

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
„ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА”**

ЧАПЮК ОЛЕКСАНДР СЕРГІЙОВИЧ

УДК 624.012.25:539.43

**ЗЧЕПЛЕННЯ БЕТОНУ З АРМАТУРНИМ ПРОКАТОМ
СЕРПОВИДНОГО ПРОФІЛЮ ПРИ КОРОТКОЧАСНИХ
ОДНОРАЗОВИХ І ПОВТОРНИХ НАВАНТАЖЕННЯХ**

05.23.01 – Будівельні конструкції, будівлі та споруди

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Львів 2010

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Луцькому національному технічному університеті
Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник доктор технічних наук, професор
Бабич Євгеній Михайлович,
завідувач кафедри інженерних конструкцій
Національного університету водного
господарства та природокористування

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Клімов Юлій Анатолійович
професор кафедри залізобетонних
і кам'яних конструкцій
Київського національного університету
будівництва і архітектури

кандидат технічних наук, професор
Добрянський Іван Михайлович
завідувач кафедри будівельних конструкцій
Львівського національного аграрного
університету (м. Дубляни)

Захист відбудеться „18” лютого 2010 року о 10⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 35. 052. 17 при Національному університеті „Львівська політехніка” за адресою: 79013, м. Львів, вул. Карпінського 6, II навч. корпус, ауд. 212.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного університету „Львівська політехніка” за адресою: 79013, м. Львів, вул. Професорська, 1.

Автореферат розісланий „16” січня 2010 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради

П.Ф. Холод

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. З 01.01.2007 в Україні введено в дію ДСТУ 3760:2006 „Прокат арматурний для залізобетонних конструкцій. Загальні технічні умови”. В основу ДСТУ 3760:2008 покладені вимоги до арматурного прокату, встановлені в закордонних нормативних документах – ISO 6934, ISO 6935, DIN 488, ENV 10080, BS 4449 та ін., що в значній мірі сприяло виходу продукції металургійних підприємств на світовий ринок і процесам інтеграції України в світове співтовариство. Існують відмінності до вимог арматурного прокату вітчизняних і закордонних нормативних документів по геометрії профілю, хімічного складу та ін., а також включено в стандарт прокат класу A500C, що широко застосовується за кордоном, але відсутній в діючих нормативних документах України.

Зчеплення арматури з бетоном є визначальним фактором у забезпеченні їхньої спільної роботи в складі залізобетонних конструкцій. Теорія зчеплення арматури з бетоном розроблена в достатній мірі при дії короткочасних навантажень, виконано велику кількість експериментальних досліджень зчеплення бетону з арматурою класів А-II, А-III, А-IV та іншою, яка зараз вже практично не випускається й не застосовується при виготовленні залізобетонних конструкцій. Відомо, що переважна більшість конструкцій піддається дії повторних навантажень. Повторні змінні навантаження не тільки кількісно, але й якісно змінюють напружено-деформований стан залізобетонних конструкцій. У процесі повторних навантажень виникають суттєві зміни фізико-механічних властивостей бетону, що безпосередньо відображаються на міцності зчеплення й деформативності арматури в бетоні, процесі тріщиноутворення. Дослідження, що присвячені спільній роботі арматури з бетоном при повторних навантаженнях в науковій літературі, аналізуються дуже рідко. Зчеплення арматурного прокату серповидного профілю по ДСТУ 3760:2006 досліджено мало, а при дії повторних малоциклових навантажень взагалі не розглядалося.

З наведеного випливає актуальність проведення досліджень зчеплення нового прокату з бетоном при одноразових короткочасних і повторних навантаженнях.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконувалась у відповідності з планом науково-дослідних робіт кафедри промислового та цивільного будівництва Луцького національного технічного університету.

Мета і задачі дослідження. Метою досліджень є встановлення особливостей зчеплення арматурного прокату серповидного профілю з бетоном при короткочасних одноразових і повторних навантаженнях, оцінка та удосконалення методики розрахунку зчеплення при повторних навантаженнях. Для досягнення мети в роботі поставлені такі задачі:

- дослідити вплив повторних навантажень різних рівнів на зчеплення арматурного прокату з бетоном;
- дослідити зчеплення арматури і бетону залежно від класу бетону і діаметра арматури при одноразових і повторних навантаженнях;
- дослідити малоциклову втомленість зчеплення арматурного прокату з бетоном та встановити залежність між кількістю циклів і рівнем малоциклової витривалості зчеплення бетону з арматурним прокатом;
- порівняти зчеплення арматури класів А-III і А500С з бетоном при одноразових і повторних навантаженнях;

Об'єктом досліджень є центрально анкеровані в бетонних призмах арматурні стержні, що працюють на розтяг.

Предметом досліджень є зчеплення з бетоном арматурного прокату серповидного профілю, граничні напруження зчеплення, малоциклова втомленість, анкерування стержнів, методика розрахунку.

Методи досліджень: аналіз опублікованих наукових праць; експериментальні дослідження зчеплення арматурного прокату з бетоном, статистичний аналіз результатів досліджень, порівняння теоретичних і дослідних даних.

Наукова новизна одержаних результатів. Наукова новизна виконаної дисертаційної роботи полягає в наступному:

- отримані нові експериментальні дані зчеплення арматурного прокату з бетоном при дії короткочасних одноразових та повторних навантажень;
- отримані експериментальні дані щодо малоциклової втомленості зчеплення арматури і бетону, запропоновано визначення малоциклової втомленості зчеплення арматури з бетоном та запропонована формула для її визначення;
- встановлені залишкові деформації проковзування арматурного стержня відносно бетонної призми та запропоновані їхні залежності відносно довжини анкерування, рівнів навантаження, діаметра арматури й міцності бетону.
- удосконалена методика розрахунку зчеплення арматурного прокату з бетоном з урахуванням дії на них повторних навантажень.

Практичне значення одержаних результатів полягає в наступному:

- отримані результати дозволяють врахувати вплив повторних навантажень при розрахунку довжини анкерування арматурного прокату серповидного профілю;
- визначити межу малоциклової витривалості зчеплення арматурного прокату з бетоном залежно від кількості циклів і рівня повторного навантаження, що дозволяє проектувати конструкції з більшою надійністю;
- встановлювати мінімальну довжину анкерування стержнів, виходячи з умов рівномірності зчеплення і міцності стержнів.

Особистий внесок здобувача. Основні результати дисертаційної роботи автором отримано самостійно. Автор виконав цілеспрямовані експерименти з дослідження зчеплення бетону з арматурою класу А500С при короткочасних одноразових і повторних навантаженнях. В опублікованих працях у співавторстві здобувачу належить наступне:

- [1] – проведення експериментальних досліджень п'ятої серії, обробка даних, побудова графіків деформацій та залежності малоциклової втомленості зчеплення арматурного прокату з бетоном від рівнів навантаження;
- [2] – проведення експериментальних досліджень першої серії, обробка даних, побудова графіків проковзувань стержнів від напружень;
- [4] – обробка даних результатів експериментальних досліджень зчеплення арматурних стержнів класу А500С, зароблених в бетонні призми різних розмірів;
- [6] – проведення експериментальних досліджень третьої і четвертої серій, обробка даних, побудова графіків деформацій та залежностей напружень в стержнях від міцності бетону та діаметра арматури;
- [7] – обробка даних результатів експериментальних досліджень напружено-деформаційного стану контакту з бетоном арматури серповидного профілю, побудова графіків розподілу по довжині напружень зчеплення з бетоном залежно від зусилля витягання.

Апробація результатів дисертації. Матеріали дисертації доповідались і знайшли схвалення на науково-технічних конференціях: на Восьмій науково-технічній конференції “Сталезалізобетонні конструкції: дослідження, проектування, будівництво, експлуатація” (м. Кривий Ріг, 2008); на П'ятій науково-технічній конференції “Ресурсоекономічні матеріали, конструкції, будівлі та споруди” (м. Рівне, 2007 р.); на восьмому міжнародному симпозіумі “Механіка і фізика руйнування будівельних матеріалів та конструкцій” (м. Івано-Франківськ, 2009); на науково-технічних конференціях Луцького національного технічного університету (2007, 2008, 2009 рр.); на третій міжнародній науково-технічній конференції “Актуальні проблеми водного господарства та природокористування” (м. Рівне, 2009);

Публікації. Матеріали дисертації викладені у семи статтях, які опубліковані у збірниках наукових праць, що визнані фаховими виданнями, в тому числі дві статті опубліковані одноосібно.

Структура і обсяг роботи. Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Робота викладена на 169 сторінках, в тому числі містить 110 сторінок основного тексту, з них 12 повних сторінок з рисунками і таблицями, список літератури із 123 джерел на 13 сторінках, 2 додатки на 42 сторінках, 24 таблиць, 60 рисунків.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність дослідження зчеплення бетону з арматурним прокатом серповидного профілю при короткочасних одноразових і повторних навантаженнях, сформульовано мету і задачі дослідження, відзначено зв'язок роботи з науковими програмами і темами, викладено суть отриманих результатів, їх наукову новизну, теоретичне і практичне значення.

У **першому розділі** виконано аналіз існуючих експериментальних та теоретичних досліджень зчеплення бетону і арматури. Відомо, що спільна робота бетону і традиційної арматури класів А-II, А-III і А-IV та іншої при повторних навантаженнях вивчена недостатньо, а арматурного прокату серповидного профілю згідно з ДСТУ 3760:2006 практично не досліджена, хоч в останній час все більше використовується. В процесі повторення навантаження виникають зміни фізико-механічних властивостей бетону, які суттєво впливають на міцність зчеплення і деформативність бетону в межах анкерівки арматури, швидше розвиваються нееластичні деформації.

Особливий інтерес представляють спостереження за сукупністю зміщень стержня і бетону в контактному шарі в процесі навантажень і розвантажень. У цій області насамперед варто відмітити роботи А.А. Гвоздева, Ю.А. Іващенко, Н.І. Карпенка, М.В. Кольнера, Ю.Ф. Кутіна, Н.М. Муліна, А.А. Оатула, М.Г. Овчиннікової, М.М. Холмянського та інші.

Дослідження В.М. Кольнера показали, що при дії повторного навантаження спостерігається приріст взаємних зміщень арматури і бетону. На деформативність зчеплення впливають кількість циклів завантаження і розвантаження, максимальна величина навантаження, швидкість навантаження і розвантаження. При цьому збільшення взаємних зміщень проходить безперервно, в основному, за рахунок залишкових деформацій.

В.М. Кольнер, Н.Е. Шабаєва та інші дослідники встановили, що депланація бетону при висмикуванні арматури супроводжується виколуванням біля поверхні і в значній мірі зумовлена появою внутрішніх кільцевих тріщин в бетоні. Ширина розкриття цих тріщин суттєво залежить від товщини захисного шару бетону.

В.М. Кольнер, М.М. Холмянський показали, що приріст взаємних зміщень, є так само важливим як і рівень навантаження, міцність бетону, діаметр і профіль арматури, і при дії повторного навантаження, є величиною випадковою. Результати експериментальних досліджень підтвердили ці положення. За результатами досліджень зроблені наступні висновки: після певного числа циклів при середніх рівнях навантаження процес збільшення деформацій зчеплення стабілізується; збільшення сумарних взаємних зміщень виникає неперервно по логарифмічному закону за рахунок збільшення залишкових зміщень.

Аналізуючи описані досліди можна відмітити, що відсутня єдина методика досліджень зчеплення арматури з бетоном при повторних навантаженнях.

З огляду на вищенаведене в дисертаційній роботі сформульовані мета досліджень та задачі для її досягнення.

У **другому розділі** наведені обсяг та програма експериментальних досліджень, методика висмикування арматурного стержня серповидного профілю з бетонних призм, впертих торцем.

Таблиця 1

Об'єм і програма експериментальних досліджень

Серія	Клас бетону	Діаметр арматури, мм	Довжина анкерування, мм	Кількість зразків, шт	Мета випробувань
1	B25	16	80	3	Визначення оптимальної довжини анкерування при одноразових навантаженнях
			160	3	
			240	3	
2	B25	16	80	3	Визначення оптимальної довжини анкерування арматури при повторних навантаженнях
			160	3	
			240	3	
2	B25	16	80	3	Визначення межі зчеплення при одноразовому навантаженні
			80	9	Дослідження впливу повторних навантажень різних рівнів на межу зчеплення арматури і бетону
3	B15 B20 B25 B30	16	80	6	Дослідження межі зчеплення арматури з бетоном залежно від класу бетону при одноразових і повторних навантаженнях
				6	
				6	
				6	
4	B25	10	50	6	Дослідження межі зчеплення арматури з бетоном залежно від діаметра арматури при одноразових і повторних навантаженнях
		14	70	6	
		16	80	6	
		18	90	6	
		22	110	6	
5	B25	16	80	20	Дослідження малоциклової втомленості зчеплення арматури з бетоном
6	B25	16	80	12	Порівняння зчеплення арматури класів A500C і A-III з бетоном при одноразових і повторних навантаженнях

З метою досконалого вивчення особливостей зчеплення арматури серповидного профілю класу А500С з бетоном прийнято за доцільне провести шість серій експериментальних досліджень, відповідно до мети та задач поставлених у роботі (таблиця 1).

Дослідження зчеплення арматури з бетоном виконували шляхом витягання стержня з бетонної призми з використанням спеціального натяжного пристрою в розривній гідравлічній машині (рис. 1, 2). Навантаження до стержня прикладали ступенями, рівними 2,0 кН. Під час навантажень вимірювали проковзування (переміщення) вільного кінця стержня відносно торця призми годинниковим індикатором з ціною поділки 0,001 мм, та деформації стержня з боку дії навантаження тензометром Гугенбергера на базі 20 мм з ціною поділки 0,001 мм.

За граничний стан зчеплення арматури з бетоном згідно з Британським стандартом BS 4449:1997 прийнято стан, коли проковзування (переміщення) вільного кінця стержня відносно торця призми складає $\delta_u = 0,2$ мм. Для зразків з дослідною арматурою діаметром до 20 мм призми виготовляються перерізом 150×150 мм, а з діаметром більше 20 мм – перерізом 250×250 мм. Встановлено, що значенню δ_u відповідає напруження в арматурі σ_{s0} .

В першій серії випробовувались бетонні призми перерізом 150×150 мм з довжиною анкерування $5d$, $10d$ і $15d$, тобто 80, 160 і 240 мм з центрально розташованими арматурними стержнями. По три аналогічні зразки кожного з видів випробовувались повторними навантаженнями при рівні 0,6 з кількістю циклів, рівною 10, з наступним довантаженням на одинадцятому циклі до руйнування. Аналогічно ступенєво виконували розвантаження зразків до нижнього рівня, який приймали рівним нулю та знімали відліки по приладах. В другій серії експериментальних досліджень зразками були призми такого ж перерізу з довжиною анкерування $5d$, тобто 80 мм, які навантажувались до рівнів ($N_{cyc} = 0,60N_u$; $N_{cyc} = 0,75N_u$; $N_{cyc} = 0,90N_u$). Геометричні розміри зразків третьої серії такі ж, як і в другій серії. Відрізняються призми механічними властивостями бетону. Досліджувались по 6 зразків з арматурою $\varnothing 16$ класу А500С і проектним класом бетону В15, В20, В25 і В30. Методика досліджень така ж як і першої серії. В зразках четвертої серії міцність бетону була однаковою, а діаметр стержнів змінювався (10, 14, 16, 18, і 22 мм), відповідно до яких змінювалася висота призми (довжина анкерування стержнів) і становила відповідно 50, 70, 80, 90 і 110 мм. З метою визначення втомленості зчеплення арматури серповидного профілю $\varnothing 16$ класу А500С з бетоном було досліджено 20 призми перерізом 150×150 мм з довжиною анкерування $5d$, тобто 80 мм. Шість зразків досліджувались при одноразовому короткочасному навантаженні до руйнування з метою визначення межі зчеплення арматури з бетоном. Зразки досліджувались при сталих рівнях навантажень доки зміщення вільного кінця арматури не досягло 0,2 мм, потім зразки свідомо доводились до руйнування. Зокрема, чотири експериментальних зразки досліджувались при рівні навантаження 0,98; і по три – при рівнях 0,95; 0,93; 0,91.

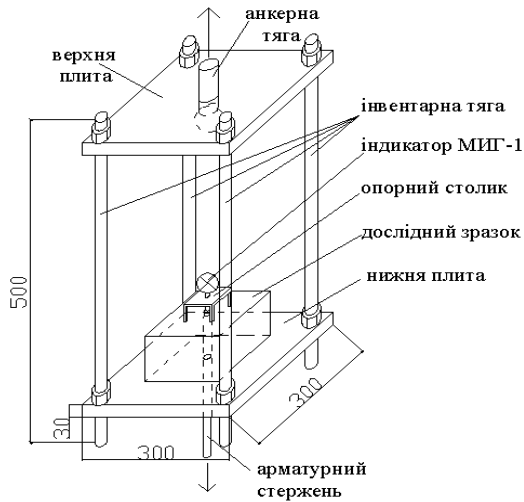


Рис. 1. Схема висмикування арматури з призми в устаткуванні розривної машини УММ-50



Рис. 2. Загальний вигляд дослідження зчеплення арматури з бетоном на розривній машині УММ-50

Порівняння зчеплення арматури класів А500С і А-III з бетоном при короточасних одноразових і повторних навантаженнях вивчалось при дослідженні зразків, розмірами такими ж як і зразки третьої серії. По три зразки кожного виду досліджувались при одноразовому і по три при повторних

десятикратних навантажень до рівня 0,6. На одинадцятому циклі ці зразки довантажувались до граничного стану. Всього було виготовлено 116 зразків (рис. 4).

У **третьому розділі** наведені результати експериментальних досліджень зчеплення бетону з арматурним прокатом серповидного профілю. При збільшенні довжини анкерування збільшується напруження в стержнях, за яких починає спостерігатися їхнє проковзування в бетоні, а також напруження, яке відповідає граничному стану зчеплення (рис. 3).

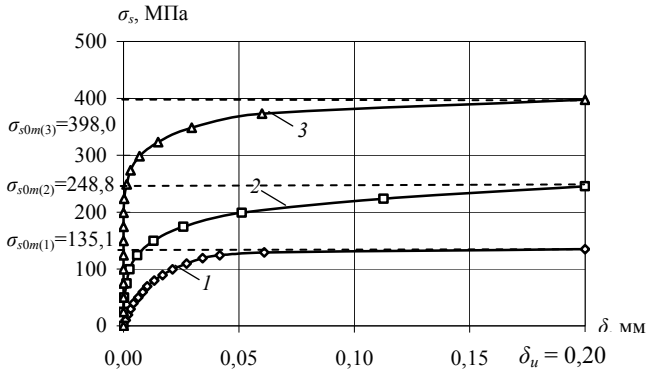


Рис. 3. Зміна проковзування стержнів δ залежно від напруження σ_s : 1 – призми 1П-8/16к; 2 – 1П-16/16к; 3 – 1П-24/16к



Рис. 4 . Загальний вигляд зразків усіх шести серій досліджень



Рис. 5. Характер руйнування зразків: а, б, в – довжина анкерування відповідно $5d$, $10d$, $15d$

В експериментах досліджувались зразки, в яких довжина анкерування була прийнята, рівною $20d$, але в них проковзування арматури не спостерігалось, а руйнування відбулося внаслідок розриву арматурного стержня за межами бетонної призми.

Треба зазначити, що усі призми при збільшенні навантаження після досягнення $\delta_u = 0,2$ мм крихко руйнувалися, при цьому спостерігалось їхнє розколювання вздовж стержнів. Таким чином, можна вважати, що величина проковзування вільного кінця стержня в бетоні, рівна $\delta_u = 0,2$ мм, може бути прийнята за критерій визначення граничного стану зчеплення з бетоном арматури серповидного профілю. В усіх зразках, що піддавались повторним десятикратним навантаженням граничний стан настав при напруженнях в арматурі таких самих, як і при одноразових навантаженнях, тобто, повторні навантаження призводять до виникнення залишкових деформацій і практично не впливають на величину напружень в арматурі в граничному стані порівняно з одноразовим навантаженням.

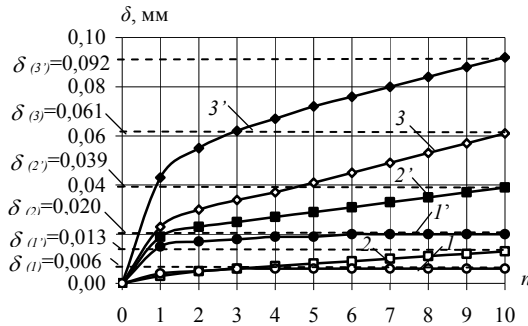


Рис. 6. Зміна проковзування стержня δ на циклах: 1, 2, 3 – залишкові, 1', 2', 3' – повні в зразках 2П-0,6п, 2П-0,75п і 2П-0,9п відповідно

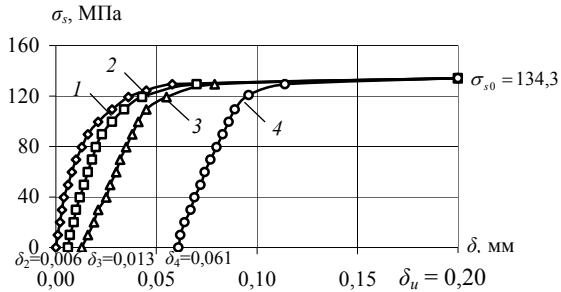


Рис. 7. Зміна проковзування стержня δ залежно від напруження σ_s в призмах:
 1 - 2П-к, та 2 – 2П-0,6п, 3 - 2П-0,75п, 4 - 2П-0,9п на одинадцятих циклах

Експериментально підтверджено, що при повторних навантаженнях до рівня 0,6 стабілізація деформацій відбувається на п'ятому-шостому циклах, при навантаженнях до рівня 0,75 проковзування збільшуються з кожним циклом в середньому на 0,001 мм після третього, а при навантаженнях до рівня 0,9 деформації зростають на 0,004 мм на кожному циклі після третього (рис. 6).

Повторні навантаження різних рівнів призводять до виникнення залишкового проковзування стержнів і практично не впливають на величину напружень в арматурі в граничному стані порівняно з одноразовим навантаженням (рис. 7).

В зразках 3П-В15/16к, 3П-В20/16к, 3П-В25/16к проковзування почалося практично при однаковому значенні напруження в стержнях і при $\sigma_s = 9,95 \dots 14,98$ МПа складало $\delta = 0,001$ мм, а в зразках 3П-В30/16к проковзування почалося при $\sigma_s = 19,89$ МПа. В подальшому на величину проковзування стержнів суттєво впливає міцність бетону (рис. 8). Так при $\sigma_s = 69,6$ МПа в зразках 3П-В15/16к, 3П-В20/16к, 3П-В25/16к і 3П-В30/16к проковзування відповідно складало $\delta = 0,126; 0,034; 0,016$ і $0,005$ мм.

Граничний стан зчеплення стержнів з бетоном, коли проковзування δ досягло значення $\delta = \delta_u = 0,2$ мм, наступив при напруженнях в них зразків 3П-В15/16к, 3П-В20/16к, 3П-В25/16к і 3П-В30/16к відповідно рівних $\sigma_s = \sigma_{s0} = 72,1; 87,2; 132,6$ і $160,12$ МПа (рис. 8).

В усіх зразках 4П-В25/10к проковзування стержнів на 0,2 мм відбулося при напруженнях $\sigma_{s0} = 89,2$ МПа. При такому ж напруженні проковзування в зразках 4П-В25/14к, 4П-В25/16к, 4П-В25/18к і 4П-В25/22к відповідно складало 0,028; 0,033; 0,036 і 0,045 мм. Тобто, зі збільшенням діаметра при одному і тому ж напруженні дещо збільшувалася величина проковзування вільного торця стержнів. Треба зазначити, що прийнята гранична величина проковзування стержнів $\delta_u = 0,2$ мм залежно від діаметра була досягнута при різних в них

напруженнях σ_{s0} (рис. 9). Але це не відноситься до проковзування, рівного $\delta_u = 0,2$ мм. Так, найбільші напруження $\sigma_{s0} = 132,6$ МПа при $\delta_u = 0,2$ мм були досягнуті в призмах 4П-В25/16к, а в призмах 4П-В25/10к, 4П-В25/14к, 4П-В25/18к і 4П-В25/22 відповідно $\sigma_{s0} = 89,2; 123,4; 114,2$ і $97,4$ МПа.

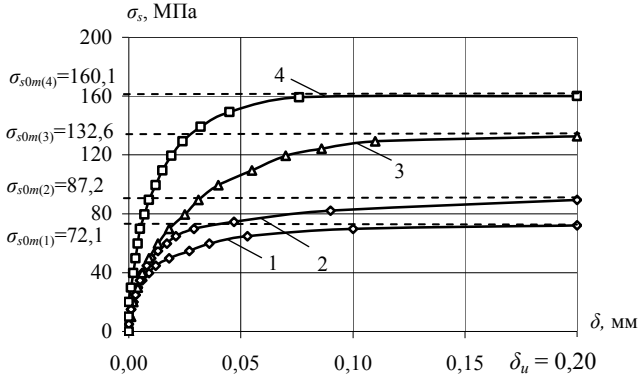


Рис. 8. Зміна проковзування стержнів δ залежно від напруження σ_s : 1 – призми 3П-15/16к; 2 – 3П-20/16к; 3 – 3П-25/16к; 4 – 3П-30/16к.

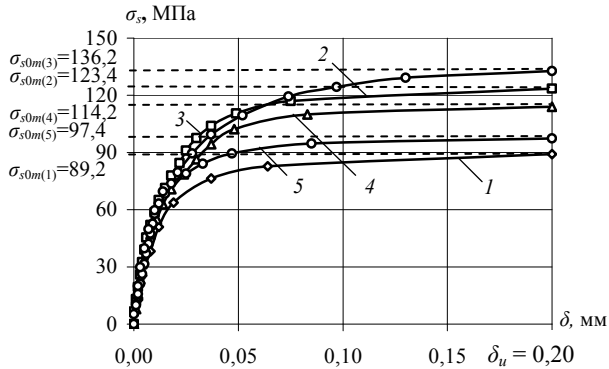


Рис. 9. Проковзування стержнів різних діаметрів δ залежно від напруження σ_s : 1,2,3,4 і 5 – відповідно призми 4П-В25/10к; 4П-В25/14к; 4П-В25/16к; 4П-В25/18к; 4П-В25/22к.

Під малоцикловою втомленістю зчеплення арматури з бетоном будемо розуміти його втомлене порушення при пружно-пластичному проковзуванні арматурного стержня в бетоні. За межу малоциклової витривалості будемо приймати максимальне за абсолютним значенням дотичне напруження, за якого ще не настає втомлене руйнування. Це може відбуватися при повторних навантаженнях за високих рівнів дотичних напружень між бетоном і арматурними стержнями.

Таблиця 2

Результати експериментальних досліджень втомленості зчеплення бетону з арматурними стержнями

Марка зразків	$\sigma_{u0,cyc}$, МПа	$\eta_{u,cyc}$	$\tau_{u0,cyc}$, МПа	$n_{u,cyc}$	$\eta_{u,cyc,th}$	$\frac{\eta_{u,cyc}}{\eta_{u,cyc,th}}$
5П-1п/0,98	131,6	0,98	6,58	2	0,989	0,991
5П-2п/0,98	131,6	0,98	6,58	2	0,989	0,991
5П-3п/0,98	131,6	0,98	6,58	3	0,979	1,001
5П-4п/0,98	131,6	0,98	6,58	4	0,971	1,009
5П-5п/0,95	127,5	0,95	6,38	3	0,979	0,970
5П-6п/0,95	127,5	0,95	6,38	3	0,979	0,970
5П-7п/0,95	127,5	0,95	6,38	7	0,954	0,996
5П-8п/0,93	124,8	0,93	6,24	9	0,945	0,983
5П-9п/0,93	124,8	0,93	6,24	10	0,942	0,987
5П-10п/0,93	124,8	0,93	6,24	12	0,936	0,993
5П-11п/0,91	122,4	0,91	6,12	35	0,906	1,006
5П-12п/0,91	122,4	0,91	6,12	41	0,903	1,009
5П-13п/0,91	122,4	0,91	6,12	44	0,903	1,010

Зразки п'ятої серії піддавалися повторним навантаженням, в яких рівень максимальних напружень в стержнях приймався в долях від базового напруження, тобто $\sigma_{s,cyc} = \eta_{cyc}\sigma_{s0}$. Повторні цикли виконувалися до того часу, коли в кожному зразку проковзування стержня досягало $\delta_{u,cyc} = 0,2$ мм. Результати випробування зразків повторним навантаженням наведені в табл. 2, в якій за $\sigma_{s0,cyc}$ прийнято напруження $\sigma_{s,cyc}$ з урахуванням того, що проковзування досягло граничного значення, а за $n_{u,cyc}$ – кількість циклів, яку витримав зразок до досягнення граничного стану.

У четвертому розділі зроблено аналіз експериментальних досліджень зчеплення бетону з арматурним прокатом серповидного профілю

Отримані експериментальні дані дозволяють встановити для досліджуваних матеріалів залежність між рівнем малоциклової витривалості $\eta_{u,cyc}$ і кількістю

циклів $n_{u,cyc}$ до настання втомленого малоциклового руйнування (рис. 11). Для описання залежності використано формулу у вигляді

$$\eta_{u,cyc} = 1 - a \frac{n_{u,cyc} - 1}{n_{u,cyc} + b} \quad (7)$$

де a і b – коефіцієнти, які визначаються статистичним шляхом.

Коефіцієнти a і b визначаються з умови квадратичних відхилень дослідних і теоретичних кривих. За умов виконаного експерименту значення коефіцієнтів виявилися рівними: $a = 0,12$; $b = 8,5$. За таких значень коефіцієнтів за формулою (7) обчислені теоретичні значення відносних рівнів малоциклової витривалості $\eta_{u,cyc,th}$ при експериментальних значеннях $n_{u,cyc}$ (див. табл. 2).

Середнє відношення $(\eta_{u,cyc}/\eta_{u,cyc,th}) = 0,993$ при середньоквадратичному відхиленні $\sigma = 0,013$ і коефіцієнті мінливості $v = 0,013$ (1,3 %). Такі статистики свідчать про те, що формула (7) добре описує малоциклову втомленість бетону з арматурними стержнями серповидного профілю.

За формулою (7) при значенні $n_{u,cyc} \rightarrow \infty$ межа малоциклової витривалості складе $\eta_{u,cyc} = 0,85$. Оскільки малоциклова втомленість настає за пружно-пластичного проковзування стержнів, певно, для уточнення значення $\eta_{u,cyc}$ необхідно провести досліди з бетонами різних класів, які б мали різні пружно-пластичні характеристики.

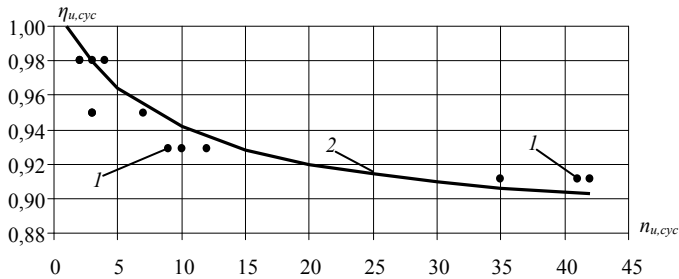


Рис. 10. Графік малоциклової втомленості зчеплення арматури з бетоном:
1 – експериментальні точки; 2 – теоретична крива згідно з формулою (7).

За результатами випробувань для кожної групи зразків обчислювались середні значення максимальних дотичних напружень τ_{um} , приймаючи їх постійними по довжині стержня, за формулою

$$\tau_{um} = \sigma_{s0m} \cdot A_s / (\pi \cdot d \cdot l_{an}), \quad (6)$$

де σ_{s0m} – напруження в стержнях при $\delta_u = 0$, стержнів 2 мм;
 A_s , d – відповідно площа та діаметр;
 l_{an} – довжина анкерування стержнів в бетоні.

Статистичний аналіз отриманих результатів показує, що між максимальними дотичними напруженнями і призмовою міцністю бетону R_b для стержнів діаметром 16 мм може бути прийнята лінійна залежність (рис. 11а) у вигляді

$$\tau_{um} = 0,3R_b \quad (8)$$

Також відмічається лінійна залежність між напруженнями в стержнях σ_{s0} і призмовою міцністю бетону R_b (рис. 11б).

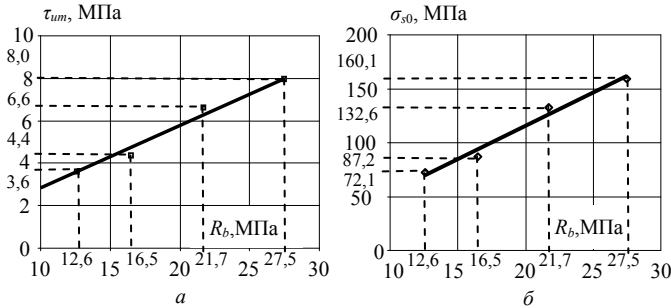


Рис. 11. Залежність граничних середніх дотичних напружень τ_{um} (а) та напружень в стержнях σ_{s0} (б) від міцності бетону R_b .

Максимальні дотичні напруження за результатами випробувань зразків четвертої серії, визначені за формулою (6), залежно від діаметру стержнів можна визначити за формулою

$$\tau_{um} = 0,3k_d R_b, \quad (9)$$

де k_d – коефіцієнт, який враховує залежність максимальних дотичних напружень від діаметру арматури і може бути знайдений за формулою

$$k_d = 0,264d - 0,008d^2 - 1,176, \quad (10)$$

де d – діаметр стержнів (мм).

Чисельно коефіцієнт k_d дорівнює відношенню σ_{s0} для стержнів діаметром 10, 14, 18 і 22 мм до σ_{s0} для стержнів діаметром 16 мм. У виконаних експериментальних дослідженнях значення k_d для стержнів 10, 14, 18 і 22 мм виявилися відповідно рівними 0,67; 0,93; 0,86 і 0,73. В формулі (10) при $d = 16$ мм $k_d = 1,00$.

Періодичний профіль арматури – один з основних факторів, що впливають на зчеплення. За оцінку впливу параметрів періодичного профілю стержневої арматури на зчеплення з бетоном приймається відношення висоти поперечних виступів до їх кроку (h/t) і величина відносної площі зім'яття, що вираховується по формулі:

$$f_R = \frac{K \cdot F_R \cdot \sin \beta}{\pi \cdot d_u \cdot t}, \quad (11)$$

де F_R – площа проекції бічної поверхні поперечних ребер на площину, перпендикулярну осі арматурного стержня.

Для всіх стержнів діаметрами 10, 14, 16, 18 і 22 мм були виміряні висота поперечних виступів і їх крок та обраховані величини відносних площ зім'яття, що становили відповідно 0,069; 0,071; 0,082; 0,076; 0,075. Найбільша відносна площа зім'яття для стержнів діаметром 16 мм, як і на рисунку 9 зафіксовано найбільше напруження в стержнях з діаметром 16 мм при граничному проковзуванні $\delta_u = 0,2$ мм.

Аналіз експериментальних досліджень дає можливість стверджувати, що напруження в стержнях, які виникають в граничному стані зчеплення при $\delta_u = 0,2$ мм, лінійно залежать від довжини анкерування (рис. 12) і можуть бути визначені за емпіричною формулою

$$\sigma_{s0m} = k \cdot l_{an}, \quad (12)$$

де l_{an} – довжина анкерування стержнів в см;

k – емпіричний коефіцієнт, який визначається експериментальним шляхом (для умов виконаного експерименту $k = 16,5$ МПа/см).

Згідно з рекомендаціями по застосуванню арматурного прокату серповидного профілю класу А500С нормативний опір розтяганню для арматури класу А500С складає $R_{sn} = 500$, а розрахунковий - $R_s = 400$ МПа. Ці дані підтвержені попередніми і основними дослідями. Треба зазначити, що коефіцієнт k повинен бути визначеним для кожного класу бетону.

Знайдені за формулою (6) дотичні напруження зчеплення τ_{um} у зразках з довжиною анкерування 80, 160 і 240 мм відповідно склали $\tau_{um} = 6,7; 6,2$ і $6,6$ МПа при напруженнях в стержнях відповідно $\sigma_{s0m} = 135,1; 248,8$ і $398,0$ МПа. З цих даних видно, що дотичні напруження зчеплення в граничному стані τ_{um} практично не залежать від довжини анкерування стержнів l_{an} .

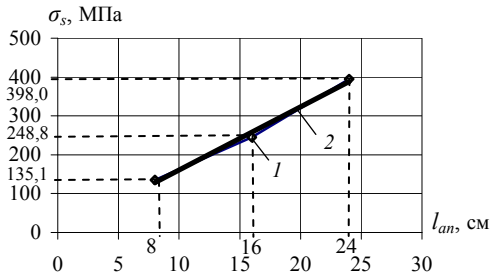


Рис. 12. Залежність напруження в арматурних стержнях при $\delta_u = 0,2$ мм від довжини його анкерування l_{an} : 1 – дослідні дані; 2 – теоретична залежність

ВИСНОВКИ

1. Досліджень роботи залізобетонних конструкцій із використанням арматурного прокату серповидного профілю не є достатньо, особливо це стосується зчеплення його з бетоном. У дисертації отримані нові експериментальні дані зчеплення арматурного прокату з бетоном при дії короточасних одноразових та повторних навантажень, запропонована методика розрахунку зчеплення арматурного прокату з бетоном при одноразових та повторних навантаженнях, яку доцільно використовувати в проектній практиці.

2. Експериментально встановлено, що повторні навантаження, рівень яких не перевищує 0,60 від руйнівного, спричиняють збільшення повного проковзування та виникнення залишкового проковзування стержнів, стабілізація яких відбувається на 5 - 7 циклах. Збільшення повного проковзування стержнів може складати до 15 %.

3. Для забезпечення рівномірності стержнів і їхнього зчеплення з бетоном мінімальна довжина анкерування повинна складати не менше $20d$, а для забезпечення розрахункового опору в арматурі $15d$.

4. Отримані нові експериментальні дані щодо зчеплення арматури серповидного профілю залежно від її діаметру та міцності бетону, й визначено залежності між дотичними максимальними напруженнями в стержнях і діаметром арматури та міцністю бетону.

5. Встановлено, що зі збільшенням міцності бетону зчеплення арматури серповидного профілю з бетоном збільшується пропорційно росту міцності.

6. Напруження в стержнях, які виникають в граничному стані зчеплення, лінійно залежать від довжини анкерування й можуть бути визначені за емпіричною формулою, запропованою в дисертації.

7. Запропоновано значення коефіцієнтів для знаходження дотичних напружень зчеплення бетону з арматурним прокатом через переміщення вільного кінця стержня відносно торця призми.

8. Наведено визначення поняття малоциклової втомленості зчеплення бетону з арматурними стержнями й експериментально встановлено, що малоциклова втомленість зчеплення арматури з бетоном при повторних навантаженнях високих рівнів настає при пружно-пластичному проковзуванні в ньому арматурних стержнів. Запропонована формула для її описання, яка має добру збіжність з експериментальними даними. Встановлено, що малоциклова втомленість настає при рівні навантаження, який перевищує 0,85 від руйнівного.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ

1. Бабич Є.М. Дослідження малоциклової втомленості зчеплення бетону з арматурою серповидного профілю / Є.М. Бабич, О.С. Чапюк // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Збірник наукових праць. - Рівне: НУВГП, 2008. - Випуск 17. - С. 105 – 113.
2. Бабич Є.М. Визначення мінімальної довжини анкерування арматури класу А500С / Є.М. Бабич, О.С. Чапюк // Будівельні конструкції: Збірник наукових статей. – Київ: НДІБК, 2008. – Випуск 70. - С. 124 – 131.
3. Чапюк О.С. Дослідження впливу повторних навантажень різних рівнів на межу зчеплення арматурного прокату класу А500С з бетоном / О.С. Чапюк // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Збірник наукових праць. - Рівне: НУВГП, 2009. - Випуск 18. - С. 359 – 365.
4. Бабич Є.М. Дослідження зчеплення арматурного прокату серповидного профілю з бетоном при одноразовому і повторному витяганні / Є.М. Бабич, Б.А. Вавринюк, О.С. Чапюк // Вісник ОДАБА. - Одеса, 2009. - Випуск 35. - С. 18-24.
5. Чапюк О.С. Методика експериментальних досліджень зчеплення бетону з арматурою класу А500С / О.С. Чапюк // Гідромеліорація та гідротехнічне будівництво: Збірник наукових праць. - Рівне: НУВГП, 2008. - Випуск 33. - С. 114 – 120.
6. Бабич Є.М. Зчеплення арматури класу А500С з бетоном різної міцності / Є.М. Бабич, О.С. Чапюк // Механіка і фізика руйнування будівельних матеріалів та конструкцій: збірник наукових праць.– Львів: Каменяр, 2009. - Вип. 8. – С. 132-139.
7. Бабич Є.М. Напружено-деформований стан контакту з бетоном арматури серповидного профілю / Є.М. Бабич, Б.А. Вавринюк, О.С. Чапюк // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Збірник наукових праць. - Рівне: НУВГП, 2009. - Випуск 19. - С. 74-82.

АНОТАЦІЯ

Чапюк О.С. Зчеплення бетону з арматурним прокатом серповидного профілю при короткочасних одноразових і повторних навантаженнях. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.01. – Будівельні конструкції, будівлі та споруди. – Луцький національний технічний університет, Луцьк 2009.

Дисертаційна робота присвячена дослідженню особливостей зчеплення арматурного прокату серповидного профілю з бетоном при повторних навантаженнях, оцінці та розробці методики розрахунку зчеплення при повторних навантаженнях. Досліджено залежність зчеплення прокату з бетоном залежно від довжини анкерування, вплив повторних навантажень різних рівнів на межу зчеплення арматурного прокату з бетоном, досліджено зчеплення арматури і бетону залежно від класу бетону і діаметра арматури при

одноразових і повторних навантаженнях, вперше досліджено малоциклову втомленість зчеплення арматурного прокату з бетоном, зроблено порівняння зчеплення арматури класів А-III і А500С з бетоном при одноразових і повторних навантаженнях

Отримано нові експериментальні дані про зчеплення бетону з арматурним прокатом серповидного профілю при короткочасних одноразових і повторних навантаженнях.

Статистично підтверджено задовільну збіжність між теоретичними даними, отриманими за запропонованою методикою, і експериментальними даними автора.

Ключові слова: напруження, зчеплення, міцність, малоциклова втомленість, залежність.

АННОТАЦІЯ

Чапук О.С. Сцепление бетона с арматурным прокатом класса А500С при кратковременных одноразовых и повторных нагрузках. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.01 – «Строительные конструкции, здания и сооружения». – Луцкий государственный технический университет, Луцк 2009.

Диссертация посвящена исследованию особенностей сцепления арматурного проката класса А500С с бетоном при повторных нагрузках, оценке и разработке методики расчета сцепления при повторных нагрузках. Исследовались зависимости сцепления проката с бетоном зависимо от длины анкеровки, влияния повторных нагрузок разных уровней на границу сцепления арматурного проката с бетоном, исследовано сцепление арматуры и бетона зависимо от класса бетона и диаметра арматуры при одноразовых и повторных нагрузках, впервые исследовано малоцикловую усталость сцепления арматуры и бетона, проведено сравнение сцепления арматуры классов А-III и А500С с бетоном при одноразовых и повторных нагрузках.

Во **введении** обоснована актуальность темы, цель и задачи исследования, научная новизна, практическая ценность, подана общая характеристика диссертации.

Первый раздел посвящен обзору и анализу трудов отечественных и зарубежных ученых, в которых изучалось сцепление арматуры с бетоном. Выяснено, что исполнено большое количество экспериментальных исследований сцепления бетона с арматурой классов А-II, А-III, А-VI и другими при одноразовых кратковременных нагрузках, которые уже почти не производятся и не используются при изготовлении железобетонных конструкций. Сцепление бетона с традиционной арматурой при повторных нагрузках изучено мало, а с арматурным прокатом не проводилось.

Во **втором разделе** разработана методика проведения экспериментальных исследований, определены механические характеристики бетона и арматуры.

Изложены объем и программа экспериментальных исследований, описана установка для испытания образцов, методика измерения проскальзывания свободного конца стержней относительно бетонной призмы.

В **третьем разделе** приведены результаты экспериментальных исследований сцепления бетона с арматурным прокатом класса А500С. Получены новые экспериментальные данные о сцеплении бетона с прокатом зависимо от длины анкеровки, уровня нагрузки, прочности бетона и диаметра арматуры. Впервые получены результаты малоциклового усталости сцепления бетона с арматурой.

Четвертый раздел посвящен анализу экспериментальных исследований сцепления бетона с арматурным прокатом класса А500С. Предложено формулу для описания малоциклового усталости сцепления бетона с арматурой. Установлено, что между максимальными косвенными напряжениями и прочностью бетона установлена линейная зависимость. Предложена формула зависимости косвенных напряжений сцепления арматурного проката с бетоном зависимо от диаметра арматуры. Статистическая оценка сходимости теоретических и экспериментальных данных автора свидетельствует об их удовлетворительном совпадении.

В **выводах** приводятся основные результаты экспериментальных и теоретических исследований.

Ключевые слова: напряжение, сцепление, прочность, малоцикловая усталость, зависимость.

ANNOTATION

O.S. Chapyuk. Cohesion of concrete and rolled metal of falcate profile under short-term and repeated loads. – Manuscript.

Thesis for the Candidate's Degree (Technical Sciences) in speciality 05.23.01 – building structures, buildings and constructions. – Lutsk State Technical University, Lutsk, 2009.

The work is dedicated to the research of peculiarities of concrete with rolled metal of falcate profile under repeated loading. Dependence of the rolled metal with concrete on the length of anchoring, effect of repeated loads of different levels upon the limit of cohesion, dependence of cohesion on the class of concrete and rolled metal diameter under short-term and repeated loads have been investigated as well as the low-cycled fatigue of rolled metal and concrete cohesion. Comparison of cohesion of A-III class rolled metal and class А500С rolled metal and concrete is made.

New experimental data are obtained.

The semblance of theoretical data obtained by the offered methods and experimentally obtained results is statistically confirmed.

Key words: stain, cohesion, durability, low-cycled fatigue, dependence.

Підписано до друку 13.01.2010 р.
Формат 60 × 90 1/16.
Папір друкарський №1. Гарнітура Times.
Друк різнографічний. Ум. друк. арк. 1.0.
Тираж 100 прим. Зам. №452

Редакційно-видавничий відділ
Луцького національного технічного університету
43018 м. Луцьк, вул. Львівська, 75.
Друк – РВВ ЛНТУ

