

**Сташук П.М.,  
Баб'як Ю.П.**

**ДОСЛІДЖЕННЯ ЗВ'ЯЗКУ МІЖ ВИТРИВАЛІСТЮ  
СТИКОВИХ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ АРМАТУРИ  
КЛАСУ А500С Ø12 ММ І ПАРАМЕТРАМИ  
ВИПРОМІНЮВАННЯ АКУСТИЧНОЇ ЕМІСІЇ  
ПІД ЧАС ПРИКЛАДАННЯ БАГАТОРАЗОВО  
ПОВТОРЮВАНИХ НАВАНТАЖЕНЬ**

Традиційно для виготовлення залізобетонних конструкцій використовувалася гарячекатана арматура класу А-III із низьколегованих сталей, яка багато років забезпечувала надійність експлуатації залізобетонних конструкцій і виробів. У 90-их роках на комбінаті “Криворіжсталь” на основі теоретичних досліджень та дослідно-промислових експериментів [1] було розроблено і впроваджено ресурсозберігаючу технологію виробництва зварювального термозміцненого арматурного прокату нових класів - А400С і А500С із спеціально створених економно мікрولةгованих сталей зі зниженим вмістом вуглецю, а в деяких випадках - і марганцю [2]. На даний час арматурний прокат класу А500С по ДСТУ 3760-98 найбільш широко застосовується в сучасному будівництві.

У 2004 році під керівництвом к.т.н. Коваля П.М. було проведено дослідження механічних характеристик арматурного прокату класу А500С. В програму досліджень входило дослідження витривалості стикових зварних з'єднання С1-Ко [3] арматурних стрижнів діаметром 12 мм класу А500С за ДСТУ 3760-98 [4].

Зразки для проведення випробувань були виготовлені зі сталі промислового виробництва плавки № 243414 заводу “Криворіжсталь”. Хімічний склад сталі приведений у таблиці 1.

**Таблиця 1** - Хімічний склад сталі плавки № 243414

Марка сталі	Хімічний склад, %												
	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Cu	N	As	Ti	B	AL
СтЗпс	0,2	0,56	0,07	0,025	0,001	0,03	0,02	0,03	0,007	0,005	0,002	0,0006	0,005

Програма досліджень передбачала проведення таких робіт:  
перевірка геометричних розмірів профілю відповідно до ДСТУ 3760-98;

визначення механічних характеристик зразків арматурного прокату на розтяг за ГОСТ 12004-81 [5];

випробування на втому.

Межа текучості арматурного прокату класу А500С згідно ДСТУ 3760-98 рівна  $\sigma_y = 500$  МПа.

Максимальні напруження циклу при випробуванні стикових зварних з'єднання С1-Ко були прийняті рівними  $0,6\sigma_y$ , що складало 300 МПа. Мінімальні напруження циклу приймалися виходячи з умови сталості коефіцієнту асиметрії циклу  $\rho = 0,33$ . Результати випробувань наведено в таблиці 2.

**Таблиця 2** - Результати випробувань зразків стикових зварних з'єднань С1-Ко арматури  $\varnothing 12$ мм класу А5 00С

Вид випробувань	№ зразків $\varnothing 12$ мм	Напруження циклу при $\rho=0,33$ , $\sigma$ , МПа	Довговічність зразка, $N_0$ , млн. цкл
Витривалість	1	$\sigma_{\max}=300,0$	0,38
	2	$\sigma_{\min}=100,0$	0,28
Витривалість	3	$\sigma_{\max}=160,0$	1,06
	4	$\sigma_{\min}=53,0$	1,08
Витривалість	5	$\sigma_{\max}=150,0$	2,01
	6	$\sigma_{\min}=49,5$	2,01

Одним із перспективних методів в технічній діагностиці будівельних конструкцій є метод акустичної емісії (АЕ). Акустична емісія - це явище, що полягає у випромінюванні пружних хвиль у твердих тілах при їх деформації [6]. Основними джерелами АЕ вважають процеси ковзання, руйнування в кристалах і їх скупченнях, тертя поверхонь розриву одна до одної, рух дислокацій і зламів, релаксації пружної матриці при русі дислокацій, розвиток тріщин.

Випробування проводили на розривній машині ZDM-10. При випробуванні арматури проводили реєстрацію та аналіз сигналів АЕ, що виникали в матеріалі зразка за допомогою програмно-технічного комплексу “АКЕМ”. Давач АЕ (п'єзоперетворювач) через шар акусто-прозорого мастила “Рамзай” кріпився до хвильоводу, котрий в свою чергу прикріплювався в торці арматурного стержня за допомогою зварювання.

Програмно-технічний комплекс “АКЕМ” побудований на базі персонального комп'ютера з використанням технології “PCLabCard”. Підсилення сигналу АЕ здійснювалось попереднім підсилювачем з чутливістю на вході 10мкВ, частотним діапазоном 100-2000 кГц, коефіцієнтом підсилення 90дБ із динамічним діапазоном 40-65 дБ. Запис сигналів АЕ відбувався безпосередньо як під час прикладання до зразка багаторазово повторюваних навантажень (БПН), так і при статичному його випробуванні. Безпосередньо під час прикладання до зразка навантаження запис здійснювали з кроком в 5 тис. циклів. Тривалість запису сигналів АЕ становила 60 - 100 с.

Виділення сигналів акустичної емісії від розвитку мікро та макро тріщин, при випробуванні арматури, проводилось за параметром  $K_p$ . Згідно теоретичних положень параметр  $K_p$  характеризує степінь зміни густини енергії в зареєстрованому сигналі АЕ та використовується для виявлення сигналів від тріщин. Для його визначення використовують формулу [6]:

$$K_{pj} = \lg(E_{cj} / \tau_j^2) \quad (1)$$

де:  $E_{cj}$  - енергія від  $j$ -го зареєстрованого сигналу АЕ;  $\tau_j$  - тривалість зареєстрованого сигналу АЕ. Згідно теоретичних положень параметр  $K_p$  характеризує степінь зміни густини енергії в зареєстрованому сигналі АЕ та використовується для виявлення сигналів від тріщин.

Розглянемо особливості випромінювання сигналів АЕ на прикладі зразків 1 та 5 в залежності від стадії прикладання навантаження.

### **Зразок 1.**

Даний зразок зруйнувався після прикладання БПН 380 тис. циклів в зоні термічного впливу (ЗТВ). На початкових етапах навантаження (0-35 тис.циклів.) відбувається випромінювання сигналів АЕ із  $K_p=4,01-5,83$ . Наявність випромінювання АЕ з такими високими значеннями параметра  $K_p$  пояснюється обминанням торців зразка захватами випробувальної машини. На етапі 35-110 тис. циклів фіксується рівномірне випромінювання АЕ із меншими значеннями  $K_p=3,29-3,47$  (рис.1.а). Проте, фіксуються окремі випадки появи сигналів і з більшими значеннями  $K_p$ , зокрема на 55 тис. циклів зафіксовано  $K_p$  сигналів АЕ 5,23. На етапі 110-170 тис. циклів фіксується рівномірне випромінювання АЕ із значеннями  $K_p=6,14-6,044$ . Оскільки арматура класу А500С має термомеханічнозмцненний поверхневий шар, у ньому відбувається граничне накопичення дислокацій і зароджуються тріщини втоми (рис. 2). Критичні напруження виникають у цьому шарі і на даному етапі відбувається перерозподіл напружень по об'єму зразку. За рахунок цього і відбувається випромінювання сигналів АЕ з високими значеннями параметру  $K_p$  сигналів. На ділянці від 340 і до 375 тис. циклів (руйнування) фіксується циклічне наростання інтенсивності випромінювання АЕ та кількості сигналів із значеннями  $K_p=3,493-5,87$ . Характер випромінювання говорить про швидкий розвиток дефектів (мікротріщин).

### **Зразок 5.**

Даний зразок витримав 2010 тис. циклів прикладання БПН, після чого випробування було припинено. На початкових етапах навантаження фіксується невелика кількість сигналів АЕ із значеннями  $K_p=1,5-4,5$ . Наявність випромінювання АЕ з такими високими значеннями параметра  $K_p$  пояснюється обтиском торців зразка захватами випробувальної машини. На ділянці 50 - 350 тис. циклів фіксується рівномірне випромінювання АЕ із меншими значеннями  $K_p= 1,5 - 2,126$  (рис.1.б). Проте, фіксуються поодинокі окремі випадки появи сигналів і з більшими значеннями  $K_p$ .

На ділянці 350 - 1310 тис. циклів фіксується циклічне (зростає та падає) рівномірне випромінення АЕ із значеннями  $K_p=5,025-6,075$ . На ділянці 1310-1610 тис. циклів фіксується рівномірне випромінення АЕ із значеннями  $K_p=2,2-2,261$ . Йде рівномірне випромінення АЕ. На ділянці 1610-1700 тис. циклів фіксується рівномірне зростання інтенсивності випромінення АЕ із значеннями від  $K_p=2,261$  до  $K_p=4,253$ . Наростання випромінення АЕ вказує на наростання мікротріщин втоми в тілі зразка, які розвиваються і об'єднуються. На ділянці від 1700 і до 2000 тис.ц. фіксується наростання інтенсивності випромінення АЕ та кількості сигналів із значеннями  $K_p=4,253-3,612$ . Характер випромінювання говорить про розвиток дефектів у зразку та наближення до руйнування.

Переважає більшість сигналів АЕ протягом всього випробування на відміну від зразків 1 та 2 має значення  $K_p < 2$  і лише зазнавши впливу прикладання близько 1400 тис. ц. БПН значення  $K_p$  для більшості сигналів стає  $\geq 2$ .

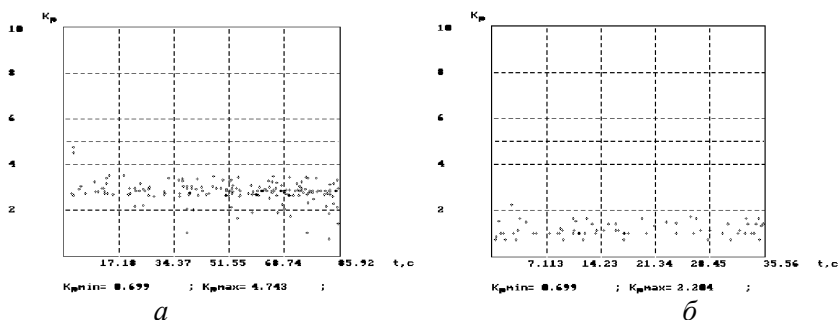


Рисунок 1 - Графік залежності  $K_p$  сигналів АЕ в часі:  
 а - зразок 1 - після 35 т. циклів; б - зразок 5 після 1670 т. циклів

Проведений аналіз значень параметру  $K_p$  сигналів АЕ в залежності від величини напружень циклу БПН. Було помічено, що після обтиску торців зразка захватами випробувальної машини, поява сигналів АЕ із значеннями  $K_p > 2,4$  пов'язана із режимом БПН. На рисунку 3 представлено кількість циклів БПН, після прикладання яких з'являється значення сигналів АЕ із  $K_p > 2,4$  в залежності від витривалості зразка.

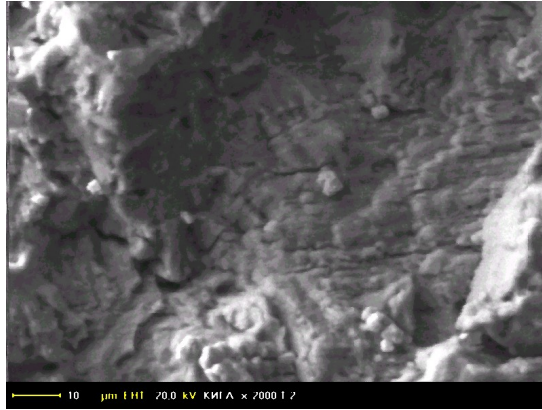
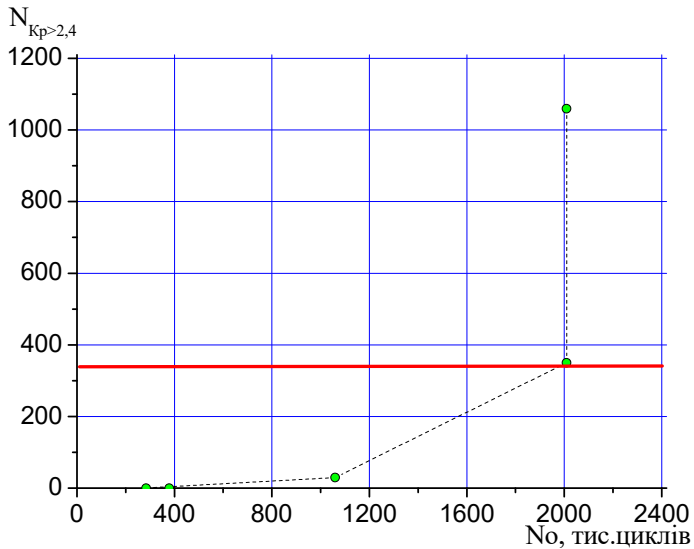


Рисунок 2 - Фрактографія поверхні зламу зразка 1.  
Збільшення  $\times 2000$ .



Вісь X - витривалість зразків. Вісь Y - значення кількості циклів БПН, після прикладання яких розпочинається випромінювання сигналів АЕ із  $K_r > 2,4$ .

Рисунок 3 - Кількість циклів БПН, після прикладання яких з'являється значення сигналів АЕ із  $K_r > 2,4$  в залежності від витривалості зразка.

## Висновки

Режим навантаження стикових зварних з'єднання арматури класу А500С впливає на величину параметру Кр сигналів АЕ. Більш жорсткі режими випробування викликають випромінювання сигналів АЕ із більшими значеннями Кр.

Зразки стикових зварних з'єднання арматури класу А500С, в котрих від 35 до 350 тис. циклів БПН випромінювались сигнали АЕ, значення Кр яких не перевищувало 2,4, досягали базового значення кількості циклів БПН.

## Література

**1. Малокремнистые** арматурные стали повышенной прочности / В.А.Вихлевщук, Н.М.Омель, В.А.Нечипоренко и др. - К.: Наукова думка, 1999 - 152с.

**2. ДСТУ 3760-98.** Прокат арматурний для залізобетонних конструкцій. Загальні технічні умови. - К.: Держстандарт України, 1998 - 20с.

**3. СНиП 2.03.01-84\*.** Бетонные и железобетонные конструкции/Госстрой СССР. - М.: ЦИТП Госстроя СРСР, 1985. - 79с.

**4. ДСТУ 3760-98.** Прокат арматурний для залізобетонних конструкцій. Загальні технічні умови. - К.: Держстандарт України, 1998 - 20с.

**5. ГОСТ 12004-81.** Сталь арматурная. Методы испытаний. - Взамен ГОСТ 12004-66; Введ.01.07.83.-М.: Изд-во стандартов, 1982.-15 с.

**6. Филоненко С.Ф.** Акустическая эмиссия. Измерение, контроль, диагностика. - К: КМУГА, 1999., - 312 с.