

**АНАЛІЗ ЧИННИКІВ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ЗЧЕПЛЕННЯ
АРМАТУРИ СЕРПОПОДІБНОГО ПРОФІЛЮ З БЕТОНОМ І
ФІБРОБЕТОНОМ**

**ANALYSIS OF THE FACTORS AFFECTING THE ADHESION OF THE
SICKLE PROFILE REINFORCEMENT WITH CONCRETE**

**Білозір В.В., к.т.н., доц., Мазурак Р.А., аспірант (Львівський
національний аграрний університет)**

**Bilozir V., PhD, Associate Professor (Lviv National Agrarian
University), Mazurak R., postgraduate (Lviv National Agrarian University)**

Виконано аналіз впливу міцності бетону на напруження арматури серпоподібного профілю за її висмикування з бетону. Показано, що ці напруження лінійно залежать від міцності бетону на тиск і від відносної довжини анкерування, яка дорівнює відношенню довжини анкерування до діаметра стрижня. Виявлено, що коефіцієнт зчеплення стрижнів з бетоном, який пов'язує відносну довжину анкерування з відношенням напружень стрижня при висмикуванні до призмової міцності бетону, дорівнює 0,83. Визначено, що за інших рівних умов напруження стрижнів кільцеподібного профілю у порівнянні зі серповидним профілем за висмикування в 1,4 рази більші.

The effect of concrete strength on the tension of reinforcement of sickle-shaped profile for its removal from concrete is analyzed. It is shown that these stresses depend linearly on the concrete compressive strength and on the relative anchorage length, which is equal to the ratio of the anchorage length to the core diameter. It was found that the coefficient of adhesion of the bars to the concrete, which relates the relative length of the anchoring with the ratio of the stresses of the rod when pulled to the prism strength of concrete, is 0.83. It is determined that, under all other conditions, the tension of the rods of the annular profile in comparison with the sickle profile is 1.4 times higher for the excision.

The technique of determination of maximum coupling stresses of cores of a periodic profile, developed in NIIZhB, is analyzed. It is found that the boundary stresses of the clutch, calculated by this method, are significantly lower than those obtained experimentally. The hypothesis is formulated that this technique does not take into account the possible participation in the work to pull out the core of a larger volume of concrete adjacent to the contact layer.

It is shown that in the Eurocode 2 formula it is expedient to take into account the Rem index, which characterizes the relative cross-sectional area of deflection, and the impact of which can be estimated only after extensive experimental studies are used to determine the maximum coupling stresses of concrete rod reinforcement.

In the future, it is necessary to carry out experimental and theoretical studies of anchoring rods of sickle-shaped profile in concrete, reinforced with fiber

reinforcement of Ukrainian mass production at the expense of its 55 - 140 kg per 1 m³ of concrete mixture, which takes place in real load-bearing structures, as foreign researchers note that for dispersive reinforcement costs up to 70 kg / m³, it has less impact on the adhesion of the bars to the concrete than the compressive strength of the concrete.

Ключові слова: арматура, серпоподібний профіль, бетон, зчеплення, розрахунок.

Key words: armature, sickle profile, concrete, clutch, calculation.

Постановка проблеми. Починаючи з 90-х років минулого століття у будівельній галузі України в якості арматури залізобетонних конструкцій почали використовувати сталеві стрижні серповидного профілю. Зараз ця арматура практично витіснила арматуру з кільцевим профілем. Арматура серповидного профілю є однією з найбільш поширених у країнах ЄС завдяки тому, що під час її виготовлення зношування технологічного обладнання є меншим, ніж за виготовлення арматури кільцевого профілю, яка, однак, має суттєво вищі показники зчеплення з бетоном. У дослідників досі немає однієї точки зору щодо кількісної оцінки впливу різних чинників на руйнівні зусилля за зсуву стрижнів відносно бетону. У зв'язку з цим важливим є вдосконалення розрахункового апарату для визначення необхідної довжини анкерування стрижнів серповидного профілю у бетоні та розроблення його за використання фібробетону, волокна якого здатні блокувати розвиток мікротріщин у місцях контакту поперечних ребер стрижнів з бетоном, втягувати у спільну роботу великі об'єми бетону.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Експериментально-теоретичні дослідження зчеплення арматурних стрижнів з бетоном проводили багато дослідників як в Україні, так і за кордоном. Сюди належать дослідження Бабича Є. М., Гвоздева О. О., Залесова О. С., Карпенка М. І., Климова Ю. А., Мадатяна С. А., Муліна М. М., Мурашова В. І., Оатула О. О., Овчиннікової М. Г., Семченкова О. С., Холмянського М. М., Bigai A. J., Darwin D., Eligehausen R., Gambarova P. G., Goto Y., Lutz L. A., Martin H., Mayer U., Muller H. H., Noakowski P., Rehm G. та інших. Граничні напруження зчеплення арматурних стрижнів з бетоном залежать від багатьох чинників, серед яких суттєвий вплив мають характер поверхні стрижнів та їх діаметр, міцність бетону та його гранулометричний склад, умови зчеплення [1; 2].

Питання впливу форми поверхні фібрової арматури на зчеплення її з бетонною матрицею висвітлені у працях [3–5], у яких показано, що загнуті кінці фібри з дроту, профілювання поверхні фібри з відходів листопрокатного виробництва суттєво впливають на значення напружень у фібрі за її висмикування з бетону.

Однак єдиної методики розрахунку середніх дотичних напружень за повної втрати зчеплення між арматурою і бетоном поки що немає. Крім того, фіброве армування мало би поліпшити зчеплення стрижнів з бетоном, однак методика розрахунку необхідної довжини анкерування для цього випадку поки що не розроблена.

Постановка завдання. Наше завдання – проведення аналізу експериментально-теоретичних досліджень зчеплення стрижнів серпоподібного профілю з бетоном та розроблення пропозицій щодо методики розрахунку необхідної довжини анкерування стрижнів у фібробетоні.

Виклад основного матеріалу. У праці [6] подано результати досліджень зчеплення стрижнів серпоподібного профілю діаметром 16 мм, зароблених на різну довжину у бетон призм різних класів міцності на осьовий стиск (Рис.1).

Автором показано, що нормальні і дотичні напруження при зсуві незавантаженого кінця стрижня на 0,2 мм прямо пропорційно залежать від призмової міцності бетону [6]. За результатами випробувань стрижнів на висмикування з бетону отримана залежність граничних напружень зчеплення f_b від середньої призмової міцності $f_{c,prism}$:

$$f_b = 0,3f_{c,prism}. \quad (1)$$

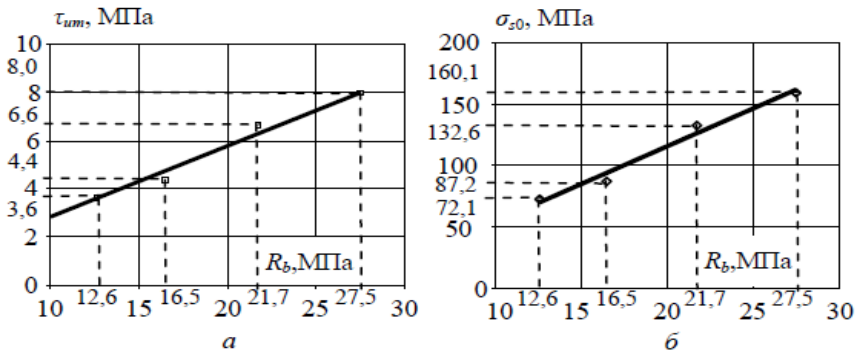


Рис. 1. Залежність граничних середніх дотичних напружень τ_{max} (а) та напружень у стержнях σ_{s0} (б) від призмової міцності бетону f_{cd} (R_b)[6]

Результати досліджень, виконаних багатьма авторами, були проаналізовані свого часу в НИИЖБ, що дозволило встановити залежність між відносною довжиною анкерування арматури періодичного профілю, напруженнями арматури при висмикуванні і міцністю бетону [1]:

$$\frac{l_{b,rq}}{\phi} = \eta \frac{\sigma_s}{f_{c,prism}}, \quad (2)$$

де $l_{b,rq}$ – довжина анкерування стрижня у бетоні; \varnothing – діаметр арматурного стрижня; σ_s – напруження у стрижні за межами довжини анкерування за висмикування з бетону; $f_{cm,prism}$ – призмova міцність бетону; η – коефіцієнт зчеплення арматури з бетоном, який для арматури періодичного кільцевого профілю дорівнює 0,6, а для гладкої арматури – 1,2.

Згідно з Єврокод 2 довжину заанкерування арматури визначають, виходячи з рівності висмикуючого зусилля і зусилля зчеплення стрижня з бетоном [2]:

$$l_{b,rq} = (\varnothing/4)(\sigma_s/f_b). \quad (3)$$

З урахуванням рівнянь (1) – (3) отримано:

$$\frac{l_{b,rq}}{\varnothing} = \frac{\sigma_s}{4(0,3f_{c,prism})} = \eta \frac{\sigma_s}{f_{c,prism}}. \quad (4)$$

З рівняння (4) отримуюмо значення коефіцієнта $\eta = 0,83$. З рівняння (4) отримуюмо значення коефіцієнта $\eta = 0,83$. Таким чином, зчеплення арматури серпоподібного профілю у порівнянні з арматурою кільцевого профілю майже в 1,4 рази менше. На те, що необхідна довжина анкерування арматури серпоподібного профілю на 30 – 50 % більша у порівнянні з арматурою кільцевого профілю вказується також у праці [7].

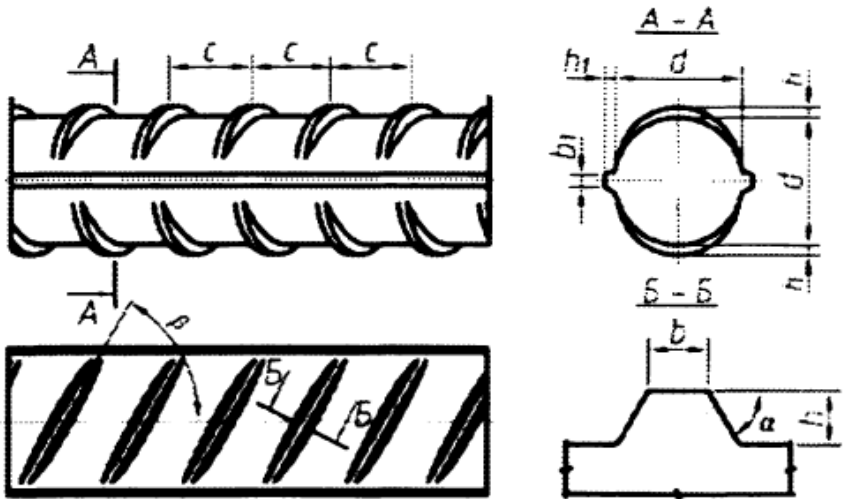


Рис. 2. Арматура серпоподібного профілю [7]

Якість зчеплення арматури періодичного профілю, в т. ч. серпоподібного, геометричні характеристики якого показані на рис. 2, оцінюють індексом (коефіцієнтом), який у 1969 р. запропонував Рем [7]:

$$f_R = \frac{k F_R}{\pi d c}, \quad (5)$$

де $k=2$ – кількість вертикальних рядів поперечних ребер;

F_R – проекція площі одного поперечного ребра на площину поперечного перерізу стержня:

$$F_R = 0,25 \pi d. \quad (6)$$

Вважається, що індекс Рема в межах 0,05 – 0,10 для арматури періодичного профілю є прийнятним з врахуванням достатнього зчеплення стрижнів з бетоном, допустимих прогинів, ширини розкриття тріщин, відсутності сколювань захисного шару бетону та поздовжніх тріщин.

За результатами вимірювань геометричних параметрів стрижнів серпоподібного профілю діаметрами 10, 14, 16, 18 і 22 мм автором [6] було визначено за формулою (5) для них індекси Рема (відносна площа зминання поперечних виступів): 0,069; 0,071; 0,082; 0,076; 0,075 відповідно, що більше за мінімальне значення 0,056, встановлене ДСТУ 3760:2006 [8].

У праці [7] запропонована методика розрахунку граничних напружень зчеплення залежно від схеми руйнування бетонних шпонок під поперечними ребрами профілю стрижня (рис. 3). Авторами показано, що ці напруження залежать від геометричних параметрів профілю арматурного стрижня і від міцності бетону на розтяг за зрізу шпонок та від міцності бетону на стиск за зминання бетону під поперечними ребрами профілю. Показано, що для середніх класів бетону руйнування за зсуву стрижнів серпоподібного профілю відбувається через зминання, а за бетону класу C50/60 – через зріз шпонок. Суттєвого впливу діаметра стрижнів на граничні напруження їх зчеплення з бетоном не виявлено.

У праці [9] Циба О.О. на основі результатів власних експериментальних досліджень та інших авторів показав, що граничні напруження зчеплення можна визначити за формулою російського СП 52-101-2003, яка за структурою аналогічна до формули Єврокод 2 і в якій коефіцієнт 2,25 замінений на коефіцієнти $\eta_1 = 5 + 20 f_R$ для середніх значень і $\eta_1 = 1,5 + 20 f_R$ для розрахункових з довірливим інтервалом 3S. Тоді, наприклад, формула для теоретичного оцінювання середньої міцності зчеплення стрижня діаметром до 32 мм з бетоном матиме вигляд:

$$f_b = (5 + 20 f_R) f_{ctm}, \quad (7)$$

де f_{ctm} - середня міцність бетону на розтяг.

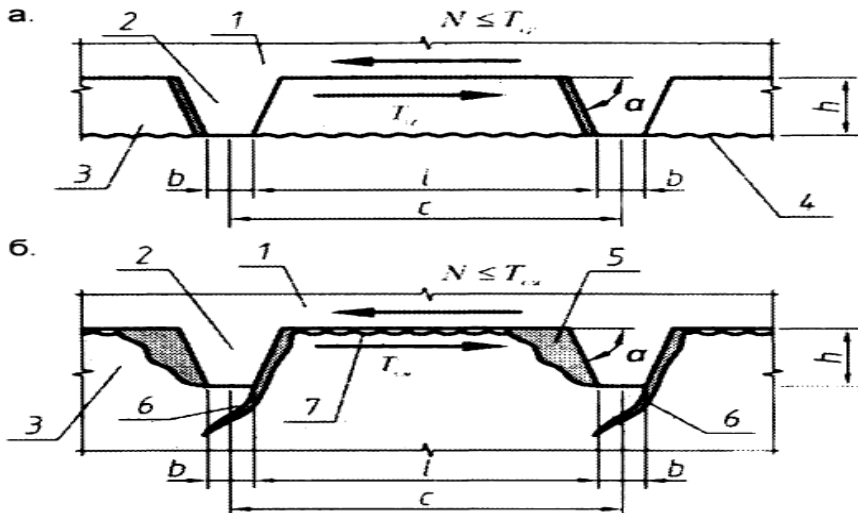


Рис. 3. Руйнування шпонки за зсуву [7]:

- а – від зрізу; б – від зминання. Умовні позначення: 1 – арматура;
 2 – поперечне ребро; 3 – бетон; 4 – поверхня зрізу 5 – зони зминання
 бетону; 6 – поперечні тріщини від зминання; 7 – порушення адгезії;
 N – розтягуюче зусилля в арматурі на довжині з T_{cp} і T_{cm} – руйнівні
 зусилля від зрізу і зминання

f_b обчислювали за формулами (1) і (7) за висмикування стрижня серпоподібного профілю діаметром 16 мм з бетону класу С 20/25 ($f_{ctm} = 2,2$ МПа, $f_{cm, prism} = 23,7$ МПа). Виявилося, що f_b , обчислене за формулою (1), дорівнює 7,11 МПа, а за формулою (7) – 3,102 МПа. Розрахунки, результати яких подані у праці [7], засвідчили, що f_b дорівнює 1,68 МПа за висмикування стрижнів серпоподібного профілю діаметром від 10 до 40 мм з бетону класу С30/35. Причиною таких розходжень може бути неврахування у роботі під час зсуву стрижня участі значнішого об'єму бетону, що примикає до контактного шару. Усе це свідчить про необхідність пошуку досконаліших методик розрахунку міцності зчеплення арматури класу А500С з бетоном чи внесення уточнень в існуючі методики.

Окреме питання, яке необхідно вивчити, – анкерування стрижнів серпоподібного профілю у бетоні, армованому фібровою арматурою українського масового виробництва. Зарубіжні дослідники у праці [10] відмічають, що фіброве армування має суттєво менший вплив на зчеплення стрижнів з бетоном, ніж міцність бетону на стиск. Однак, відмічають, що зменшення довжини фібри за інших рівних умов

позитивно впливає на зчеплення. Треба зазначити, що у цих дослідженнях використані доволі низькі витрати фібри на 1 м^3 бетонної суміші (не більше $70 \text{ кг} / \text{м}^3$), адже у реальних конструкціях відчутним силовий вплив волокон настає за витрат $55 - 140 \text{ кг} / \text{м}^3$.

Потрібно зауважити, що фіброве армування можна розглядати також як специфічний вид непрямого армування. У праці [1] показано, що непряме армування у вигляді часто поставлених перпендикулярно до стрижнів, що висмикуються, сіток з малими вічками суттєво впливає на зусилля як початку зсуву стрижнів, так і на значення міцності анкерування. Так, наприклад, якщо у стрижнях, які висмикували з призм, що не містили непрямого армування, середні напруження на початку зсуву і за втрати зчеплення дорівнювали 150 МПа і 400 МПа відповідно, то за об'ємного відсотку непрямого армування 1% - 215 МПа і 500 МПа . Це свідчить про те, що подібні ефекти можливі за використання в якості непрямої арматури фібр.

Висновки

1. На основі аналізу експериментальних досліджень виявлено, що напруження арматури при висмикуванні прямопропорційно зростають з міцністю бетону на стиск за інших рівних умов.
2. Визначено коефіцієнт зчеплення стрижнів серпоподібного профілю з бетоном, який дорівнює $0,83$, що в $1,4$ рази менше за такий коефіцієнт для арматури кільцевого профілю.
3. Аналіз методик розрахунку міцності зчеплення стрижнів серпоподібного профілю з бетоном засвідчив необхідність пошуку нових підходів до точнішого врахування впливу як геометричних параметрів профілю арматури, так і міцності бетону, участі в роботі об'єму бетону, який безпосередньо примикає до зони контакту.

References

1. New in the design of concrete and reinforced concrete structures. Ed. AA Gvozdev. М.: Stroyizdat, 1978, 204 p.
2. Bibi E. V., Narayanan RS Guide for designers to Eurocode 2. Design of reinforced concrete structures. Nauch. ed. trans. Almazov, O.O., Plotnikov, A.M.M.: Moscow State University, 2012, 292 p.
3. Bilozir V. Formation and opening of cracks in normal sections of bent steel fiber elements on sheet fiber: dis ... Cand. tech. Sciences. Moscow, 1991. 164 p.
4. Bilozir W., Krapfenbauer R., Bölskey E. Festigkeit und Rissfestigkeit der Stahlfaserbetonbiegeelemente mit Fasern aus Blechabfällen. Österreichische Ingenieur- und Architekten-Zeitschrift. 1995. Jg.140. Nr. 2. S. 38 - 53.
5. Bilozir V., Vysochenko A. Determination of the required length of anchoring of fiber in concrete. Bulletin of Lviv National Agrarian University. Avg. Architecture and agricultural construction. 2013. № 14. P. 64 - 70.

6. Chapyuk OS Concrete adhesion with reinforcing rolled sickle profile at short-term one-time and repeated loads: abstract. dissertation ... Cand. tech. Sciences. Lviv, 2010. 20 p.
7. Semchenkov AS, Zalesov AS, Meshkov VZ, Kvasnikov AA The nature of adhesion to concrete of rod reinforcement of different profiles. Concrete and reinforced concrete. 2007. № 5. S. 2 - 7.
8. Chapyuk O. Coupling of reinforcing bars of different diameters of class A500C with concrete. Bulletin of Ternopil National Technical University: Ser. Mechanical engineering, production automation and machining processes. 2013. №2. Pp. 156 - 163.
9. Tsyba OO Fracture resistance and deformability of stretched reinforced concrete with non-stressed and stressed rod reinforcement having different relative area of shear of transverse ribs: author. diss ... Cand. tech. Sciences. M., 2011. 24 p.
10. Garcia-Taengua E., Martí-Vargas J. R., Serna P. Bond of reinforcing bars to steel fiber reinforced concrete. Construction and Building Materials. 2016. No. 105. P. 275- 284.

Бібліографічний список

1. Новое в проектировании бетонных и железобетонных конструкций. Под ред. А. А. Гвоздева. М.: Стройиздат, 1978, 204 с.
2. Биби Э. В., Нараянан Р. С. Руководство для проектировщиков к Еврокоду 2. Проектирование железобетонных конструкций. Науч. ред. пер. Алмазов В. О., Плотников А. И. М.: МГСУ, 2012, 292 с.
3. Билозир В. В. Образование и раскрытие трещин в нормальных сечениях изгибаемых сталефибробетонных элементов на фибре из листа: дис... канд. техн. наук. Москва, 1991. 164 с.
4. Bilosir W., Krapfenbauer R., Bölskey E. Festigkeit und Rissfestigkeit der Stahlfaserbetonbiegeelemente mit Fasern aus Blechabfällen. *Österreichische Ingenieur- und Architekten- Zeitschrift*. 1995. Jg.140. Nr. 2. S. 38 – 53.
5. Білозір В., Височенко А. Визначення необхідної довжини анкерування фібри в бетоні. *Вісник Львівського національного аграрного університету. Сер. Архітектура і сільськогосподарське будівництво*. 2013. № 14. С. 64 – 70.
6. Чапюк О. С. Зчеплення бетону з арматурним прокатом серповидного профілю при короткочасних одноразових і повторних навантаженнях: автореф. дис... канд. техн. наук. Львів, 2010. 20 с.
7. Семченков А. С., Залесов А. С., Мешков В. З., Квасников А. А. Характер сцепления с бетоном стержневой арматуры различных профилей. *Бетон и железобетон*. 2007. № 5. С. 2 – 7.
8. Чапюк О. Зчеплення арматурних стержнів різних діаметрів класу А500С з бетоном. *Вісник Тернопільського національного технічного університету: Сер. Машинобудування, автоматизація виробництва та процеси механічної обробки*. 2013. №2. С. 156 – 163.
9. Цыба О. О. Трещиностойкость и деформативность растянутого железобетона с ненапрягаемой и напрягаемой стержневой арматурой, имеющей различную относительную площадь смятия поперечных ребер: автореф. дисс... канд. техн. наук. М., 2011. 24 с.
10. Garcia-Taengua E., Martí-Vargas J. R., Serna P. Bond of reinforcing bars to steel fiber reinforced concrete. *Construction and Building Materials*. 2016. № 105. P. 275- 284.