

УДК 539.3

І. Вергун

Інженер,
Фізико-механічний інститут
ім. Г. В. Карпенка НАН України,
м. Львів

ВИЗНАЧЕННЯ ТРІЩИНОСТІЙКОСТІ АРМАТУРНОГО ПРОКАТУ І ЗВАРНОГО З'ЄДНАННЯ

Наведено результати експериментальних досліджень з визначення характеристик тріщиностійкості K_c термозміцненої арматури і зварних з'єднань стиковим зварюванням. Запропоновано новий тип зразка для дослідження тріщиностійкості арматурного прокату і його зварного з'єднання. Встановлено характеристики тріщиностійкості термозміцненої арматури та її зварного з'єднання.

арматурний стрижень, з'єднання арматурних стрижнів, тріщиностійкість, зварне з'єднання

Важливе місце у вирішенні питань несучої здатності при проектуванні нових залізобетонних конструкцій має вибір матеріалу, а також надійність з'єднання для довговимірних конструкцій. На початку 90-х років металургійні заводи України розпочали випуск нової термозміцненої арматури [1]. Ця арматура за хімічним складом і механічними властивостями відповідає міжнародним стандартам. Одним з технологічних факторів, що обмежує використання цієї арматури, є те, що при зварюванні зменшується ефект термозміцнення, тобто в результаті зварювання знижуються міцнісні властивості матеріалу, а також змінюється опірність крихкому руйнуванню. Це призводить до того, що у залізобетонних конструкціях після тривалої експлуатації виникають у зоні концентратора напружень втомні тріщини, які створюють аварійні ситуації, тобто руйнування конструкції.

Сьогодні при виготовленні довговимірних залізобетонних конструкцій у більшості випадків з'єднання арматурних стрижнів проводять зварюванням різними способами. Зварні з'єднання є найвразливішим місцем будівельної конструкції. При проведенні зварювальних робіт основною причиною виникнення залишкових деформацій і напружень є зміна структури матеріалу внаслідок дії сконцентрованого тепла.

Проблеми оцінювання надійності, довговічності та опірності крихкому руйнуванню виникають як при проектуванні, так і в процесі експлуатації споруд. В інженерній практиці розрахунок арматурного прокату для будівництва проводять на основі визначення його механічних характеристик. Сучасні підходи механіки руйнування матеріалів дають можливість з позицій тріщиностійкості оцінити надійність і довговічність залізобетонних конструкцій, а також визначити здатність матеріалу до крихкого руйнування при статичних, динамічних і циклічних навантаженнях. Тому актуальною проблемою є дослідження тріщиностійкості арматурного прокату й зварного з'єднання.

Методика досліджень. Механічні характеристики визначали на циліндричних зразках зовнішнього діаметра D , виготовлених із суцільного арматурного стрижня за рекомендаціями [2], а також зі стрижнів, зварених устик відповідно до ГОСТ 14098-91 [3]. За розробленою технологією, наведеною нижче, випробування проводили на машині EUC-20 за статичного розтягу. Також проводили дослідження з визначення статичної тріщиностійкості суцільного арматурного прокату та його зварного з'єднання, дотримуючись вимог [4]. Для проведення досліджень використовували два типи зразків: зразок із



Рис. 1. Загальний вигляд зразка з опресованими втулками після проточування

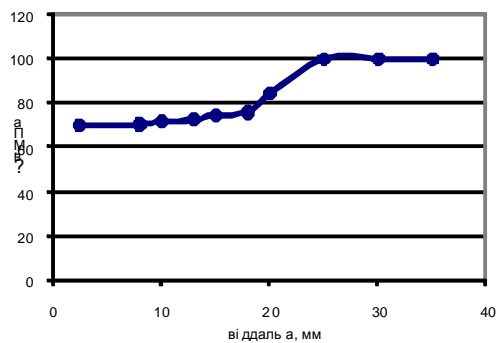


Рис. 2. Залежність зміни межі міцності σ_b вздовж зварного шва

суцільного арматурного стрижня (САС); зразок з арматурних стрижнів, зварених стиковим швом (АСЗСШ).

Виготовлення двох типів зразків здійснювали за такою технологією. Заготовку довжиною $10D$ (D — діаметр арматурного прокату) зацентрували на двох торцях. Особливість виготовлення зразків полягає у створенні циліндричної форми в арматурному прокаті ребристою поверхнею в зоні виведення втомної тріщини. Для цього на арматурний стрижень опресовували втулки за технологією, яка використовується при з'єднанні арматурних стрижнів [6].

По центру зразка нарізали концентратор діаметром $D_k = 0,9D_0$. На зразках (АСЗСШ) проточку зварного стикового з'єднання проводили до діаметра арматурного стрижня, після цього нарізали аналогічний, як у зразку (САС), концентратор. Всі операції на токарному верстаті, при обточуванні поверхні втулок і нарізанні концентратора, проводили з одного встановлення, що забезпечило співвісність циліндричних поверхонь. Механічні характеристики: σ_T — межа течіння, σ_b — межа міцності, ψ — відносне поперечне звуження, δ — відносне видовження на зразках визначали за методикою відповідно до ГОСТу 12004-81 [7]. Випробування проводили на розривній машині Р100 з діапазоном вимірювання сил за шкалою 20Т із записом діаграми «сила розриву P — видовження зразка Δl » на барабанному самописі машини. Разом з цим, межу міцності зварного з'єднання визначали непрямим методом, шляхом вимірювання твердості за Брінелем (НВ) з навантаженням 150 кгс. Починаючи від центра зварного з'єднання, на віддалі a здійснювали вимірювання твердості з проміжком 0,5 мм. Для цього на зразку (АСЗСШ) шліфували площадку. Межу міцності σ_b обчислювали за формулою $\sigma_b = (0,3 \dots 0,4) \text{НВ}$ [6]. На основі отриманих розрахунків будували графік зміни межі

Механічні характеристики арматурного прокату і зварного з'єднання контактним стиковим зварюванням у стик $D=18$ мм

№	Тип зразка	σ_T , МПа	σ_b , МПа	Δ , %	ψ , %
1	САС	600	800	2,6	59
2	АСЗСШ	700	1000	2,0	—

міцності σ_b вздовж зварного шва, відлік вибирали від центра зварного шва до основного металу (рис. 2).

Результати випробувань і розрахунків механічних характеристик для зразків із суцільного арматурного стрижня і зразків зі зварного з'єднання подані в табл. 1.

Для визначення тріщиностійкості (K_{Ic}) арматурного прокату проводили дослідження на циліндричних зразках з кільцевою тріщиною за відомою методикою [5]. Одним з важливих завдань на етапі підготовки циліндричних зразків для визначення характеристик тріщиностійкості при статичному навантаженні є вибір умов навантаження при круговому згині циліндричного зразка з постійним контролем сили прогину зразка за зміною його податливості. Режим виведення тріщини повинен задовольняти умову

$$K_{Ic} \leq 0,6K_{IC}$$

де K_{Ic} — коефіцієнт інтенсивності напружень у вершині тріщини, а K_{IC} — його критичне значення.

Силу прогину Q_f^0 — вираховуємо за формулою

$$Q_f^0 \leq 0,75 \frac{\sigma_{0,2} d^3 \sqrt{1 - 0,8012d/D}}{L_0 \sqrt{1 - d/D} \left[\sqrt{d/D(1 - d/D)} + \left(\frac{d}{D} \right)^{3/2} \right]^2}$$

де δ — діаметр втомної тріщини, L_0 — довжина зразка.

Поперечна сила Q_f при якій зароджується тріщина повинна задовольняти умову [8]

$$Q_f \leq 0,6Q_A,$$

де Q_A — величина сили, при якій у зразку в околі концентратора зароджується тріщина.

Виведення втомної тріщини проводимо так. Один кінець зразка встановлюємо в жорсткий центр, закріплений у трикулачковому патроні установки, а другий кінець підтискаємо рухомою частиною задньої бабки. При цьому зразок вільно повертається у центрах. Навантажувальною вилкою, задаємо потрібну силу. Сигнал з тензористорів динамометра з високим ступенем точності реєструємо на АЦП-Е480. Після підсилення сигнал контролюємо на моніторі комп'ютера у вигляді діаграми «сила — час». За зміною сили навантаження через певний проміжок часу, фіксуємо ріст тріщини.

При підростанні тріщини зменшується жорсткість зразка. Тріщину вирощуємо до розміру, щоб виконувалась умова

Таблиця 2

Характеристики тріщиностійкості арматурних стрижнів і їхніх зварних з'єднань

Тип зразка	D_0	D_k	d/D	Y_{IP}	P_{cm}	K_c
САС	14	13	0,84	0,832	11312	54,41
САС	14	13	0,61	0,8789	10900	56,71
САС	14	13	0,51	2,061	4788	58,42
АСЗСШ	16	14,5	0,88	0,83	10200	34
АСЗСШ	16	14,5	0,78	1,126	7700	42
АСЗСШ	16	14,5	0,69	1,507	6200	45

$$d \approx 0,7D,$$

де d – діаметр зразка після утворення тріщини [4].

Зразок з втомною тріщиною розтягували на розривній машині EUC 20. Після цього з діаграми розтягу визначали силу руйнування для кожного зразка, а також проводили заміри на зламі втомної тріщин, використавши експериментально отримані данні (P_c – максимальна сила розриву зразка)

Механічні характеристики, зокрема межа течіння σ_t і межа міцності σ_b зварних з'єднань, збільшується до 20% порівняно з суцільним матеріалом. Разом з цим, спостерігається зниження величини δ , що вказує на зменшення пластичності зварного з'єднання порівняно з матеріалом арматурного стрижня. Характеристика статичної тріщиностійкості K_c зварного з'єднання понижується на 35%. З цього випливає, що опірність крихкому руйнуванню за статичного навантаження у зварного шва знижується, що пов'язано, в основному, з неоднорідністю, дефективністю матеріалу шва. Сід зауважити, що використання таких з'єднань при циклічному навантаженні, вимагає додаткових досліджень. Уточнивши на мікроскопі геометричні розміри зламу (D_k – діаметр концентратора, d – діаметр тріщини) розраховували значення K_c за формулою [4]:

$$K_c = \frac{P_c}{D\sqrt{d}} Y_{IP}, \quad (2)$$

де Y_{IP} – поправочна функція, яку вибирали з таблиці [4].

Отримані данні і проведені розрахунки наведено у табл. 2.

Висновки. 1. Запропоновано новий тип зразка для дослідження тріщиностійкості арматурного прокату і його зварного з'єднання.

2. Проведено експериментальні дослідження з визначення K_c термозміцненої арматури і зварних з'єднань стиковим зварюванням.

3. Встановлено, що статична тріщиностійкість зварного шва термозміцненої арматури менша на 35% від основного металу.

Література

1. *ГОСТ 12004-81.* Сталь арматурная. Методы испытания на растяжение. — М.: Металлургия, 1978. — 304 с.

2. *ДСТУ 3760-98.* Прокат арматурний для залізобетонних конструкцій. Загальні технічні умови. — К.: Держстандарт України, 1998.

3. *ГОТ 14098-91* Соединения сварные арматуры и закладных изделий железобетонных конструкций. Государственный стандарт СССР.

4. *Механика разрушения и прочность материалов:* Справ. пособие: 3т. / Под ред. Панасюка В.В. — К.: Наук. думка, 1988. — С. 48—57.

5. *Методичні рекомендації з'єднання арматурних стержнів обтискними втулками.* МР В.2.3. – 218–03534506–510:2006 ст.11.

6. *ГОСТ 12004-81.* Сталь арматурная. Методы испытания на растяжение. — М.: Гос. Ком. СССР по стандартам, 1986. — 14 с.

7. *Справочник по сопротивлению материалов /* Писаренко Г.С., Яковлев А.П., Матвеев В.В.; Отв. ред. Писаренко Г.С. – 2-е изд., перераб. и доп. – К.: Наук. думка, 1988. – 151 с.

8. *Механика разрушения и прочность материалов:* Справ. пособие: 4т. / Под ред. Панасюка В.В. — К.: Наук. думка, 1988. — 1990. — С. 283—285.

Отримана 12.05.09

I. Vergun

Determination of crack reinforcing bars and welded joints

Ya. Pidstryhach Physico-Mechanical Institute National Academy of Sciences of Ukraine, Lviv

The results of experimental studies to determine the characteristics of crack COP termozmitsnenoyi fittings and weld butt-welding. A new type of sample to study crack The metal and its weld. It features crack termozmitsnenoyi fittings and its weld.

5th MPA Meeting (International Meeting on Developments in Materials, Processes and Applications of Emerging Technologies)

Alvor, Portugal, 27-29 June 2011

<http://www.mpa-meeting.com/>

Topics include:

1. Commercialisation of Nanotechnology
2. Surface Science, Engineering & Technology
3. Materials for Energy Applications
4. Applied Bio-Nanotechnology
5. Carbon Nanotubes/Wires/Rods & their Applications
6. Advanced Nanometrology and Nanomanufacturing