невідповідності параметрів арматури вимогам інструкції заводів-виготовлювачів по експлуатації застосовуваного устаткування.

Виявлені порушення вимог безпеки повинні бути усунуті власними силами, а при неможливості зробити це арматурники зобов'язані повідомити чи бригадиру керівнику робіт.

Вимоги безпеки під час роботи

4. Складувати арматуру на спеціально відведених для цього місцях. Не допускається займати проходи та робоче місце у верстата арматурними заготівками.

5. Для виготовлення армоконструкцій варто використовувати арматурні стрижні, очищені від іржі і бруду. При виконанні цієї роботи арматурники повинні застосовувати металеві щітки. Для захисту очей від улучення твердих часток варто надягати захисні окуляри.

6. При виправленні і різанні арматурної сталі на правильно-обрізних верстатах арматурники зобов'язані:

А) заправляти кінці црогу або катанки з бухли в правильний барабан, а також у ролики верстата при відключеному електродвигуні;

Б) закривати перед пуском електродвигуна правильний барабан захисним кожухом.

7. При різанні арматурних стрижнів на верстатах з механічним приводом арматурники зобов'язані:

А) починати різання арматури тільки після резону махового колеса;

Б) при відсутності на верстаті спеціальних пристосувань відрізати стрижні довжиною не менш 30 см;

В) здійснювати різання арматури, що по діаметру і марці сталі відповідає паспортним даним застосованого верстата.

8. При згинанні арматурних стрижнів на верстатах з механічним приводом арматурники зобов'язані:

А) зупинити згинальний диск перед закладкою арматурних стрижнів;

Б) робити згинання стрижнів діаметром не більшим допустимого по паспортним даним для застосовуваного верстата;

В) замінити упори і згинальні пальці тільки після зупинки верстата.

9. При згинанні арматури на ручному верстаті необхідно використовувати призначені для цього рукоятки, які варто переміщати від себе вперед. Не допускається подовжувати рукоятки верстата трубами або іншими предметами, а також використовувати при цьому частину тіла.

10. При згинанні декількох стрижнів арматури одночасно арматурники зобов'язані стежити за тим, щоб усі стрижні знаходилися в одній вертикальній площині. Для цього необхідно застосовувати спеціальні тримачі.

11. Ремонт, чистка й обтирання устаткування слід робити після його відключення і повної зупинки. Металевий пил і окалину, що утворюється при обробці арматури, потрібно видаляти металевією щіткою.

12. Виконуючи роботи разом з електрозварювачем, арматурники для захисту очей повинні використовувати спеціальні окуляри із світлофільтрами, а робоче місце зварника повинно бути обгороджено переносними щитами або ширмами.

13. При виготовленні в'язаних арматурних каркасів арматурники зобов'язані використовувати відпалений дрот. Заготівля арматурних каркасів повинна виконуватися в спеціально відведених місцях. Не допускається робити роботи з заготівлі арматурних каркасів, їх укрупнювальному складанню поблизу від необгороджених чи невідключених струмоведучих частин устаткування.

14. Стропування арматурних стрижнів або каркасів при переміщенні їхими вантажопідійомними кранами повинні здійснювати арматурники, що

мають посвідчення стропальника і виконуючі вимоги «Типової інструкції з охорони праці для стропальників». Не допускається скидати арматурні стрижні або каркаси з висоти (з лісів, із краю котловану і т. п.).

15. Складання арматурних каркасів колод, стін і інших вертикальних конструкцій слід здійснювати із обладнанням робочих настилів шириною не менш 0,8 м із поручч. Відстань між настилами по висоті повинне складати не більш 2 м.

16. Для переходу через ділянки покладеної арматури арматурники повинні використовувати трапи шириною не менш 0,5 м на підставках, установлених на опалубку. Випуски арматури повинні бути загнуті на 180 град., а при неможливості виконання цього — позначені червоними прапорцями. У місцях масового проходу людей випуски арматури повинні бути обгороджені.

17. Для попереднього натягу арматури необхідно застосовувати стрижні, що не мають підрізів, загибів, скруток і інших дефектів.

18. Не допускаються перебування і прохід людей у зонах розтягівачих по торцях стендів або силових ферм, для попереднього натягу арматури. Ці місця повинні бути обгороджені сітками або щитами висотою не менш 1,8 м. Робоче місце машиніста натяжної установки також повинне бути обгороджено сіткою.

19. Прихватку стрижнів арматури з використанням електроконтактного або електродугового зварювання повинні здійснювати арматурники, що мають посвідчення електрозварювача 1-го розряду і виконуючі вимоги «Типової інструкції з охорони праці для електрозварювачів».

Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях

20. У випадку втрати стабільності вертикальних конструкцій армокаркаса, робочих настиль або опалубки арматурники зобов'язані припинити роботу і вжити заходів до приведення їх у стійке положення. При неможливості зробити це власними силами арматурники зобов'язані повідомити про те, що трапилося, бригадиру або керівнику робіт.

21. При обриві окремих дротів або стрижнів арматури під час її натягу або виявленні несправності натяжної установки арматурники зобов'язані негайно зняти тиск у системі і повідомити про те, що трапилося, бригадиру або керівнику робіт.

22. Під час заготівлі арматури на верстатах арматурникам варто стежити за тим, щоб підшипники і тертьові деталі не перегрівалися. При виявленні перегріву верстата, а також стукоту, дрібних поломок і т. п. верстат необхідно відключити і вжити заходів до усунення несправності.

Вимоги безпеки по закінченні роботи

23. По закінченні роботи арматурники зобов'язані:

- А) при роботі на верстаті відключити його;
- Б) упорядкувати робоче місце, спеододити засоби індивідуальні захисту;
- В) забрати інструмент і технологічне оснащення в приміщення для їхнього збереження,
- Г) про всі порушення, що мають місце в процесі роботи, повідомити бригадиру або керівнику робіт.

ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Отже, запропонований арматурний стрижень періодичного профілю має поздовжні і поперечні ребра, які розташовані по гвинтовій лінії. Відстані між ребрами мають форму увігнутого катета дуги, який утворений обертанням кривої навкруги поздовжньої осі стрижня.

Конструктивне рішення стрижня забезпечує:

- підвищену корозійність;
- мінімальну матеріальність;
- сумісну роботу з бетоном на необхідному рівні;
- підвищену витривалість.

Характеристики профілів арматури

	d_n , мм	t_1 , мм	K_{ox}	γ_{cm}	γ_{cp}	$\frac{F_{cm}}{F_{cp}}$	$\frac{h_{cp}}{d_n}$	$\frac{h}{t_1}$	Σ мм/г.м.	Q кг/п.м.

Таким чином, геометрія арматури періодичного профілю значною мірою може впливати на корозійні процеси. Врахування виявленої кінетики корозії необхідне при розрахунку ресурсу роботи арматури періодичного профілю в умовах мокрої атмосферної корозії.

12. Przyczynowa analiza zjawiska korozji w betonowych konstrukcjach mostowych / Bottryk Michal// Ochr. koroz. – 1990. – 33. №8, с. 223-226

13. ДСТУ 3760:2006 Прокат арматурний для залізобетонних конструкцій. Загальні технічні умови. – Чинний від 01.01.2007. – К.: Держспоживстандарт України, 2007 – 18 с.

14. EN 10080 « Steel for reinforcement of concrete. – Weldable ribbed reinforcing steel S500. – Technical delivery conditions for bars, coils and welded. – CEN. 1995 – 43 p.

15. EN 10138. Prestressing steel. Parts 1, 2, 3, 4. CEN, 1999. –58 p.

13. 16. Przyczynowa analiza zjawiska korozji w betonowych konstrukcjach mostowych / Bottryk Michal// Ochr. koroz. – 1990. – №8, с. 223-226

14. Stratfull R.F. Half-cell potentials and the corrosion of steel in concrete. USA California, 1973.

15. Van Daveler I.R. Techniques of Evaluating Reinforced Concrete Bridge Decks. I.A.C.I., 1975.

16. Washler A. Industrial Ing. Chemical, 37, № 8 1945, pp. 749 – 751.

17. Бондар Л.В., Бондар В.О. Аналіз існуючих методів захисту арматури залізобетонних конструкцій. Деп. 5.07.95 в ДНТБ України, №1676. Ук95. 14с.

18. ДСТУ 2651:2005. Сталь вуглецева звичайної якості. Марки.

19. ДСТУ Б В.2.5-145:2010. Захист бетонних і залізобетонних конструкцій від корозії загальні технічні вимоги.

20. ДСТУ Б В.2.7-112-2002 «Цементи. Загальні технічні умови».

21. ДСТУ Б В 2.7-215:2009 «Бетони. Правила підбора складу».

22. Охорона праці. Інструкція з охорони праці при експлуатації електроустановок до 1000В в установах та закладах освіти.

23. Стандарт ISO/ DIS 5955-2. Steel for the reinforcement of concrete. Part 2. Ribbed bars. – 1990.

24. Стандарт ISO/ DIS 6935-5. Steel for the reinforcement of concrete. Part
5. – 1990.