

УДК 624.012.4

Вас.М. Барабаш

Львівський державний аграрний університет, кафедра будівельних конструкцій

ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ ПРОФІЛЮВАННЯ КОНТАКТНОЇ ПОВЕРХНІ ЗОВНІШНЬОЇ СТІЧКОВОЇ АРМАТУРИ

© Барабаш Вас.М., 2000

У статті наведені результати експериментальних і теоретичних досліджень зчеплення зовнішньої стрічкової арматури, що має різні параметри рифлення контактної поверхні, з бетоном та керамзитобетоном. Відзначено ті значення параметрів, які забезпечують найвищі зусилля зчеплення.

Одним із основних напрямків прискорення розвитку будівництва є створення та застосування ефективних конструкцій високої надійності та зменшеної метало- і трудовмісткості. Цим вимогам відповідають сталобетонні конструкції з зовнішнім листовим армуванням, на які останнім часом звернена щораз більша увага як в Україні, так і за кордоном. Проведені дослідження свідчать, що сталобетонні конструкції з зовнішнім армуванням ефективніші від традиційних залізобетонних. При їх використанні досягається економія 12...18 % сталі, до 10 % бетону, зменшуються розміри конструкцій. Разом з тим, відсутність спеціальної листової чи стрічкової арматури стримує їх використання у будівельній практиці. Тому проведення теоретичних і експериментальних досліджень з розробки профілю зовнішньої арматури, який забезпечував би неперервне зчеплення з бетоном, є актуальним. Крім того, дослідження різних авторів свідчать про суттєвий вплив способу об'єднання арматури з бетоном на експлуатаційні якості конструкцій.

Такий зв'язок найпростіше можна створити за рахунок профілювання поверхні листової або стрічкової арматури, створивши на її поверхні відповідні виступи-рифли. Головним фактором, що характеризує зчеплення такої рифленої арматури з бетоном, є параметр $\frac{h}{t}$ – відношення висоти виступів h до кроку їх розміщення t (див. рис.1).

Виходячи з несучої здатності бетону, можна рекомендувати

$$\frac{h}{t} \geq 0.163 \sqrt{\frac{1}{R_b}}, \quad (1)$$

де R_b – міцність бетону на стиск.

Для найуживаніших в сталобетонних конструкціях класів бетонів В20...В55 це відношення становить $\frac{h}{t} = 0,062...0,150$.

З метою зменшення концентрацій напружень у самій листовій арматурі необхідно обмежувати розміри виступу: висоту h доцільно приймати 0,1...0,15 від товщини листа, а ширину – 0,75...1,00 від висоти. Такі співвідношення забезпечують високу міцність зчеплення з бетоном і технологічність виготовлення арматури.

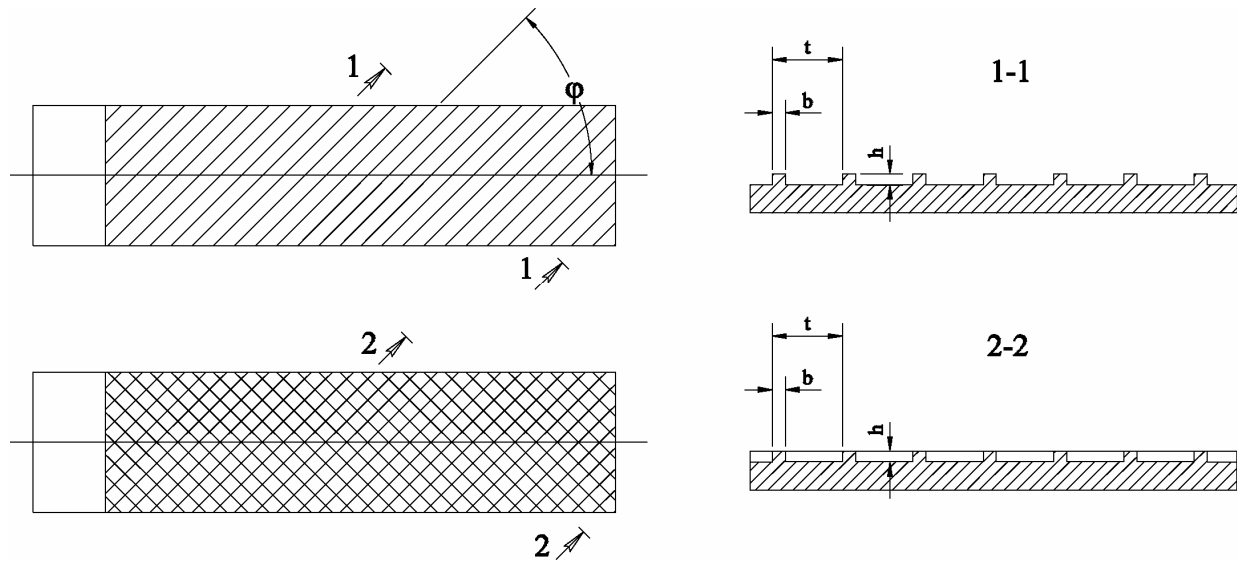


Рис.1. Схема профілювання контактної поверхні стрічкової арматури.

Важливими факторами, що характеризують як значення зусиль зчеплення, так і роботу самої арматури, є кут рифлення і розміри виступів. При великих кутах ($\varphi = 60^\circ$) виступи під час розтягу арматури стискаються, що призводить до значних концентрацій напружень, зниження пластичності та втомної міцності арматури.

На підставі досліджень деформування листової арматури отримана залежність (1), яка пов'язує напруження у виступі σ_b з деформаціями зовнішньої арматури ε_s і кутом φ

$$\sigma_b = E \left[\sqrt{(1 + \varepsilon_s)^2 \cos^2 \varphi + (1 + \varepsilon_s)^2 \sin^2 \varphi} - 1 \right]. \quad (2)$$

Найбільш доцільними є кути рифлення в межах $30...45^\circ$. При цьому напруження в рифах становлять $40...80\%$ нормальних напружень в тілі арматури і мають з ними один знак, що дозволяє включати переріз рифів у загальну площу листової арматури і значно зменшити концентрації напружень. Кути, менші за 30° , недоцільні, бо спрямовані вздовж рифів зсувні зусилля досягають значних величин (понад 85% осьового зусилля). Це спричинятиме проковзування бетону відносно рифів, а значення зчеплення з бетоном визначатиметься лише незначними силами склеювання і тертя. За технологічними вимогами під час прокатування оптимальними є висота виступів $h = 1,5...2,5$ мм і ширина $b = 1,0...1,5$ мм.

Виконані дослідження підтвердили зазначені залежності. Найвищі напруження зчеплення листової арматури τ_q періодичного профілю, що мала різні параметри рифлення ($\varphi = 30...60^\circ$ і $h/t = 0,0667...0,20$), з бетоном та керамзитобетоном зафіксовано при $h/t = 0,20$ і $\varphi = 45^\circ$. Цим параметрам відповідають і найменші деформації зв'язку. При співвідношеннях $h/t = 0,0667$ зафіксовано руйнування контактної зони внаслідок сколювання трикутних призм бетону перед кожним з виступів. Таке руйнування супроводжується низькою міцністю зв'язку. Малі кути встановлення виступів при розрідженому розміщенні ($\varphi = 30^\circ$ і $h/t = 0,0667$) зумовлювали руйнування через ковзання бетонної частини зразка вздовж виступів при незначних навантаженнях.

Оптимальним виявилось руйнування внаслідок зрізу бетону поверх виступів. Несуча здатність з'єднання у цьому випадку найвища. Такий характер руйнування спостерігався при відношенні $\frac{h}{t} \geq 0,133$.

Аналітично зчеплення листової арматури з бетоном можна описати параболічним рівнянням

$$\frac{\tau_g}{\tau_{g,\max}} = \left(1 + \frac{1}{m}\right)^2 \left(1 - \frac{1}{1+m\eta}\right) - \frac{\eta}{m}, \quad (3)$$

де τ_g і $\tau_{g,\max}$ – поточне і найбільше значення напружень зчеплення; $\eta = \frac{\delta_{dis}}{\delta_{dis,u}}$ – рівень поточних деформацій зсуву δ_{dis} відносно координати вершини $\delta_{dis,u}$ діаграми зчеплення; m – коефіцієнт, що відбиває нелінійність діаграми.

На підставі експериментів спрощено значення найбільшого напруження зчеплення можна описати виразом

$$\tau_{g,\max} = \frac{\beta}{e}, \quad (4)$$

а деформації зсуву, які йому відповідають,

$$\delta_{dis,u} = \frac{1}{\alpha}(e-1), \quad (5)$$

де β і α – константи зчеплення; e – основа натурального логарифму.

На підставі досліджень пропонуємо такий опис констант:

$$\beta = 1,25R_b \left(k + 0,85 \frac{h}{t}\right), \quad (6)$$

$$\alpha = 0,1 \left(n + 0,02 \frac{h}{t}\right) (1,25R_b)^{1,5}, \quad (7)$$

де k і n – коефіцієнти, які залежать від параметрів рифлення листової арматури і виду бетону (див. табл.1).

Таблиця 1

Коефіцієнти констант зчеплення

Параметри	Вид бетону					
	Важкий бетон			Легкий бетон		
	Кути рифлення			Кути рифлення		
	30°	45°	60°	30°	45°	60°
k	0.21	0.26	0.28	0.34	0.39	0.43
n	0.0041	0.0074	0.0080	0.0053	0.0095	0.0102

Найбільше зусилля анкерування листової арматури періодичного профілю становитиме

$$N_g = b \int_0^{L_{an}} \tau_g dL = b \tau_{g,\max} \xi L_g s, \quad (8)$$

де значення добутку ξL_g – координата вершини діаграми зчеплення, як частка ξ довжини зони анкерування L_g ; $\xi = (m_2 + 2)^{-1}$ – відносна координата вершини діаграми зчеплення, s – константа

$$s = \left(1 + \frac{1}{m_1}\right)^2 \left(1 - \frac{1}{m_1} \ln|1 + m_1|\right) - \frac{1}{2} \left(\frac{1}{m_1} + \frac{(m_2 + 2) - 1}{m_2}\right) + \left(1 + \frac{1}{m_2}\right)^2 \left(m_2 + 1 - \frac{1}{m_2} \ln|1 + m_2|\right); \quad (9)$$

де m_1 і m_2 – коефіцієнти нелінійності діаграми (3) відповідно для висхідної і низхідної гілок.

Довжина зони анкерування

$$L_g = \sqrt{\frac{\delta_{dis,f} t_s E_s}{\xi^2 s_2}}, \quad (10)$$

де $\delta_{dis,f}$ – деформація, яка відповідає закінченню діаграми зчеплення (тобто руйнуванню контактної зони); t_s і E_s – товщина і модуль пружності листової арматури; s_2 – константа діаграми

$$s_2 = \left(1 + \frac{1}{m_1}\right)^2 \left\{ \frac{1}{2} - \frac{1}{m_1^2} [(1 + m_1)(\ln|1 + m_1|) - 1] - 1 \right\} - \frac{1}{6m_1} + \\ + \left(1 + \frac{1}{m_2}\right)^2 \left[\frac{(m_2 + 2)^2}{2} - \frac{1}{m_2} (1 + m_2)(2 \ln|1 + m_2| - 1) - \frac{1}{2} \right] - \frac{1}{m_2} \frac{(m_2 + 2)^3}{6} + \frac{1}{6m_2}. \quad (11)$$

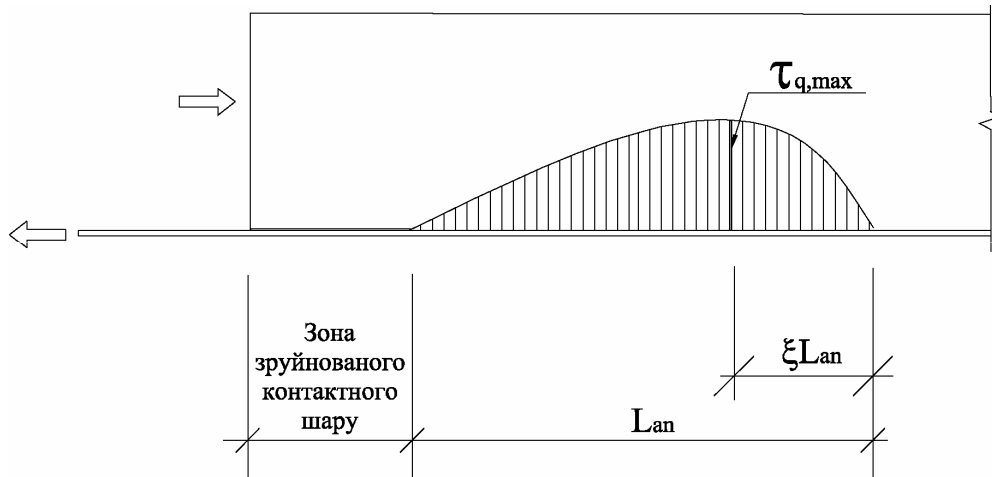


Рис.2. Розподіл напружень зчеплення τ_q вздовж контактної зони L_{an} .

Кривизна діаграми зсуву (рис.2) за виразом (3) визначається коефіцієнтом нелінійності m . При цьому, необхідно відзначити, що для висхідної і низхідної гілок діаграми (відповідно m_1 та m_2) його значення різні. Щоб визначити значення m для висхідної гілки вводимо проміжну точку 1 з координатами $\tau_{q,1} = 0,3 \tau_{q,max}$ і $\delta_{dis,1}$, яка завершує ділянку

пружної роботи контактної зони. Після підстановки цих значень у (3), отримаємо

$$m_1 = \frac{\eta_1^2 - 2\eta_1 + 0.3}{0.7\eta_1}, \quad (12)$$

де $\eta_1 = \frac{\delta_{dis,1}}{\delta_{dis,u}}$ – відносна деформація зсуву в точці 1 діаграми.

Для низхідної гілки, аналогічно, вводимо проміжну точку 2 з координатами $\tau_{g,2}=0,8 \tau_{g,max}$ і $\delta_{dis,2}$ і отримуємо

$$m_2 = \frac{\eta_2^2 - 2\eta_2 + 0.8}{0.2\eta_2}, \quad (13)$$

де $\eta_2 = \frac{\delta_{dis,2}}{\delta_{dis,u}}$ – відносна деформація зсуву в точці 2 діаграми.

Обчислення деформацій, які відповідають точкам 1 і 2 можна проводити за такими залежностями:

$$\delta_{dis,1} = k_1 \delta_{dis,u}, \quad (14)$$

$$\delta_{dis,2} = k_2 n \delta_{dis,u}, \quad (15)$$

За відсутності експериментальних даних приймаємо

$$k_1 = 0.26, \quad (16)$$

$$k_2 = 1.7 + 11.0 \frac{h}{t} \leq k_{2,max}, \quad \text{для кута } \varphi=30^\circ, \quad (17)$$

де $k_2=4.0$ для важкого бетону і $k_2=3,25$ для керамзитобетону;

$$k_2 = 2.5 + 15.0 \frac{h}{t} \leq k_{2,max}, \quad \text{для кутів } \varphi=45...60^\circ, \quad (18)$$

де відповідно $k_2=5,5$ і $k_2=4,4$.

На підставі запропонованих залежностей обчислено характеристики зчеплення листової арматури періодичного профілю (див. табл.2).

Таблиця 2

Експериментальні та розрахункові показники анкерування

Марка зразка	Параметри рифлення		Призмova міцність бетону, R_b , МПа	Напруження зчеплення, $\tau_{g,max}$, МПа		Зусилля анкерування, N_g , кН		Довжина зони анкерування, L_g , мм	
	φ	h/t		дослід.	розрах.	дослід.	розрах.	дослід.	розрах.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A-I-1	30°	0,067	35,3	4,53	4,33	180	131	580	513
AK-I-1		0,067	29,0	5,10	5,29	167	165	520	507
A-I-2		0,133	35,3	5,00	5,25	190	163	445	570
AK-I-2		0,133	29,0	6,125	6,05	215	210	540	550
A-I-3		0,20	35,3	6,30	6,17	240	200	570	560
AK-I-3		0,20	29,0	6,46	6,80	215	213	510	508
A-II-1	45°	0,067	35,3	5,00	5,14	168	170	410	551
AK-II-1		0,067	29,0	5,70	5,96	190	200	465	537

Продовження табл.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A-II-2		0,133	35,3	6,30	6,06	220	181	480	565
AK-II-2		0,133	29,0	6,35	6,71	225	237	460	586
A-II-3		0,20	35,3	7,00	6,98	251	235	392	589
AK-II-3		0,20	29,0	7,14	7,47	225	232	620	525
A-III-1	60 ⁰	0,067	35,3	7,38	5,45	190	153	440	514
AK-III-1		0,067	29,0	5,90	6,49	190	198	540	511
A-IV-1	45 ⁰	0,20	25,5	5,03	5,04	204	200	650	674
AK-IV-1		0,20	24,0	5,81	6,18	195	255	403	603
Для зразків A-IV-1 і AK-IV-1 рифлення поверхні перехресне, для решти – одностороннє. Маркування А відповідає зразкам з важкого бетону, а АК – з керамзитобетону.									

Як бачимо, проведені експериментальні дослідження зчеплення свідчать, що рифлення поверхні листової арматури забезпечує неперервний, достатньо міцний її зв'язок з бетоном та конструктивним керамзитобетоном і його можна рекомендувати для використання в сталобетонних конструкціях. Запропоновані аналітичні вирази дозволяють достатньо точно оцінити значення найбільших напружень зчеплення, а також зусиль та довжини зони анкерування.

УДК 624.012.014.023.852

Вол.М. Барабаш

НУ “Львівська політехніка”, кафедра будівельних конструкцій і мостів

ОЦІНКА НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ НЕРОЗРІЗНИХ СТАЛЕБЕТОННИХ БАЛОК НА ПІДСТАВІ ДЕФОРМІВНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ МАТЕРІАЛІВ

© Барабаш Вол.М., 2000

Наведено алгоритм розрахунку нерозрізних сталобетонних балок з зовнішнім армуванням на ЕОМ. У математичній моделі враховано реальні деформівні властивості матеріалів – бетону і металу, з яких виготовлено балки, та вплив рівня деформацій на жорсткості перерізів під час навантаження.

Довгостроковий прогноз у галузі капітального будівництва вказує на те, що залізобетонні конструкції упродовж тривалого часу зберігатимуть домінуюче положення. Саме тому завдання зменшення їх матеріаломісткості є одним з найактуальніших. Важливою є також проблема збільшення навантажень на перекриття та зменшення висоти конструкцій. Одним з можливих варіантів вирішення цих завдань є використання нерозрізних сталевих