

СТАТИСТИЧНА ОЦІНКА МЕХАНИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК АРМАТУРИ КЛАСУ А500С У МОТКАХ

Юлій КЛИМОВ¹, Дмитро СМОРКАЛОВ²

^{1,2} Київський національний університет будівництва і архітектури
31, просп. Повітрофлотський, Київ, Україна, 03037

¹yuliiklymov@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0002-4275-7058>
²smorkalov.dv@knuba.edu.ua, <http://orcid.org/0000-0001-7890-2686>

Анотація. В роботі наведені результати статистичної оцінки механічних характеристик арматури класу А500С у мотках.

Статистична оцінка виконана на підставі результатів проведених випробувань на розтяг 144 зразків арматури діаметром 8 мм класу А500С зі сталі марки СтЗпс. Зразки відбирались з 8 мотків різних партій промислового виробництва по 6 зразків від початку, середини і кінця кожного з мотків. В процесі випробувань визначалися основні механічні характеристики арматури класу А500С - межа текучості (σ_T), тимчасовий опір (σ_B), відношення тимчасового опору до межі текучості (σ_B/σ_T), відносне видовження після розриву (δ_5), будувалися діаграми стану і визначався модуль пружності арматури (E_s). Статистична оцінка виконувалась для кожного з досліджуваних показників (σ_T , σ_B , σ_B/σ_T , δ_5) - спочатку окремо для кожного мотка для зразків, що були відібрані від початку середини і кінця, потім для всіх зразків, відібраних відповідно від початку, середини і кінця всіх мотків і нарешті для всієї вибірки з 144 зразків.

За даними випробувань зразків з 8-ми мотків межа текучості арматури класу А500С змінювалась у діапазоні 532,80...631,10 МПа, тимчасовий опір – 697,30...762,70 МПа, відносне видовження при розриві 18,75...30,00 %, відношення тимчасового опору до межі текучості – 1,185...1,344.

Стійких закономірностей зміни механічних характеристик арматури по довжині мотків не виявлено. Різниця між середніми значеннями межі текучості, тимчасового опору, відносного видовження і відношення тимчасового опору до межі текучості по довжині мотків не перевищувала 2%.



Юлій КЛИМОВ
професор кафедри залізобетонних та кам'яних конструкцій,
д.т.н., професор



Дмитро СМОРКАЛОВ
доцент кафедри залізобетонних та кам'яних конструкцій,
к.т.н., доцент

Близьким між собою виявилися також значення коефіцієнтів варіації і розмаху значень відповідних механічних характеристик зразків, які були відібрані від початку, середини і кінця мотків.

Забезпеченість межі текучості арматури класу А500С діаметром 8 мм в мотках у даній вибірці зразків склала 0,9999 при нормованому значенні 0,95. Коефіцієнт варіації при цьому склав 0,0328.

Для встановленої забезпеченості розрахункового опору арматури на рівні 0,998, коефіцієнт надійності для арматури класу А500С діаметром 8 мм у мотках склав 1,109, що менше прийнятого у чинних нормативних документах значення 1,15.

Ключові слова. Термомеханічнозміцнена арматура класу А500С; мотки; механічні характеристики; статистичні показники; забезпеченість.

ВСТУП

Вихід на будівельний ринок на початку 2000-х років термомеханічнозмцненої арматури класу А500С за ДСТУ3760-98, яка одразу, в силу обставин, зайняло на ньому основне місце, спонукало до проведення спеціальних досліджень механічних і службових властивостей цієї арматури [1] з розробкою відповідних рекомендацій [2]. Зокрема – теплової зварюваності [3], міцності зварних з'єднань [4-9], з врахуванням відповідного світового досвіду [10,11], впливу корозії на властивості арматури і її зчеплення з бетоном [12-16] та інших.

Разом з тим, у практиці будівництва все ширше почала застосовуватися арматура в мотках - холоднодеформована класу В500 [17-20] і термомеханічнозмцнена класу А500С. Виробництво арматури в мотках дає можливість здійснювати її механічну переробку з поставкою стержнів мірної довжини або у вигляді арматурних виробів у відповідності зі специфікацією робочих креслень залізобетонних конструкцій, а також застосувати при автоматизованому виготовленні різноманітних сіток, каркасів. Це дозволяє уникнути відходів арматури, скоротити строки будівництва і знизити його собівартість.

В той же час, особливості виготовлення термомеханічнозмцненої арматури, які передбачають її закалювання шляхом охолодження водою у процесі виготовлення з 900 С⁰ до 400-500 С⁰, призводять до того, що зовнішні і внутрішні шари арматури, після закручування у мотки охолоджуються по різному. Як наслідок, охолодження арматури по довжині мотка проходить не в однакових умовах і це може призвести до нерівномірності розподілу механічних характеристик арматури по довжині мотка, що в свою чергу може впливати і на зварюваність арматури. Це відрізняє термомеханічнозмцнену арматуру класу А500С в мотках від, холоднодеформованої арматури класу В500, яка виробляється за іншою технологією.

У світлі вищенаведеного, дослідження механічних характеристик термомеханічнозмцнену арматуру класу А500С в мотках, є

актуальною задачею, вирішення якої дозволить забезпечити необхідну надійність при нормуванні механічних властивостей такої арматури.

У цій роботі наведені результати статистичної оцінки механічних характеристик термомеханічнозмцненої арматури класу А500С в мотках, які включали в себе дослідження зміни механічних характеристик по довжині мотків.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ ТА АНАЛІЗ ПОПЕРЕДНІХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Основними механічними характеристиками арматури для залізобетонних конструкцій, що нормуються, є межа текучості (σ_T), тимчасовий опір (σ_B), відношення тимчасового опору до межі текучості (σ_B/σ_T) і відносне видовження після розриву (δ_5). При цьому, забезпеченість межі текучості, яка відповідає характеристичному значенню міцності арматури на розтяг, встановлена на рівні 0,95, а відношення тимчасового опору до межі текучості і відносного видовження після розриву – на рівні 0,9 [21].

Розрахункове значення міцності арматури для залізобетонних конструкцій на розтяг має мати забезпеченість 0,998 і при розрахунках за методом часткових коефіцієнтів регулюється призначенням коефіцієнта надійності за матеріалом (арматурою) γ_s .

У чинних нормативних документах з проектування залізобетонних конструкцій [22,23] коефіцієнт надійності γ_s для арматури класу А240С складає 1,05, класу А400С – 1,10, класу А500С, в залежності від діаметру, 1,15 і 1,20 і класу В500 – 1,20. У Європейських документах з проектування залізобетонних конструкцій [24] коефіцієнт надійності для всіх видів арматури приймається – 1,15.

Термомеханічнозмцнена арматура класу А500С виробляється діаметрами 6, 8, 10, 12 мм і коефіцієнт надійності для цієї арматури за чинними нормативними документами складає 1,15. Свого часу, цей коефіцієнт був призначений на підставі досліджень стержневої арматури широкого кола діаметрів, аж до діаметру 22 мм. Для арматури класу А500С у мотках діаметрами від 6 до 12 мм подібних

досліджень не проводилися, тим більше не проводилося і досліджень можливого впливу технології виготовлення на механічні характеристики арматури по довжині мотка.

В світлі вищенаведеного, статистична оцінка механічних характеристик термомеханічнозміцненої арматури класу А500С в мотках, включаючи дослідження можливого впливу технології виробництва ці характеристики по довжині мотка, є актуальною задачею, вирішення якої дозволить обґрунтувати, а у подальшому скоригувати, коефіцієнт надійності γ_s для такої арматури.

Об'єкт дослідження – механічні характеристики термомеханічнозміцненої арматури класу А500С у мотках.

Метою роботи є отримання експериментальних даних щодо механічних характеристик термомеханічнозміцненої арматури класу А500С у мотках, в тому числі по довжині мотка, з їх послідуною статистичною обробкою і встановленням відповідних параметрів забезпеченості.

Задачі дослідження:

- отримати експериментальні дані щодо межі текучості (σ_T), тимчасового опору (σ_B), відношення тимчасового опору до межі текучості (σ_B/σ_T) і відносного видовження після розриву (δ_5) термомеханічнозміцненої арматури класу А500С, включаючи відповідні дані і по довжині мотків;

- виконати статистичну оцінку результатів експериментальних досліджень, встановити забезпеченість нормованих значень механічних характеристик з визначенням коефіцієнта надійності за матеріалом для арматури класу А500С у мотках.

Предмет дослідження.

Експериментальні дослідження механічних характеристик термомеханічнозміцненої арматури класу А500С в мотках включали в себе випробування на розтяг зразків арматури діаметром 8 мм зі сталі марки Ст3п.

Для проведення досліджень були відібрані 8-м мотків - по 2 мотки з 4-х різних партій промислового виробництва. Від кожного

з мотків відбиралося 18 зразків по 6 від початку, середини і кінця мотка. Дослідні зразки відбиралися після розмотки на правильно-відрізнальному станку Н-6022-05 від перших 10 метрів (початок), середини і останніх 10 метрів (кінець) мотка. Всього для проведення досліджень було відібрано 144 зразки. Склад досліджень і хімічний склад сталі по партіях наведений у таблиці 1.

Зразки арматури випробувалися на розтяг за [25] з визначенням:

- межі текучості (σ_T);
- тимчасового опору (σ_B);
- відношення тимчасового опору до межі текучості (σ_B/σ_T);
- відносного видовження після розриву (δ_5).

В процесі випробувань вимірювалися поздовжні деформації зразків арматури, які у подальшому використовувалися для побудови залежності $\sigma - \varepsilon$ і визначення модулю пружності арматури.

Оцінка механічних характеристик арматури виконувалась для кожного з досліджуваних показників (σ_T , σ_B , σ_B/σ_T , δ_5) спочатку окремо для кожного мотка для зразків, що були відібрані від початку середини і кінця, потім для всіх зразків, відібраних відповідно від початку, середини і кінця всіх мотків і нарешті для всієї вибірки з 144 зразків.

При цьому для кожного з параметрів визначалися:

- максимальне, мінімальне, середнє значення і розмах;
- середньоквадратичне відхилення (S);
- коефіцієнта варіації (V).
- забезпеченість кожного з показників, що нормуються і порівняння з відповідними нормованими значеннями;
- коефіцієнт надійності за матеріалом γ_s для зразків, що були відібрані від початку, середини і кінця мотків і в цілому по виборці.

ОСНОВНИЙ МАТЕРІАЛ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Результати проведених експериментальних досліджень і статистичної оцінки

показників механічних характеристик термомеханічнозміцненої арматури класу А500С у мотках наведені у вигляді:

- графіку залежності $\sigma - \varepsilon$ для арматури для арматури діаметру 8 мм класу А500С у мотках мм (рис.1);
- графіків розподілу значень межі текучості, тимчасового опору, відношення значень тимчасового опору до межі текучості і відносного видовження після розриву по довжині 4-рьох мотків, відібраних з 4-чотирьох різних партій (рис.2 - 5);

- графіків розподілу середніх значень межі текучості, тимчасового опору і відносного видовження після розриву по довжині мотків для всієї вибірки (рис.6-7);
- таблиць зі значеннями статистичних параметрів механічних характеристик окремо для початку, середині і кінця мотків і по всій виборці (табл.2-5) з відповідними коефіцієнтами надійності γ_s окремо для початку, середині і кінця мотків, а також по всій виборці(табл.2).

Табл. 1 Склад випробувань і хімічний склад сталі.

Table. 1 Composition of tests and chemical composition of steel.

№ партії	Марка сталі	Діаметр, мм	Кількість зразків, шт	Хімічний склад, %							
				C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Cu
1	Ст3пс	8	144	0,21	0,48	0,01	0,021	0,011	0,04	0,02	0,03
2				0,18	0,54	0,05	0,046	0,018	0,07	0,02	0,05
3				0,21	0,64	0,06	0,027	0,010	0,03	0,02	0,04
4				0,19	0,55	0,06	0,041	0,014	0,03	0,02	0,02

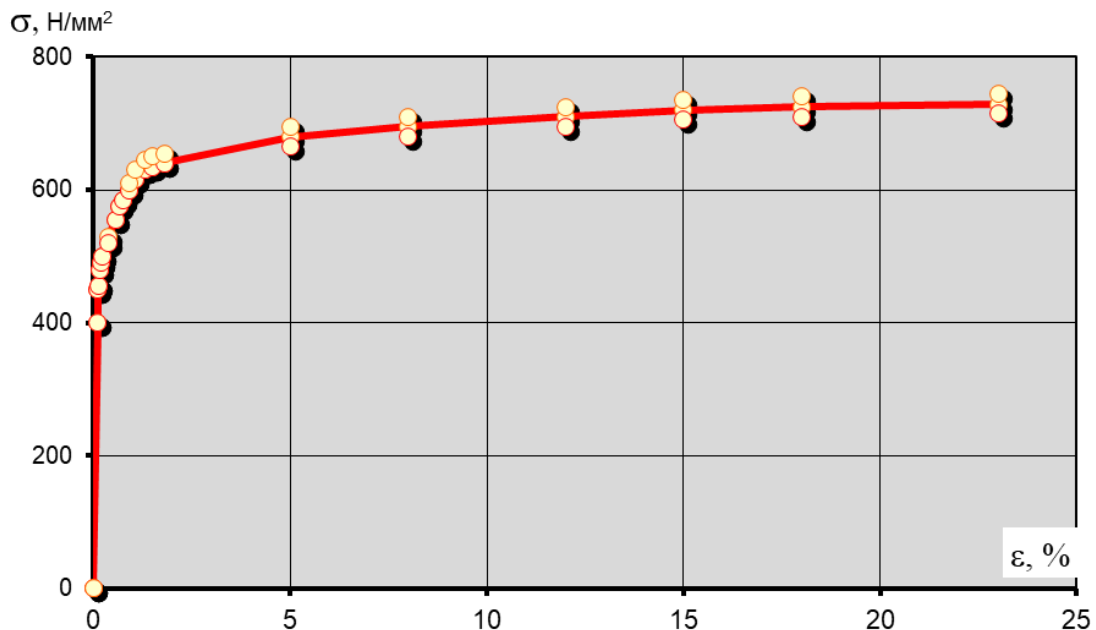


Рис.1 Діаграма $\sigma - \varepsilon$ термомеханічнозміцненої арматури класу А500С.

Fig. 1. Diagram $\sigma - \varepsilon$ of thermomechanical strengthened reinforcement of class A500C.

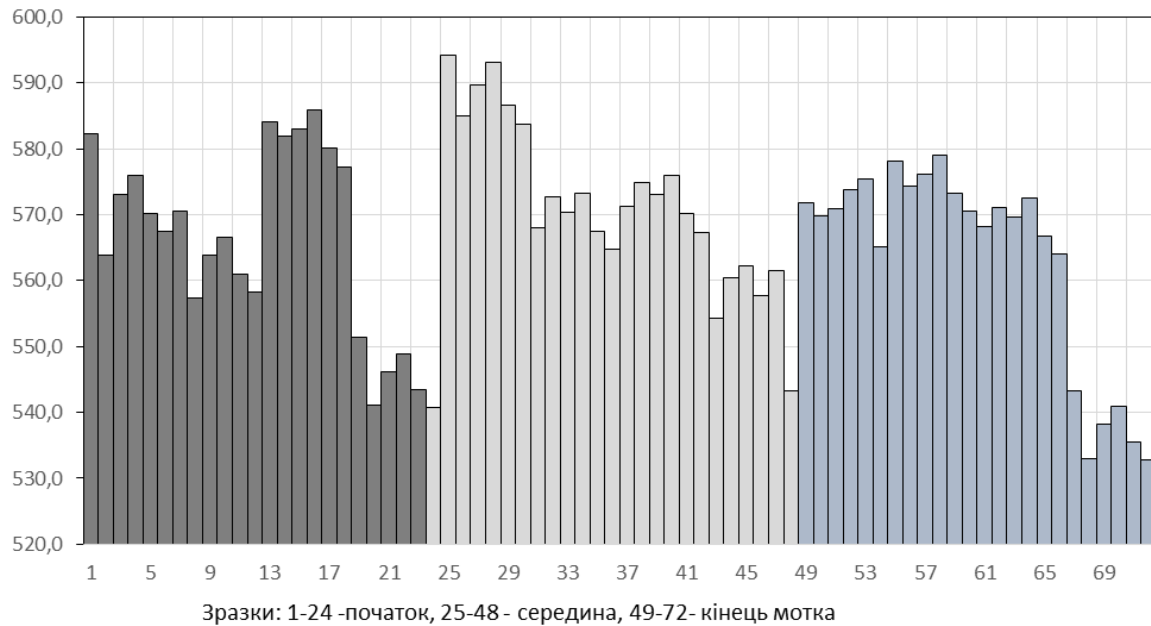
σ_T МПа

Рис.2 Експериментальні дані щодо межі текучості арматури класу А500С по довжині мотків.
Fig. 2. Experimental data on the yield strength reinforcement of class А500S by coil length.

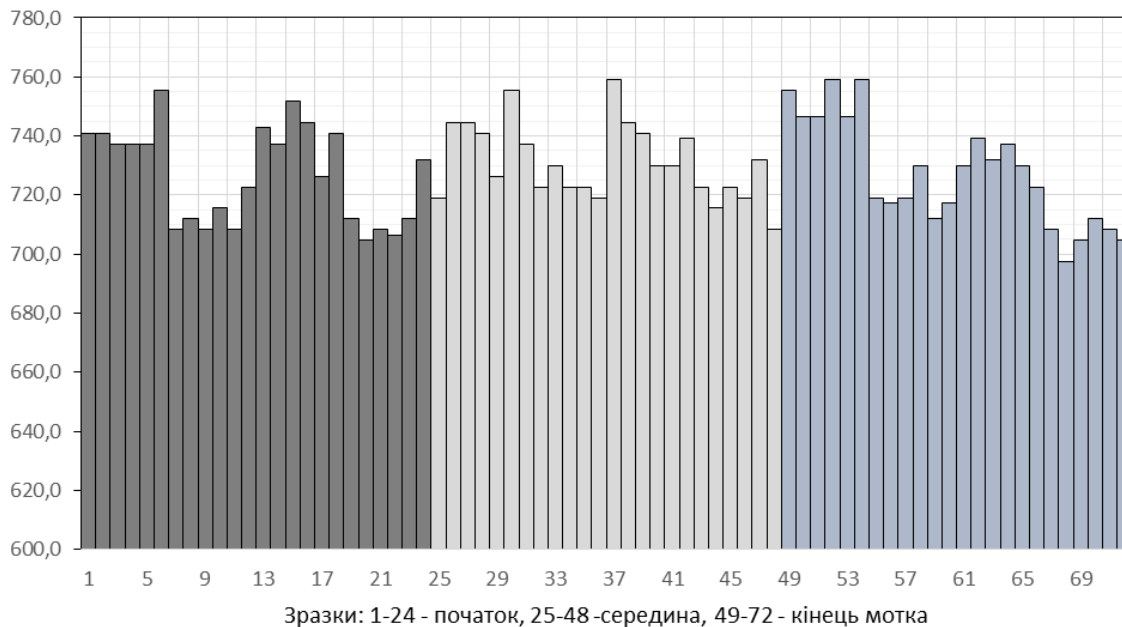
 σ_B , МПа

Рис.3 Експериментальні дані щодо тимчасового опору арматури класу А500С по довжині мотків.
Fig. 3 Experimental data on ultimate strength reinforcement of class А500S by coil length.

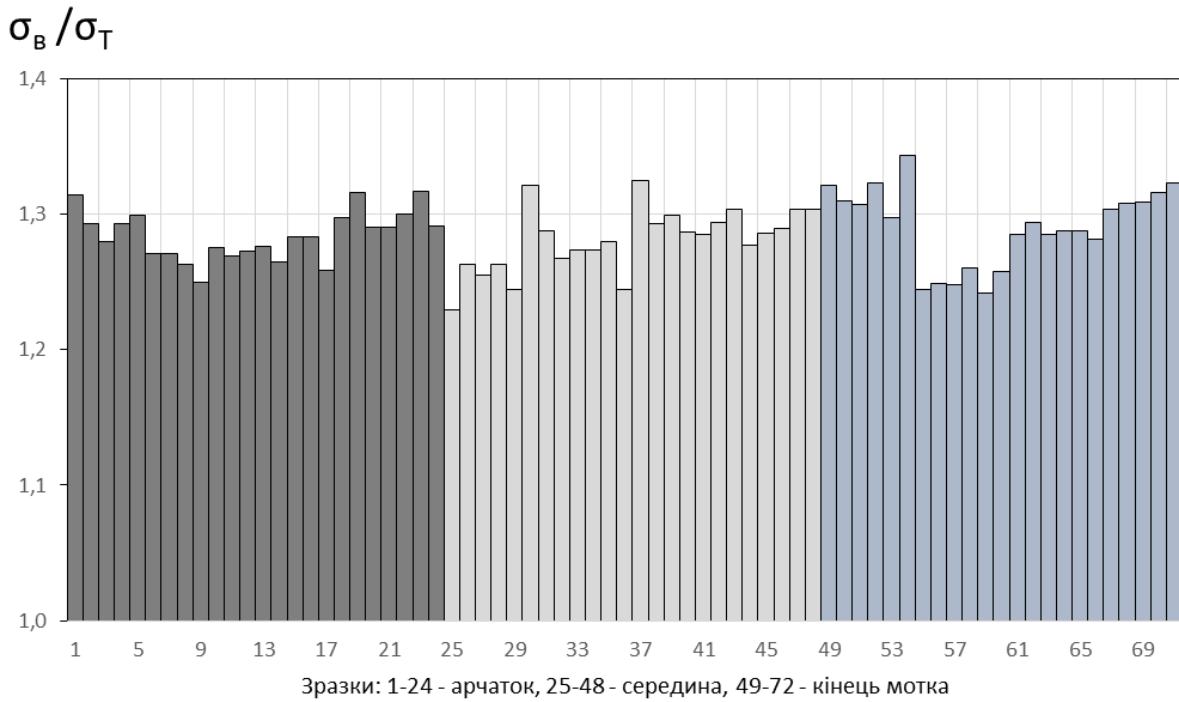


Рис.4 Експериментальні дані щодо відношення σ_B/σ_T арматури класу А500С по довжині мотків.
Fig. 4 Experimental data on the ratio σ_B/σ_T reinforcement of class А500S by coil length.

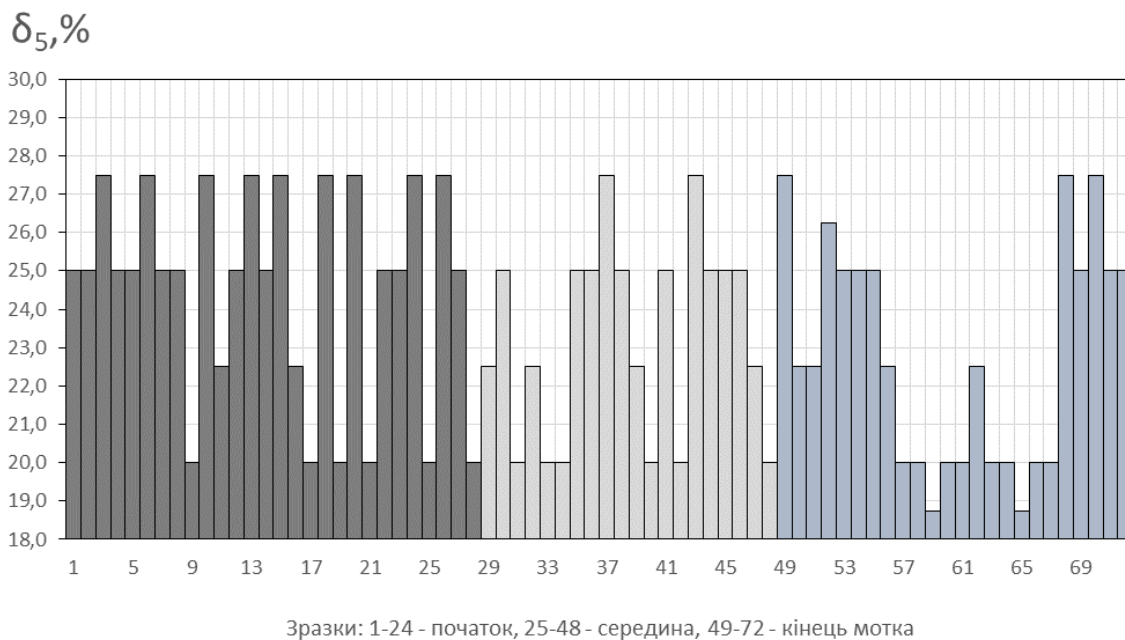


Рис.5 Експериментальні дані щодо водоносного видовження після розриву арматури класу А500С по довжині мотків.
Fig. 5 Experimental data on the relative elongation after rupture reinforcement of class А500С by coil length.

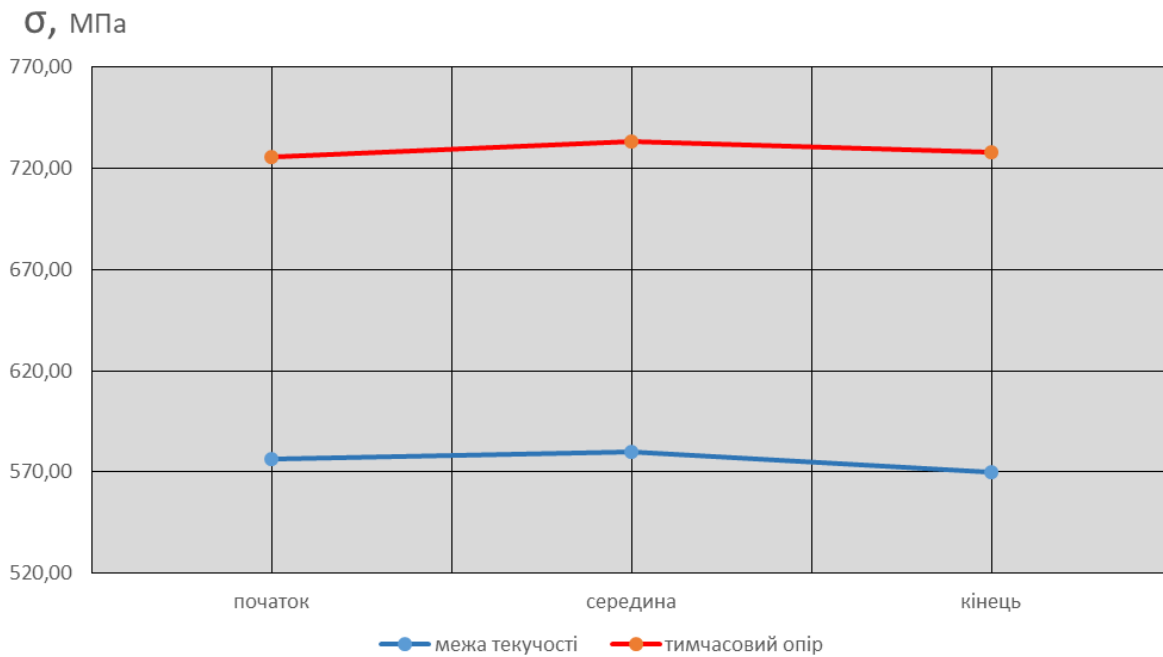


Рис.6 Розподіл середніх значень межі текучості і тимчасового опору по довжині мотків для всієї вибірки.

Fig. 6. Distribution of the mean values of yield strength and ultimate strength along the length of the coils for the entire sample.

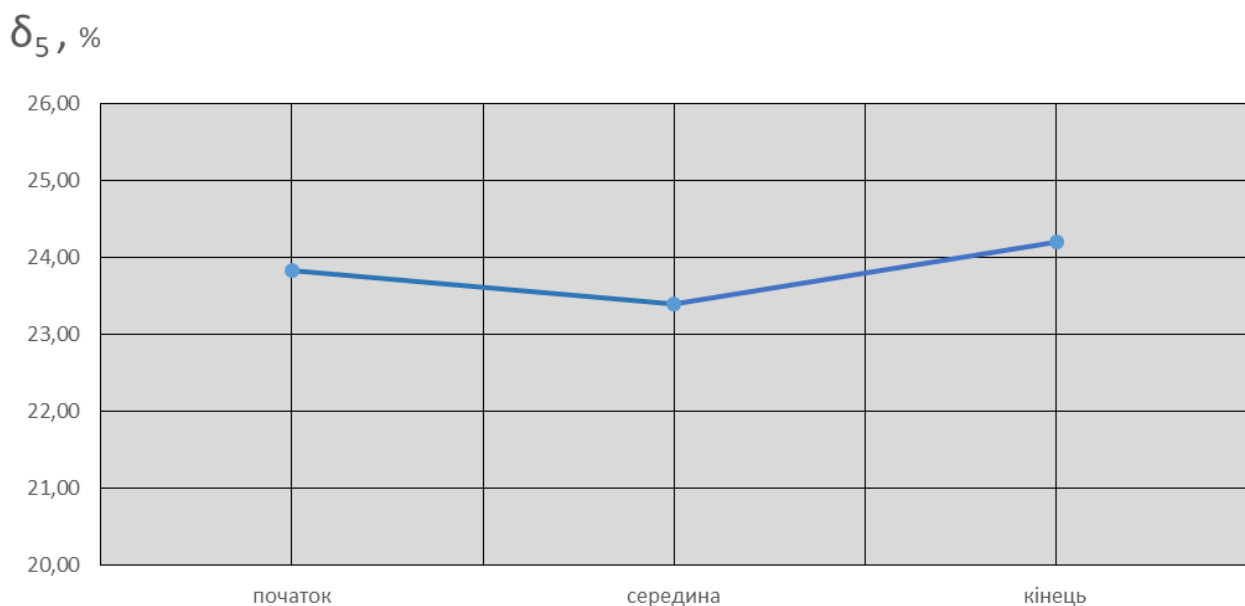


Рис.7 Розподіл середніх значень відносного видовження після розриву по довжині мотків для всієї вибірки.

Fig. 7 Distribution of mean values of the relative elongation after rupture along the length of the coils for the entire sample.

Табл. 2. Результати статистичної обробки випробувань термомеханічнозміцненої арматури класу А500С. Межа текучості.

Table. 2. Results of statistical processing of tests of thermomechanical strengthened reinforcement of class А500S. Yield strength.

Положення	Кількість зразків, шт	Межа текучості, σ_T						
		$\sigma_{T(max)}$ Н/мм ²	$\sigma_{T(min)}$ Н/мм ²	$\sigma_{T(med)}$ Н/мм ²	S Н/мм ²	V	R , Н/мм ²	γ_s
Початок	48	615,70	540,80	576,30	19,40	0,0336	74,90	1,112
Середина	48	631,10	541,60	580,20	20,32	0,0350	89,50	1,117
Кінець	48	608,10	532,80	569,60	15,40	0,0270	75,2	1,088
За вибіркою	144	631,10	532,80	575,60	18,77	0,0326	98,30	1,109

Табл. 3. Результати статистичної обробки випробувань термомеханічнозміцненої арматури класу А500С. Тимчасовий опір.

Table. 3. Results of statistical processing of tests of thermomechanical strengthened reinforcement of class А500S. Ultimate strength.

Положення	Кількість зразків, шт	Тимчасовий опір, σ_B					
		$\sigma_{B(max)}$ Н/мм ²	$\sigma_{B(min)}$ Н/мм ²	$\sigma_{B(med)}$ Н/мм ²	S Н/мм ²	V	R , Н/мм ²
Початок	48	759,10	701,00	725,80	16,69	0,0230	58,10
Середина	48	762,70	708,20	733,60	13,02	0,0177	54,50
кінець	48	759,10	697,30	728,20	16,20	0,022	61,70
За вибіркою	144	762,70	697,30	729,40	15,58	0,0213	65,40

Табл. 4. Результати статистичної обробки випробувань термомеханічнозміцненої арматури класу А500С. Відносне видовження після розриву.

Table. 4. Results of statistical processing of tests of thermomechanical strengthened reinforcement of class А500S. Relative elongation after rupture.

Положення	Кількість зразків, шт	Повне відносне видовження за максимального навантаження, δ_5					
		$\delta_{5(\max)}$ %	$\delta_{5(\min)}$ %	$\delta_{5(\text{med})}$ %	S , %	V	R , Н/мм ²
Початок	48	27,50	18,80	23,80	2,94	0,123	8,939
Середина	48	27,50	18,80	23,40	2,82	0,124	8,750
Кінець	48	30,00	18,75	24,19	2,96	0,122	11,25
За вибіркою	148	30,00	18,75	23,78	2,90	0,122	11,25

Табл. 5 Результати статистичної обробки випробувань термомеханічнозміцненої арматури класу А500С. Відносне видовження після розриву.

Table. 5. Results of statistical processing of tests of thermomechanical strengthened reinforcement of class А500S. Ratio of ultimate strength to the yield strength.

Положення	Кількість зразків, шт	Відношення, σ_B / σ_T					
		σ_B / σ_T max	σ_B / σ_T mix	σ_B / σ_T med	S ,	V	R , Н/мм ²
Початок	48	1,316	1,214	1,260	0,030	0,027	0,102
Середина	48	1,344	1,185	1,265	0,032	0,025	0,150
Кінець	48	1,343	1,220	1,279	0,031	0,024	0,123
За вибіркою	144	1,344	1,185	1,268	0,031	0,024	0,158

ВИСНОВКИ І ПЕРСПЕКТИВИ

ПОДАЛЬШИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Систематизація, узагальнення і аналіз результатів проведених експериментальних досліджень механічних характеристик термомеханічнозмцненої арматури класу А500С мотках і їх статистичної обробки дозволяють зробити такі основні висновки.

Діаграма залежності $\sigma - \epsilon$ для термомеханічнозмцненої арматури класу А500С у мотках не має вираженої площадки текучості (рис.1) і тому може розглядатися, як арматура з умовною межею текучості. Модуль пружності арматури склав $E_s = 2,28 \cdot 10^5$ МПа.

За даними випробувань зразків з 8-ми мотків (144 зразки) межа текучості арматури класу А500С змінювалась у межах 532,80...631,10 МПа (табл.2), тимчасовий опір – у межах 697,30...762,70 МПа (табл.3), відносно видовження при розриві – у межах 18,75...30,00 % (табл.4), відношення тимчасового опору до межі текучості – у межах – 1,185...1,344 (табл.5).

Стійких закономірностей зміни механічних характеристик арматури по довжині мотка (початок, середина, кінець) не виявлено (рис.2-5). Так значення межі текучості арматури на початку мотків склали 540,8...615,70 МПа, в середині – 541,60...631,10 МПа, а на кінці – 532,80...608,10 МПа (табл.2). При цьому, різниця між середніми значеннями не перевищувала 2% (рис.6). Аналогічна картина має місце і для тимчасового опору, значення якого на початку мотків склали 701,00...759,10 МПа, в середині – 708,20...762,70 МПа, на кінці – 697,30...759,10 МПа (табл.3), а різниця між середніми значеннями не перевищувала 1% (рис.6). Близьким між собою були також значення коефіцієнтів варіації і розмаху значень межі текучості і тимчасового опору для зразків, відібраних від початку, середини і кінця мотків (табл.2,3).

Не виявлено також стійкого впливу місця розташування по довжині мотка і на відносно видовження при розриві (табл.4, рис.7), а також відношення тимчасового опору до межі текучості (табл.5).

Забезпеченість межі текучості арматури класу А500С діаметром 8 мм в мотках у даній вибірці зразків склала 0,9999 при нормованому значенні 0,95. При цьому коефіцієнт варіації склав 0,0328.

Приймаючи, що забезпеченість розрахункового опору арматури має бути 0,998, при отриманому значенні коефіцієнта варіації коефіцієнт надійності для арматури класу А500С діаметром 8 мм у мотках склав 1,109, що менше прийнятого у [7] значення 1,15.

Наступними етапами робіт з дослідження властивостей арматури класу А500С має стати проведення аналогічних експериментів з арматурою інших діаметрів (6, 10, 12 мм), з відповідними оцінками обґрунтування призначення коефіцієнту надійності для такої арматури.

ЛІТЕРАТУРА

1. **Климов Ю.А.** Стратегия и тактика развития национальной нормативной базы в области арматуры для железобетонных конструкций. // *Бюллетени и стандарты*, № 3, 2002. - С.7-12.
2. **Рекомендации** по применению арматурного проката по ДСТУ 3760-98 при прокатывании и изготовлении железобетонных конструкций без предварительного напряжения арматуры. – *Киев, Госстрой Украины, 2002*, - С.39.
3. **Климов Ю.А.** (2017) Теплозварюваність арматури класу А500С. -// *Зб. наук. праць Будівельні конструкції. Теорія і практика*, 1 (1), 22-27.
<https://doi.org/10.32347/2522-4182.1.2017.22-27>
4. **Климов, Ю., & Бойко, І.** (2022). Міцність стикового контактного зварного з'єднання арматури класу А500С. // *Будівельні конструкції. Теорія і практика*, (10), 79–93.
<https://doi.org/10.32347/2522-4182.10.2022.79-93>
5. **Климов, Ю.** (2022). Міцність хрестоподібних зварних з'єднань арматури класу А500С. // *Будівельні конструкції. Теорія і практика*, (11), 4–17.
<https://doi.org/10.32347/2522-4182.11.2022.4-17>

6. **Чвертко П.Н.** Контактная стыковая сварка стержневой арматуры классов А400С–А600С при строительстве конструкций из монолитного бетона. - *Автоматическая сварка.* — 2010. — № 8 (688). — С. 30-34.
7. **Чвертко П.Н., Горонков Н.Д., Виноградов Н.А., Самотрясов С.М., Сысоев В.Ю.** Контактная стыковая сварка арматуры железобетона в условиях стройплощадки. - *Автоматическая сварка.* — 2014. — № 3 (730). — С. 50-53.
8. **Демченко Ю.В.** Перспективне встаткування для зварювання й наплавлювання арматури. - *Сварщик. Технології. Производство. Сервіс.* - 2010.-6 (76). - С.10-12.
9. **Болотов Г., Болотов М., Гансєв Т., Корзаченко М.** Оцінка несучої здатності зварних з'єднань арматури залізобетону. - *Технічні науки та технології.* - 2017.- №1(7). — С.58-67.
10. **Issa С.А.** An Experimental Study of Welded Splices of Reinforcing Bars - *Building and Environment, 2006, 41(10)- P. - 1394–1405.*
11. **Apostolopoulos Ch. Alk., Michalopoulos D, Dimitrov L.** Numerical Simulation of Tensile Mechanical Behavior of Lap Welded Reinforcing Steel Bar Jointsю- *Bulgarian Journal for Engineering Design., November 2009.- No. 3, -P. 5-11.*
12. **Клімов, Ю.** (2021). Вплив корозійних пошкоджень на зчеплення арматури періодичного профілю з бетоном. *Будівельні конструкції. Теорія і практика, (9), 4–14.*
<https://doi.org/10.32347/2522-4182.9.2021.4-14>
13. **Бліхарський Я.З.** Залишковий ресурс залізобетонних конструкцій з пошкодженнями термічно-зміцненої арматури. - *Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук.* - Одеса, 2021. - С.44.
14. **Blikharskyu Y.Z.** Anisotropy of the mechanical properties of thermally hardened A500s reinforcement. *Materials Science.* -2019.-Vol.55.- P/175-180.
15. **Колчунов В.И., Яковенко И.А., Дмитренко Е.А.** Конечно-элементное моделирование нелинейной плоской задачи сцепления арматуры с бетоном в ПК ЛИРА-САПР. *Промислове будівництво та інженерні споруди, 2016. №3. С. 6– 15.*
16. **Appa Rao G, Kadhavan D.** Nonlinear FE modeling of anchorage bond in reinforced concrete // *International Journal of Research in Engineering and Technology.* – 2013. – Vol. 2, No. 9. – P.377-385.
17. **Гуль Ю.П.** Деформационные воздействия в технологиях термической и комбинированной обработки металлопродукции // *Строительство, материаловедение, машиностроение: Сб. науч. трудов. – Вып.58. – Днепропетровск: ПГАСА. – 2011. – С.29-39.*
18. **Ивченко А.В., Недогибченко А.И., Матюхов С.А. и др.** Новый эффективный арматурный прокат в мотках класса В500С для железобетонных конструкций.// *Бетон и железобетон в Украине 2013. - №5. – С.17-21.*
19. **Ивченко, А.В., Гуль Ю.П., Панков Р.В., Кондратенко. П.В.** Огнесохранность холоднодеформированного арматурного проката класса В500С // *Бетон и железобетон в Украине. – 2015. – №5. – С.24-29.*
20. **Клімов, Ю.** (2022). Статистична оцінка механічних характеристик холоднодеформованої арматури КЛАСУ В500. // *Будівельні конструкції. Теорія і практика, (12), 4–15.*
<https://doi.org/10.32347/2522-4182.12.2023.4-15>
21. **ДСТУ-3760:2019** Прокат арматурний для залізобетонних конструкцій Загальні технічні вимоги. (чинний з 01.08.2019), К., *Держспоживстандарт України, 2019. 18с.*
22. **ДБН В.2.6-98:2009** Конструкції будівель і споруд. Бетонні і залізобетонні конструкції. Основні положення. (чинний з 01.06.2020), К., *Мінрегіонбуд України, 2011. 71с.*
23. **ДСТУ Н Б В.2.6-156:2011** Конструкції будівель і споруд. Бетонні і залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування. (чинний з 01.06.2011), К., *Мінрегіонбуд України, 2010. 118с.*
24. **ДСТУ Н Б EN 1992-1-1:2010** Проектування залізобетонних конструкцій. Частина 1-1. Загальні правила і правила для споруд. (чинний з 01.07.2013), *Мінрегіонбуд України, 2012. 291с.*
25. **ДСТУ EN 10080:2009** Сталь для армування бетону. Зварювальна арматурна сталь. Загальні вимоги. (чинний з 01.017.2012), *Держспоживстандарт України, 2012. 49с.*

REFERENCES

1. **Klimov Y.A.** Strategiya i taktika razvitiya nacionalnoj normativnoj bazy v oblasti armatury dlya zhelezobetonnyh konstrukcij. // *Byulleteni i standarty, № 3, 2002.- S.7-12*
2. **Rekomendatsyy po pryumeneniyu armaturnoho prokatu po DSTU 3760-98 pry prokatyvanuy u yzghotovlenny zhelezobetonnykh konstruktsiy bez predvartelnoho**

- napriazheniia armatury. – Kyev, *Hosstroï Ukrainy*, 2002, - S.39.
3. **Klymov Y.A.** Teplova zvaruvaniist armature clasu A500C. - *Budivelni konstruksii. Teoriï i praktika*. – 2017.- Vypusk 1.- KNUBA.- S. 22-27.
<https://doi.org/10.32347/2522-4182.1.2017.22-27>
 4. **Klimov, Yu., & Boiko, I.** (2022). Mitsnist stykovoho kontaktnoho zvarnogo ziednannia armatury klasu A500S. // *Budivelni konstruksii. Teoriia i praktika*, (10), 79–93.
<https://doi.org/10.32347/2522-4182.10.2022.79-93>
 5. **Klimov Y.A.** Mitsnist khrestopodibnykh zvarnykh ziednan armatury klasu A500S. // *Budivelni konstruksii. Teoriia i praktika*. Vypusk 11.– 2022, KNUBA.- S.4-17.
<https://doi.org/10.32347/2522-4182.11.2022.4-17>
 6. **Chetverko P.N.** Kontaktnay stikovaiy svarka stergnevoy armature clasov A400C–A600C pri stroitelstve konstrukciy iz monolitnogo betona. - *Avtomaticheskay svarka*. — 2010. — № 8 (688). — S. 30-34.
 7. **Chetverko P.N., Goronkov N.D., Vinogradov N.A., Samotriysov S.M., Susoev V.U.** Kontaktnay stikovaiy svarka armature zelezobetonu a usloviykh stroyploshadki. - *Avtomaticheskay svarka* — 2014. — № 3 (730). — S. 50-53.
 8. **Demchenko U.V.** Perspektivne vstatkuvaniy dly zvaruvaniy i naplavlvaniy armaturi – *Svarchik. Teknologiy. Proizvodstvo. Servis*. - 2010.-6 (76).- S.10-12.
 9. **Bolotov G., Bolotov M., Ganeev T., Korzachenko M.** Ozinka nesuchoy zdatnosti zvarnich ziednan armature zalizobetonu.- *Thenichni nayki ta tehnologii*.-2017.- №1(7). – C.58-67.
 10. **Issa C.A.** An Experimental Study of Welded Splices of Reinforcing Bars - *Building and Environment*, 2006, 41(10)- P. - 1394–1405.
 11. **Apostolopoulos Ch. Alk., Michalopoulos D, Dimitrov L.** Numerical Simulation of Tensile Mechanical Behavior of Lap Welded Reinforcing Steel Bar Jointsю- *Bulgarian Journal for Engineering Design*, November 2009.- No. 3, -P. 5-11.
 12. **Klimov Y.A.** Vplyv koroziiinykh poshkodzen na zcheplennia armatury periodychnoho profilu z betonom // *Budivelni konstruksii. Teoriia i praktika*. Vypusk 9.– 2021, KNUBA.- S.4-14.
<https://doi.org/10.32347/2522-4182.9.2021.4-14>
 13. **Blikharsky Y.Z.** Zalichkoviy resurs zalizobetonuch konstrukciy z poshkodgeniyami termichno-zmiznenoy armature. *Avtoreferat dusertazii na zdotuy naukovogo stupeniy doktora technichnich nauk*. – Odesa, 2021. – S.44.
 14. **Blikharsky Y.Z.** Anisotropy of the mechanical properties of thermally hardened A500s reinforcement. *Materials Science*. - 2019.-Vol.55.-P/175-180.
 15. **Kolchunov V.Y, Yakovenko Y.A., Dmytrenko E.A.** Konechno-elementnoe modelirovaniye nelyneinoi ploskoi zadachy stsepleniya armaturys betonom v PK LYRA-SAPR. *Promyslove budivnytstvo ta inzhenerni sporudy*, 2016. №3. S. 6– 15.
 16. **Appa Rao G, Kadhiraavan D.** Nonlinear FE modeling of anchorage bond in reinforced concrete // *International Journal of Research in Engineering and Technology*. – 2013. – Vol. 2, No. 9. – P.377-385.
 17. **Gul Yu.P.** Deformacionnyye vozdeystviya v tehnologiyah termicheskoy i kombinirovannoy obrabotki metalloprodukcii. // *Stroitelstvo, materialovedenie, mashinostroenie: Sb. nauch. trudov*. – Vyp.58. – Dnepropetrovsk: PGASA. – 2011. – S.29-39.
 18. **Yvchenko A.V., Nedohybchenko A.Y., Matiukhov S.A. y dr.** Novyi efektyvnyi armaturnyi prokat v motkakh klassa V500S dlia zhelezobetonnykh konstruktsiy // *Beton y zhelezobeton v Ukraine 2013*. - №5. – S.17-21.
 19. **Ivchenko, A.V., Gul Yu.P., Pankov R.V., Kondratenko P.V.** Ognesohrannost holodnodeformirovannogo armaturnogo prokata klassa V500S // *Beton i zhelezobeton v Ukraine*. – 2015. – №5. – C.24-29.
 20. **Klimov Y.A.** Statystychna otsinka mekhanichnykh kharakterystyk kholodnodeformovanoi armatury klasu V500. // *Budivelni konstruksii. Teoriia i praktika*. Vypusk 12.– 2023, KNUBA.- S.4-15.
<https://doi.org/10.32347/2522-4182.12.2023.4-15>
 21. **DSTU-3760:2019** Prokat armaturnyi dlia zalizobetonnykh konstruktsii Zahalni tekhnichni vymohy.(chynnyi z 01.08.2019), K., *Derzhspozhyvstandart Ukrainy*, 2019. 18s.
 22. **DBN V.2.6-98:2009** Konstruksii budivel i sporud. Betonni i zalizobetonni konstruksii. Osnovni polozhennia.(chynnyi z 01.06.2020), K., *Minrehionbud Ukrainy*, 2011. 71s
 23. **DSTU N B V.2.6-156:2011** Konstruksii budivel i sporud. Betonni i zalizobetonni konstruksii z vazhkoho betonu. Pravyla proektuvannia. (chynnyi z 01.06.2011), K., *Minrehionbud Ukrainy*, 2010. 118s.
 24. **DSTU N B EN 1992-1-1:2010** Proektuvannia zalizobetonnykh konstruktsii. Chastyny 1-1. Zahalni pravyla i pravyla dlia sporud. (chynnyi z

01.07.2013), *Minrehionbud Ukrainy, 2012. 291s.*

25. **DSTU N B EN 1992-1-1:2010** Proektuvannia zalizobetonnykh konstruktsii. Chastyny 1-1. Zahalni pravyla i pravyla dlia sporud. (*chynnyi z 01.07.2013*), *Minrehionbud Ukrainy, 2012. 291s.*

STATISTICAL EVALUATION OF MECHANICAL CHARACTERISTICS REINFORCEMENT OF CLASS A500C IN COILS

Yulii KLYMOV

Dmytro SMORKALOV

Summary. The paper presents the results of a statistical evaluation of the mechanical characteristics of reinforcement of class A500S in coils.

The statistical evaluation was performed based on the results of tensile tests on 144 samples of 8 mm diameter rebar of A500S class made of St3ps steel. The samples were taken from 8 coils of different batches of industrial production, 6 samples from the beginning, middle and end of each coil. During the tests, the main mechanical characteristics of A500C reinforcement were determined - yield strength (σ_T), ultimate strength (σ_B), ratio of ultimate strength to yield strength (σ_B/σ_T), relative elongation after rupture (δ_5), state diagrams were drawn and the elastic modulus of the rebar (E_s) was determined. The statistical evaluation was performed for each of the studied parameters (σ_T , σ_B , σ_B/σ_T , δ_5) first separately for each skein for samples taken from the beginning, middle and end, then for all samples taken from the beginning, middle and end of all skeins, respectively, and finally for the entire sample of 144 samples.

According to the test data of samples from 8 coils, the yield strength of A500C reinforcement varied in the range of 532.80...631.10 MPa, the temporary resistance - 697.30...762.70 MPa, the relative elongation at break - 18.75...30.00 %, the ratio of temporary resistance to yield strength - 1.185...1.344.

No stable patterns of change in the mechanical characteristics of the reinforcement along the length of the coils were found. The difference between the average values of yield strength, temporary resistance, relative elongation, and the ratio of temporary resistance to yield strength along the length of the coils did not exceed 2 %.

The values of the coefficients of variation and the range of the values of the corresponding mechanical characteristics of the samples taken from the beginning, middle and end of the coils were also close to each other.

The yield strength of A500C rebar with a diameter of 8 mm in coils in this sample of samples was 0.9999, with a normalised value of 0.95. The coefficient of variation was 0.0328.

For the established security of the calculated reinforcement resistance at the level of 0.998, the reliability factor for A500C class rebar with a diameter of 8 mm in coils was 1.109, which is less than the value of 1.15 accepted in the current regulatory documents.

Keywords. Thermomechanically strengthened reinforcement of A500C class; coils, mechanical characteristics; statistical indicators; availability.

Стаття надійшла до редакції 11.10.2023