

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. **Клімов Ю.А.** (2017) Теплово зварюваність 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. **Клімов, 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. **Клімов, 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. **Rekomendatsyyu po pryumeneniyu armaturnoho prokatu po DSTU 3760-98 pry prokatyvanuy u yzghotovlenyy zhelezobetonnykh konstruktsiy bez predvartelnoho**

- napriazheniya armatury. – Kyev, *Hosstroï Ukrainy*, 2002, - S.39.
3. **Klymov Y.A.** Teplova zvaruvaniist armature clasu A500C. - *Budivelni konstrucsii. Teotiy i praktica.* – 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 zvarnoho ziednannia armatury klasu A500S. // *Budivelni konstrucsii. Teoriia i praktyka*, (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 konstrucsii. Teoriia i praktyka.* 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 naplavluvaniy armaturi – *Svarchik. Technologiy. 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 konstrucsii. Teoriia i praktyka.* 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 modelyrovanye 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.** Deformacionnye 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 konstrucsii. Teoriia i praktyka.* 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** Konstrucsii budivel i sporud. Betonni i zalizobetonni konstrucsii. Osnovni polozhennia.(chynnyi z 01.06.2020), K., *Minrehionbud Ukrainy*, 2011. 71s
 23. **DSTU N B V.2.6-156:2011** Konstrucsii budivel i sporud. Betonni i zalizobetonni konstrucsii 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 konstruksii. 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