

УДК 624.012.25

О. Чапюк, канд. техн. наук

Луцький національний технічний університет

ЗЧЕПЛЕННЯ АРМАТУРНИХ СТЕРЖНІВ РІЗНИХ ДІАМЕТРІВ КЛАСУ А500С З БЕТОНОМ

Резюме. Наведено результати експериментальних досліджень зчеплення бетону з арматурою серповидного профілю (класу А500С) діаметрів 10, 14, 16, 18, 22 мм та запропоновано формули (2) і (3), які можуть бути використані для розрахунку анкерування арматури.

Ключові слова: зчеплення арматури з бетоном, анкерування, серповидний профіль, дотичні напруження.

О. Chapiuk

ADHESION OF VARIOUS DIAMETER A500S CLASS CONCRETE REINFORCED RODS WITH CONCRETE

Summary. In the production of the reinforced concrete structures comparatively new reinforcement crescent profile (ДСТУ 3760 – 2006), the adhesion of which with the concrete is not studied enough, has been used in Ukraine since the early third millennium. According to the research of Prof. J.A. Klimov the value of relative shear area of the transverse lug, that influences the adhesion with the concrete in the bars crescent profile, is in 2.4 – 3.7 times less than the corresponding values of screw profile rod that was used before. Therefore, it is necessary to use the correction factors for calculation of the class A500S anchoring reinforcement. The most important factor, which provides mutual work of the reinforcement and concrete in the reinforced structures is the adhesion at the contact between them. According to the researched results, the adhesion strength depends on the adhesion in concrete performances on the periodic profile reinforcement surface; friction forces that are developed under the reinforcement and concrete, contact caused by its shrinkage; reinforcement and concrete cementing, caused by the cementing property of the adhesive gel. The greatest influence on the adhesion strength is the first factor – it provides about 75% of the total sliding resistance of the reinforcement in concrete. If the reinforcement is smooth, the sliding resistance decreases in 2 – 3 times. The results of experimental studies of the concrete adhesion with crescent profile (class A500S) reinforcement of 10, 14, 16, 18 and 22 mm diameters are presented in the article. Samples were made in the form of concrete prisms of square cross section with 15 cm sides. The prisms height was determined by the standard length of anchoring rods, which was 5d (d – diameter rods). Reinforcement rods were arranged in the prisms so that their longitudinal axes coincide, and protruding parts of rods made possible to be fastened in the clutch press on one side, and on the other (free) – to measure its displacement (sliding) toward the prisms end using a tracer. In the experiments it was revealed that the value of tangential stresses of concrete and reinforcement adhesion depends on its diameter and can be taken into account by introduction of an additional factor k_d , which can be found by the formula (3). The greatest shear area is for the 16 mm diameter rod, so the tangential stresses in them are the greatest. It is testified experimentally.

Key words: reinforcement concrete adhesion, anchoring, crescent profile, tangential stress.

Постановка проблеми. В практиці виготовлення залізобетонних конструкцій в нашій країні і за кордоном масово використовується арматурний прокат серповидного профілю за ДСТУ3760-2006. Особливості роботи такої арматури в залізобетонних конструкціях досліджені недостатньо, найбільше це стосується спільної роботи стержнів і бетону, тобто їхнього зчеплення. Площа зім'яття арматурних стержнів серповидного профілю в кілька разів менша, ніж стержнів кільцевого профілю (А-III),

який застосовувався раніше. Отже, необхідно використовувати поправочні коефіцієнти для розрахунку анкерування арматури класу А500С. У роботі досліджено питання зчеплення цього виду прокату різних діаметрів з бетоном.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Досліджень спільної роботи арматурного прокату класу А500С з бетоном залежно від діаметрів стержнів проведено дуже мало. Зчеплення оцінюється величиною умовних дотичних напружень $\tau_{b,u}$, які діють на поверхні контакту арматури й бетону. За результатами досліджень доктора технічних наук, професора Климова Ю.А. [1, 2] значення відносної площі зминання поперечних виступів, яка впливає на зчеплення з бетоном, у стержнях серпоподібного профілю в 2,4 – 3,7 раза менше, ніж відповідні значення для стержнів гвинтового профілю, який використовувався раніше. Розроблені рекомендації з анкерування такої арматури [3] потребують уточнень, підґрунтям для яких можуть бути результати додаткових об’ємних експериментальних досліджень.

Метою роботи є встановлення особливостей зчеплення арматурного прокату серпоподібного профілю з бетоном залежно від діаметрів стержнів при короткочасних одноразових навантаженнях, оцінювання та удосконалення методики розрахунку зчеплення.

Конструкція дослідних зразків та матеріали для них. Поставлені питання вивчалися при дослідженні зчеплення арматури з бетоном у зразках четвертої серії (табл. 1). Зразки виготовляли у вигляді бетонних призм квадратного перерізу зі стороною 15 см. Висота призм визначалася прийнятою довжиною анкерування стержнів, яка становила $5d$ (d – діаметр стержнів). Арматурні стержні розташовували в призмах таким чином, щоб їхні поздовжні осі співпадали, а виступаючі частини стержнів дозволяли з одного боку закріплювати в захваті преса, а з другого (вільного) – вимірювати його переміщення (проковзування) відносно торця призм (рис. 1). У позначенні зразків цифра перед буквою «П» (призма) означає номер серії, наступне число – проектний клас бетону, третє – діаметр арматури, наступні цифри – номери зразків. Буква «к» указує, що зразки випробувані короткочасним одноразовим навантаженням. Механічні характеристики арматурних стержнів класу А500С визначали шляхом випробування їх на розтяг у розривній машині за стандартною методикою. Виявилось, що для різних діаметрів тимчасовий опір розриву був неоднаковий і знаходився в межах $\sigma_u = 641,4 \dots 672,2$ МПа, а умовна межа текучості – $\sigma_{0,2} = 490,2 \dots 515,2$ МПа (табл. 2).

Таблиця 1

Об’єм експериментальних досліджень

| Серія | Клас бетону | Діаметр стержнів, мм | Довжина анкерування, мм | Кількість зразків, шт. | Марка зразків |
|-------|-------------|----------------------|-------------------------|------------------------|-----------------|
| 4 | С20/25 | 10 | 50 | 3 | 4П-25/10к-1,2,3 |
| | | 14 | 70 | 3 | 4П-25/14к-1,2,3 |
| | | 16 | 80 | 3 | 4П-25/16к-1,2,3 |
| | | 18 | 90 | 3 | 4П-25/18к-1,2,3 |
| | | 22 | 110 | 3 | 4П-25/22к-1,2,3 |

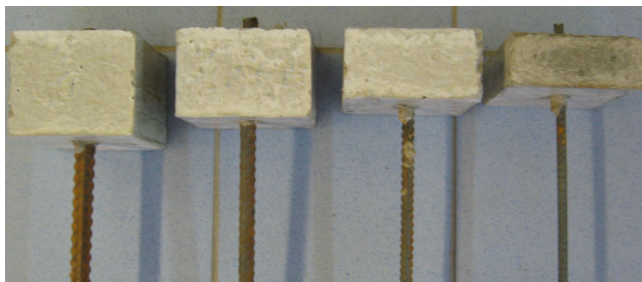


Рисунок 1. Загальний вигляд зразків четвертої серії дослідів

Figure 1. General view of samples of the fourth series of experiments

Таблиця 2

Механічні властивості арматури

| Діаметр, мм | Площа перерізу, см ² | Умовна межа текучості, $\sigma_{0,2}$, МПа | Модуль пружності E_s , МПа | Тимчасовий опір розриву, σ_u , МПа |
|----------------|---------------------------------------|---|------------------------------------|---|
| 10 | 0,785 | 490,2 | $1,89 \times 10^5$ | 646,7 |
| 14 | 1,539 | 503,6 | $1,95 \times 10^5$ | 651,6 |
| 16 | 2,011 | 497,3 | $1,99 \times 10^5$ | 672,2 |
| 18 | 2,545 | 515,2 | $2,19 \times 10^5$ | 671,6 |
| 22 | 3,801 | 3,801 | $1,88 \times 10^5$ | 641,4 |

Механічні характеристики бетону визначали шляхом випробовування бетонних кубів з розміром ребер 150 мм, призм з поперечним перерізом 150×150 мм і висотою 600 мм, які виготовлялися одночасно з виготовленням зразків (табл. 3). Характеристики бетону наведені на час початку випробовувань основних зразків (60 діб).

Таблиця 3

Механічні характеристики бетону

| Серія | Клас бетону | Кубкова міцність, $f_{cm,cub}$, МПа | Призмova міцність, $f_{cm,prism}$, МПа | Початковий модуль пружності E_{cm} , МПа |
|-------|-------------|--|--|--|
| 4 | C20/25 | 29,8 | 20,9 | 23000 |

Методика дослідження зразків. Дослідження зчеплення арматури з бетоном виконували шляхом висмикування (витягання) стержня з бетонної призми з використанням спеціального натяжного пристрою в розривній гідравлічній машині (рис. 2). Навантаження до стержня прикладали ступенями, що дорівнювали 0,5 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.



Рисунок 2. Загальний вигляд випробовування зразків

Figure 2. General view of the test samples

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. Прийнято, що значенню δ_u відповідає напруження в арматурі σ_{s0} .

Зчеплення з бетоном стержнів різних діаметрів. У зразках четвертої серії міцність бетону була однаковою (проектна C20/25), а діаметр стержнів змінювався (10, 14, 16, 18, 22 мм), відповідно змінювалася й висота призми (довжина анкерування стержнів) від 50 до 110 мм.

В усіх трьох зразках 4П-25/10к проковзування стержнів на 0,2 мм відбулося при напруженнях $\sigma_{s0} = 89,2$ МПа. При такому ж напруженні проковзування в зразках 4П-25/14к, 4П-25/16к, 4П-25/18к і 4П-25/10к відповідно склало 0,028; 0,033; 0,036 і 0,05 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 у них напруженнях σ_{s0} (рис. 3). Найбільші напруження $\sigma_{s0} = 132,6$ МПа при $\delta_u = 0,2$ мм були досягнуті в зразках 4П-25/16к, а в призмах 4П-25/10к, 4П-25/14к, 4П-25/18к і 4П-25/22 відповідно $\sigma_{s0} = 89,2$; 123,4; 114,2 і 97,4 МПа.

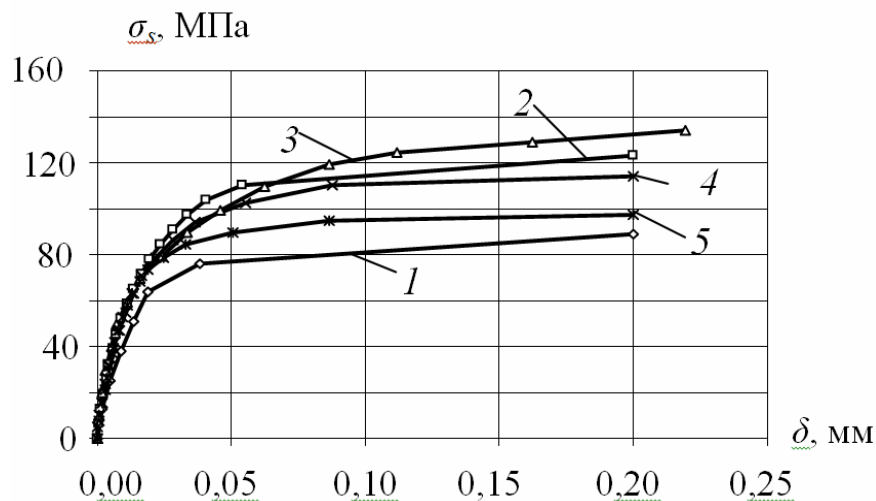


Рисунок 3. Проковзування кінців стержнів різних діаметрів δ залежно від напружень у них σ_s :
1, 2, 3, 4 і 5 – відповідно діаметр стержнів 10, 14, 18, 20 і 22 мм (клас бетону С 20/25)

Figure 3. Skidding of rods ends of various diameters δ depending on the tensions in them σ_s :
1, 2, 3, 4 and 5 – diameter rods respectively 10, 14, 18, 20 and 22 mm (concrete class C 20/25)

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

$$\tau_{Rm} = \sigma_{s0} A_s / (\pi d l_{an}), \quad (1)$$

де σ_{s0} – напруження в стержнях при $\delta_u = 0,2$ мм;
 A_s, d – відповідно площа та діаметр стержнів;
 l_{an} – довжина анкерування стержнів в бетоні.

Максимальні дотичні напруження за результатами випробувань зразків четвертої серії, визначені за формулою (1), залежно від діаметра стержнів можна визначити за формулою

$$\tau_{Rm} = 0,3k_d f_{cm,prism} \quad (2)$$

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

$$k_d = 0,264d - 0,008d^2 - 1,176, \quad (3)$$

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 відповідно дорівнювали 0,67; 0,93; 0,86 і 0,73. У формулі (4) при $d = 16$ мм $k_d = 1,00$.

Формули (2) і (3) справедливі для матеріалів, близьких до використаних у виконаних дослідках, а саме: бетон класу C20/25; діаметр арматури класу A500C від 10 до 22 мм; довжина анкерування арматури – $5d$. Для інших діаметрів арматури і класів бетону необхідно проводити додаткові дослідження.

Найбільший вплив на величину максимальних дотичних напружень і зчеплення арматури з бетоном у порівнянні з іншими факторами (міцністю, способом вкладання, умовами твердіння, напруженим станом бетону та ін.) має профіль поперечного перерізу арматури.

Зчеплення арматури періодичного профілю з бетоном визначається висотою h , кроком t та геометричною формою виступів (рис. 4) і оцінюється коефіцієнтом відносної площі зім'яття f_R

$$f_R = \gamma \frac{h}{t}, \quad (4)$$

де γ – коефіцієнт, що залежить від форми виступів (для арматури серпоподібного профілю $\gamma = 0,5$; для арматури традиційного профілю за ГОСТом 5781-82 – $\gamma = 0,9$ [2];

h – висота виступів;

t – крок виступів.

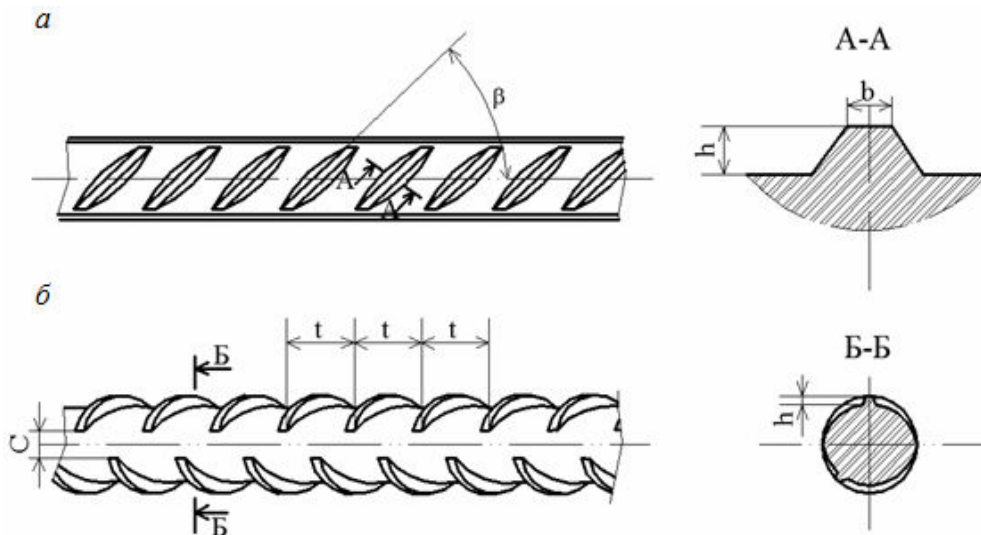


Рисунок 4. Арматурний прокат серпоподібного профілю за ДСТУ 3760:2006:
 β – кут нахилу поперечного виступу; d_n – номінальний діаметр стержня;
 t – крок поперечних виступів; K – число поперечних виступів по периметру

Figure 4. Crescent profile reinforcement bars according to ISO 3760:2006:
 β –transverse bug slope angle, d_n – nominal rod diameter;
 t – transverse bug step, K – number of transverse bug along the perimeter

Для визначення фактичних значень відносної площі зім'яття f_R і співставлення їх з відповідними нормованими значеннями за ДСТУ 3760-2006 [4] були виконані заміри геометричних параметрів профілю дослідних зразків арматури – висоти h і кроку t поперечних виступів.

Під час опрацювання результатів вимірювань за висоту виступів приймалось середнє арифметичне значення вимірів у середині двох сусідніх виступів кожного ряду з точністю 0,01 мм. Крок поперечних виступів визначався як середнє арифметичне значення трьох замірів з точністю 0,1 мм.

Результати замірів і обчислення відносної площі зім'яття поперечних виступів f_R наведено в таблиці 4.

Таблиця 4

Результати параметрів стержнів і фактичних відносних площ зім'яття поперечних виступів f_R

| № зп | Діаметр зразків, мм | Результати вимірювання | | Необхідні значення | | Відносна площа змінання, f_R | |
|------|---------------------|------------------------|----------|---------------------|-------------|--------------------------------|----------------------|
| | | h , мм | t , мм | h , мм (не менше) | t , мм | Фактична | Необхідна (не менше) |
| 1 | 10 | 0,95 | 7,4 | 0,70 | 5,5...7,5 | 0,069 | 0,056 |
| 2 | 14 | 1,25 | 8,9 | 0,94 | 7,5...9,0 | 0,071 | 0,056 |
| 3 | 16 | 1,55 | 10,5 | 1,12 | 8,1...11,0 | 0,082 | 0,056 |
| 4 | 18 | 1,61 | 11,9 | 1,45 | 9,5...12,2 | 0,076 | 0,056 |
| 5 | 22 | 1,79 | 13,6 | 1,52 | 11,3...13,9 | 0,074 | 0,056 |

Фактичні вимірювання експериментальних досліджень показують, що ця арматура повністю відповідає стандарту, а тому отримані результати можуть бути розповсюджені на весь арматурний прокат. За фактичними вимірюваннями параметрів стержнів були обчислені відносні площі зім'яття f_R для стержнів різних діаметрів. Як бачимо з табл. 4 найбільша площа зім'яття для стержнів діаметром 16 мм, а це є підтвердженням, що вони в дослідах прийняті як базові. Використовуючи формули (2), (3), можна визначати максимальні напруження зчеплення з бетоном арматури серпоподібного профілю й значення довжини анкетування для різних діаметрів стержнів. Розрахункову довжину анкетування необхідно визначати відповідно до норм проектування [5].

Висновки. Отримано нові експериментальні дані щодо зчеплення арматури серповидного профілю класу А500С залежно від її діаметру. Встановлено, що величина дотичних напружень зчеплення бетону з арматурою залежить від її діаметра і може бути врахована введенням додаткового коефіцієнта k_d , який можна знайти за формулою (3). Формули (2) і (3) можуть бути використані для розрахунку анкерування арматури за умови, що використовуються матеріали, близькі до застосованих в умовах експерименту. Для інших умов необхідно виконувати додаткові дослідження. Найбільша площа зім'яття для стержнів діаметром 16 мм, тож дотичні напруження у них найбільші – це підтверджують і експериментальні дослідження.

Conclusions. New experimental data on the A500S class crescent profile reinforcement adhesion, depending on its diameter, were obtained. It is revealed experimentally that the value of the tangential stresses of concrete and reinforcement adhesion depends on its diameter and can be taken into account by introduction of an additional factor k_d , which can be found by the formula (3). Formulae (2) and (3) can be used to calculate the reinforcement anchoring, provided that the materials used are similar to those used in the experiment. For the other conditions it is necessary to perform additional research. The greatest shearing area is for 16 mm diameter rods. Thus, the tangential stresses in them are the greatest. It is testified experimentally.

Список використаної літератури

1. Шмуклер, В.С. Каркасные системы облегченного типа [Текст] / В.С. Шмуклер, Ю.А. Климов, Н.П. Бурак // Харьков: золотые страницы. – 2008. – 336 с.
2. Производство и применение арматурного проката класса А500С [Текст] / Ю.Т. Худик, Е.М. Рыбалка, А.В. Кекух, Н.П. Жильцов, Ю.А. Климов // Будівельні конструкції: збірник наукових праць. – Київ: НДІБК, 2003. – Випуск 59. – Книга 1. – С. 22 – 25.
3. Рекомендации по применению арматурного проката по ДСТУ 3760-98 при проектировании и изготовлении железобетонных конструкций без предварительного напряжения арматуры [Текст]. – Киев: Технический комитет по стандартизации «Арматура для железобетонных конструкций», 2002. – 39 с.
4. Прокат арматурний для залізобетонних конструкцій. Заг. технічні умови. ДСТУ 3760:2006 [Текст]. – Київ: Держспоживстандарт України, 2007. – 28 с.
5. ДСТУ Б В.2.6-156:2010. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування [Текст]. – Київ: Мінрегіонбуд України, 2010. – 166 с.

Отримано 08.04.2013