

**В.Г. Раздобрєєв к.т.н., с.н.с.,** ORCID 0000-0001-7402-7992

**Д.Г. Паламар м.н.с.,** ORCID 0000-0002-9503-3248

*Інститут чорної металургії ім. З.І. Некрасова НАН України*

## **СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ ВИРОБНИЦТВА КОРОЗІЙНОСТІЙКОГО І ВОГНЕСТІЙКОГО НЕНАПРУЖЕНОГО АРМАТУРНОГО ПРОКАТУ**

**Анотація.** Метою роботи є дослідження сучасних способів виробництва корозійностійкого та вогнестійкого ненапруженого арматурного прокату в світі. Ненапружений арматурний прокат використовується в якості робочої, конструктивної і монтажної арматури в звичайних будівельних конструкціях, а також у різних видах попередньо напружених конструкцій: від ажурних збірних до величезних монолітних гідротехнічних споруд, тому його асортимент, що випускається вітчизняною металургійною промисловістю знаходиться в діапазоні від 5,5 до 40 мм в номінальному діаметрі гладкого профілю та від 6,0 до 40 мм – періодичного профілю. В останні роки у світі велика увага приділяється проектуванню та будівництву будівель і споруд з поліпшеним комплексом споживчих властивостей, призначених, зокрема, для роботи в умовах корозійних і пожежонебезпечних середовищах. В Україні в даний час такі розробки не ведуться. В світі і Європі для підвищення корозійної стійкості і вогнестійкості, а також для виготовлення сейсмічно стійкого арматурного прокату ( $\delta_{\max} \geq 7,5\%$ ) використовують гарячекатані низьколеговані (додатково легують V і Mo) і мікрولهговані марки сталі без застосування термічної обробки або холоднодеформовані (спосіб cold stretched) з гарячекатаного підкату періодичного профілю. В ГОСТ 34028-2016 для країн Митного союзу чітко записано, що для армування збірних залізобетонних конструкцій та монолітного залізобетону використовують також ненапружений арматурний прокат в прутках або мотках номінальним діаметром від 4,0 до 40 мм для виробництва такого прокату використовують низьковуглецеві та низьколеговані марки сталі, які мікролекують V, Nb, Mo або додають елементи Al, Ti, V, Nb, що утворюють нітриди. При цьому застосовують або гарячу прокатку або холодне деформування або термічну обробку в потоці прокатного стану. Альтернативним шляхом виробництва корозійностійкого і вогнестійкого ненапруженого арматурного прокату у світі є застосування в якості матеріалу нержавіючої сталі. Такий профільований арматурний прокат виготовляють в асортименті від 3,0 до 50 мм гарячою прокаткою або холодним деформуванням. Використання сучасних технологій виробництва нержавіючого арматурного прокату дозволяє гарантувати збереження матеріалу від корозії та високої температури при пожежі. Суттєвим недоліком цього прокату є її доволі висока вартість.

**Ключові слова:** арматурний прокат, корозійна стійкість, вогнестійкість, низьколегована і мікрولهгована сталь, нержавіюча сталь, гаряча прокатка, холодне деформування.

**Посилання для цитування:** *Раздобрєєв В.Г., Паламар Д.Г.* Сучасні тенденції виробництва корозійностійкого і вогнестійкого ненапруженого арматурного прокату. //«Фундаментальні та прикладні проблеми чорної металургії». – 2020. – Вип.34. – С.170-189. (In Ukrainian). DOI 10.52150/2522-9117-2020-34-170-189

**Вступ.** Арматурний прокат, наряду з іншими видами металопрокату, широко застосовується в будівельній індустрії, в основному для виготовлення всіх видів залізобетонних конструкцій (попередньо-напружені ЗБВ, ЗБК і монолітні конструкції), що необхідно для посилення міцності бетону. В основному використовується сталевий гнучкий арматурний прокат - стрижневий, в мотках, зварні сітки і каркаси.

В даний час виникла тенденція і потреба застосування для залізобетонних конструкцій арматурного прокату з високими характеристиками міцності і пластичності, який володіє поліпшеним комплексом споживчих властивостей: гарна зварюваність для надійного з'єднання арматурного прокату та його елементів; вогнестійкість при будівництві висотних будівель; стійкість проти корозії в умовах водневої деполяризації для морських споруд; стійкість проти корозії під напругою для попередньо-напруженого залізобетонних конструкцій і гідротехнічних споруд; пластичність ( $\delta_{\max} \geq 5\%$  і вище) і сейсмостійкість для будівель, які зводяться в сейсмічних районах, а також військового призначення; стійкість проти багатоциклової втоми; холодостійкий арматурний прокат підвищеної надійності і т.д. За кордоном в останні роки велика увага приділяється проектуванню та будівництву будівель і споруд з поліпшеним комплексом споживчих властивостей, призначених, зокрема, для роботи в умовах корозійних і пожежонебезпечних середовищах. В Україні в даний час такі розробки не ведуться.

**Мета роботи.** Виконати аналіз сучасних тенденцій виробництва корозійностійкого і вогнестійкого арматурного прокату в світі.

**Сучасний стан розробки.** В даний час і доступному для огляду майбутньому, незважаючи на активний розвиток альтернативних неметалічних матеріалів, як-то: різного роду пластмас підвищеної та високої міцності, пластиків, виробів і деталей на базі використання кременію і ін., залізо і сталь залишаються головними конструкційними матеріалами в будівництві, енергетиці, машинобудуванні та на транспорті. Гарне поєднання міцності, пластичності, в'язкості, оброблюваності різанням, зносостійкості, можливість гарячої пластичної деформації прокаткою і куванням в широкому діапазоні температур і обтисень, можливість холодної формозміни, штампування і зварювання усіма її видами роблять ці матеріали практично не замінними в різних областях сучасної техніки і технології. Тому щорічне виробництво сталі в усьому світі безперервно зростає і, наприклад, в 2019 р. за даними *World*

*Steel Association (WSA)* склало 1869,9 млн. т [1]. Особливо швидкими темпами нарощується виробництво сталі в Китаї (996,342 млн. т.) і в країнах, що розвиваються [1, 2]. Виробництво сталі в Україні незначно знизилося в порівнянні з 2018 р. (21,1 млн. т), всього в 2019 р воно склало 20,8 млн. т, тобто 11,1 % світової кількості сталі [2]. У 2020 р. така тенденція зберігається.

Конструкційні сталі використовують як в гарячекатаному, так і в термічно зміцненому стані. Проведення операцій термічної обробки конструкційних сталей дозволяє істотно підвищити їх властивості міцності при задовільних значеннях пластичних властивостей. Легування і мікролегування гарячекатаних конструкційних сталей дозволяє також підвищити міцність і пластичні властивості готового металопрокату, але при цьому істотно здорожує вартість готового прокату [3]. Конструкційна сталь масового виробництва і застосування при всіх її перевагах має і дуже серйозний недолік: вона схильна до корозійного руйнування в результаті впливу різних видів атмосферної, водної, морської, ґрунтової, щільний, виразкової корозії, корозійного розтріскування під напругою, водневого, сольового, лужного окрихчування та ін.

Корозійні процеси руйнування, поглиблюються в останні десятиліття стійким погіршенням екології навколишнього середовища практично у всіх промислово розвинених країнах, знижують за рік до 20 % щорічного світового виробництва заліза і сталі і завдають шкоди, що обчислюється в 3,5-5 % річного національного доходу. За даними експертних оцінок в Україні збитки від корозії становить 10-15 % всієї продукції чорних металів. Вартість протикорозійного захисту в хімічній, нафтохімічній, металургійній промисловості досягає 10-15 % загальної вартості будівельних конструкцій. Кожні три роки необхідно перефарбовувати 75 % металоконструкцій і 10-20 % замінювати їх через корозійного зносу [4].

У зв'язку з величезними як прямими (втрата сталевого металопроценту), так і непрямі (ремонт і заміна будівельних конструкцій, трубопроводів, комунальних мереж міст, промислових підприємств, житлових масивів, обладнання, транспортних засобів і т.п.) збитками, боротьбі з корозією під усьому світі приділяється серйозна увага і виділяються великі кошти для проведення наукових досліджень і розробок в цьому напрямку [5-12].

Не менш гостро в усьому світі стоїть питання і вогнестійкості готового арматурного прокату [13-17]. Під вогнестійкістю розуміють здатність будівельної конструкції чинити опір дії високої температури в умовах пожежі і виконувати при цьому звичайні експлуатаційні функції. За вогнезбереження залізобетонної конструкції приймається такий стан металу, при якому залишкова міцність або незворотні деформації забезпечують надійну роботу після пожежі. При будівництві високоповерхових будівель необхідно і доцільно розглядати застосування

арматурного прокату з урахуванням його високотемпературної вогнестійкості.

У зв'язку з такими вимогами до експлуатаційних характеристик арматурного прокату в усі нормативно-технічні документації на виробництво готового прокату США, Великобританії, Німеччини, Франції, Японії та ін. країн внесені обов'язкові додаткові норми щодо визначення корозійної стійкості, вогнестійкості та ін. У Міждержавному стандарті ГОСТ 34028-2016 «Прокат арматурный для железобетонных конструкций», який набрав чинності 01.01.2019 р. на заміну ГОСТ 5781-82 та ГОСТ 10884-94 і розроблений на основі ГОСТ Р 52544-2006 також поряд з набором технічних вимог за механічними властивостями арматурного прокату відповідно до Розділу 6 додатково нормується стійкість до корозійного розтріскування, зварюваність, категорії пластичності, витривалість при багаторазово повторюваних циклічних навантаженнях, релаксації напружень [18]. В Україні в чинному стандарті ДСТУ EN 10080 «Сталь для армування бетону. Зварювальний арматурна сталь. Загальні технічні умови» та ДСТУ 3760:2019, який набрав чинності з 01 серпня 2019 р., вимог щодо корозійної стійкості і вогнестійкості немає [19, 20]. На підприємствах України арматурний прокат таких видів не виробляється.

**Результати досліджень.** В даний час одним з найбільш значущих і затребуваних будівельних матеріалів є залізобетон, збільшення використання якого в капітальному будівництві безпосередньо залежить від зростання виробництва, необхідної кількості ефективних видів арматурних сталей необхідної якості. За минулі 30 років на Україні відбулися зміни практично у всіх сферах економіки, що також відбилося в будівельній індустрії впровадженням істотних технічних змін, наприклад, помітно змінилися співвідношення обсягів промислового та житлово-цивільного будівництва, зросла частка складних нетипових будівель і споруд.

Лідуючу позицію в технічному відношенні почав займати монолітний залізобетон, що дозволяє втілювати сміливі архітектурні ідеї. У той же час виробництво збірних залізобетонних конструкцій продовжує займати помітну частку в будівельній індустрії теперішнього часу. Значне підвищення висоти багатоповерхових житлових будинків, ускладнення конструктивних схем будівництва пред'являють підвищені вимоги до надійності залізобетонних конструкцій, які найчастіше входять в протиріччя з жорсткими вимогами до собівартості як самої залізобетонної конструкції в цілому, так і використовуваного прокату арматурного, що виводить на перший план економічні аспекти виробництва.

Як відомо, в сучасному промисловому і цивільному будівництві використовуються попередньо напружені і ненапружені залізобетонні

конструкції. Відповідно, вимоги до властивостей арматурного прокату в значній мірі залежать від типу залізобетонної конструкції. Ненапружений арматурний прокат використовується в якості робочої, конструктивної і монтажної арматури в звичайних будівельних конструкціях, а також у різних видах напружених конструкцій: від ажурних збірних до величезних монолітних гідротехнічних споруд, тому її сортамент, що випускається вітчизняною металургійною промисловістю знаходиться в діапазоні від 5,5 до 40 мм в номінальному діаметрі гладкого профілю та від 6,0 до 40 мм – періодичного профілю. Тому в цьому повідомленні далі річ піде про ненапружений арматурний прокат в прутках або мотках до якого за ДСТУ 3760:2019 відносять класи А240С, А400С, А500С, А500Е та А600С. Спосіб виготовлення арматурного прокату визначає виробник.

Згідно чинних вітчизняних будівельних правил [21-24] при проектуванні залізобетонних конструкцій, будівель і споруд повинні бути встановлені нормовані показники якості арматури, тому що арматурний прокат повинен забезпечувати надійність конструкцій при заданому навантаженні в різних умовах експлуатації і при різних температурах. Стандарт ДСТУ Б 8.2.6-154:2010 поширюється на елементи залізобетонних збірно-монолітних конструкцій будівель умовною висотою згідно з ДБН В.1.1-7 не більше 47 м (як правило, до 16 поверхів включно), поперечні перерізи яких складаються з попередньо виготовлених елементів (збірних елементів) і додатково укладених на місці використання конструкцій монолітного бетону (бетону замонолічування) і арматури. В залежності від службових властивостей ненапружений арматурний прокат поділяють на зварюваний (індекс С) та з підвищеною пластичністю (індекс Е). Для виробництва такого прокату зазвичай використовують низьковуглецеві та низьколеговані марки сталі в гарячекатаному стані або в термомеханічно зміцненому стані. Арматурний прокат класу А500Е може бути виготовлено способом холодної деформації з низьковуглецевої або низьколегованої сталі, яка мікролегована *Cr*, *V*, *Ni* та/чи *B* та відповідати класу В500С згідно вимогам *BS 4449:2005*. В стандарті ДСТУ 3760:2019 вимог до ненапруженого арматурного прокату по стійкості до корозії та вогнестійкості немає. Треба відзначити, що арматурний прокат класу А500Е з показником повного відносного видовження при максимальному навантаженні  $\delta_{\max} \geq 7,5\%$  є сучасним конкурентоспроможним видом вітчизняної готової металопродукції. В світі та Європі для виготовлення гарячою прокаткою високопластичного арматурного прокату (найвищої категорії пластичності «С» за *Єврокодом 2 EN 10080*) класу 500 Н/мм<sup>2</sup> і вище з показником  $\delta_{\max} \geq 7,5\%$  (сейсмічно стійкий), в основному, використовують леговану *V* і *Mo* низьковуглецеву сталь без застосування термічної обробки. В європейських країнах, наприклад в Італії, Іспанії,

Греції, Португалії та ін., застосування такого прокату, в тому числі в сейсмічно активних областях, закріплено державним законодавством [25]. Також арматурний прокат Grade *B500B* и *B500C* (категорії *B* и *C* по *Єврокоду 2*) виробляють способом холодної деформації (*cold stretched*) з гарячекатаного підкату періодичного профілю з вмістом вуглецю 0,18-0,2%.

На відміну від вітчизняного стандарту в Міждержавному стандарті ГОСТ 34028-2016 для країн Митного союзу чітко записано, що армування збірних залізобетонних конструкцій та монолітного залізобетону використовують також ненапружений арматурний прокат в прутках або мотках класу A240 – гладкого профілю, A400, A500 або A600 – періодичного профілю. Сортамент арматурного прокату, що виготовляється за цим документом номінальним діаметром від 4,0 до 10,0 мм включно з інтервалом 0,5 мм, від 11,0 до 20 мм включно з інтервалом 1 мм, а також 22, 25, 28, 32, 36 та 40 мм. Додатковими вимогами дозволяється за згодою в замовленні постачати прокат діаметром понад 40 мм. Причому прокат в мотках виготовляють від 4,0 до 22 мм включно. Для виробництва такого прокату використовують низьковуглецеві (для класу A240 сталь типу Ст3) та низьколеговані марки сталі, які мікролегуєть *V*, *Nb*, *Mo* або додають елементи *Al*, *Ti*, *V*, *Nb*, що утворюють нітриди. Можна застосувати такі способи виробництва арматурного прокату: 1) гаряча прокатка гладкого або періодичного профілю без контрольованого охолодження в потоці прокатного стану; 2) гаряча прокатка періодичного профілю з контрольованим охолодженням в потоці прокатного стану; 3) холодна обробка мотків гарячекатаного гладкого круглого прокату з нанесенням періодичного профілю; 4) холодна обробка гарячекатаного прокату періодичного профілю; 5) холодна правка та різання прокату на прутки при розмотці мотків. Крім стандартного набору технічних вимог відповідно до розділу 5 класу A240, A400, A500 або A600 є додатковий набір технічних вимог відповідно до розділу 6: 1) по зварюваності усіма способами зварювання – індекс С; 2) категорій пластичності підвищеної (індекс Н для класу A400, A500 та A600  $\delta_{\max} \geq 5,0$  %) та високої (індекс Е для класу A400, A500 та A600  $\delta_{\max} \geq 7,0$  % – для сейсмічно стійкого прокату); 3) по тривкості до корозійного розтріскування під напругою (індекс К – гарантоване забезпечення тривкості до корозійного розтріскування протягом 40 годин); 4) вимоги до витривалості при багаторазово повторюваних циклічних навантаженнях – індекс У; 5) вимоги по релаксації напружень – індекс Р. Таким чином в цьому нормативному документі на виробництво арматурного прокату, зокрема, ненапруженого, сформульовано ключові аспекти принципу врахування вимог споживачів прокату арматурного:

*Фундаментальні та прикладні проблеми чорної металургії. – 2020. – Випуск 34 «Fundamental'nye i prikladnye problemy černoj metallurgii». – 2020. – Vypusk 34 «Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy». – 2020. – Collection 34*

1. Підвищення міцності прокату арматурного з можливістю забезпечення високої пластичності, яка повинна бути не нижче, ніж у Eurocode 2 («В» і «С») за умови забезпечення високих експлуатаційних властивостей не нижче світових стандартів.

2. Способи зміцнення прокату повинні визначатися виробником, а формування комплексу міцнісних властивостей прокату арматурного має забезпечуватися при рівномірному характері розподілу напружень без їх градієнтів по перетину і довжині прокату (в особливості для сейсмічно стійкого арматурного прокату).

3. Діаметр бухтової арматури повинен лежати в діапазоні від 4 до 10 мм з інтервалом в 0,5 мм, а з розмірного ряду від 10 до 22 мм з інтервалом в 1,0 мм; для інших розмірів з гарантованим мінусовим полем допуску відповідно до діючих нормативів.

4. Геометричні параметри періодичного профілю повинні забезпечити ефективність при механізованій переробці арматурного прокату в арматурні вироби і необхідні показники зчеплення при виключенні додаткового перерахунку проектів по анкерівці арматури.

5. Зварюваність прокату арматурного повинна бути забезпечена не тільки низьким вмістом вуглецю, а й вмістом необхідних легуючих елементів, склад і частка яких визначена способом зміцнення прокату. При цьому треба пам'ятати, що за кордоном зварювання арматури зі сталей-аналогів марки Ст3 за ГОСТ 380-2005 обмежена або заборонена.

6. Прокат арматурний повинен бути корозійностійким (як мінімум в середньоагресивних середовищах), хладостійкий до  $-50^{\circ}\text{C}$  і вогнестійким до  $500^{\circ}\text{C}$ .

7. Виробництво і застосування арматурного прокату має здійснюватися з мінімальними енергетичними і трудовими затратами, а також повинно забезпечувати можливість підвищення безпеки виконання арматурних робіт.

Реалізація перерахованих вимог споживача в стандарті ГОСТ 34028-2016 забезпечує швидкі і довгострокові економічні (комерційні) перспективи для будь-якого будівельного комплексу при застосуванні такого арматурного прокату для виробництва ненапружених залізобетонних конструкцій.

В роботі [26] досліджували на відповідність термічно зміцненого арматурного прокату класу А500С діаметрів 12, 18 і 32 мм зі сталей марок Ст3пс, Ст3Гпс, Ст3Гсп та 18Г2С (була додатково мікролегована ванадієм) до додаткового набору технічних вимог розділу 6 за ГОСТ 34028-2016. Відповідно до СП 28.13330.2012 п. 5.4.13 [27], ГОСТ 31384 [28] і ГОСТ 34028 [18] в залізобетонних конструкціях без попереднього напруження, що експлуатуються в середньо- і сільноагресивних середовищах, допускається застосування арматури класу А500С, що витримала

випробування на стійкість до корозійного розтріскування за ГОСТ 31383 протягом не менш 40 годин, при напруженнях в навантажених стрижнях, рівних  $0,9\sigma_{0,2}$ . Результати випробувань на корозійне розтріскування показали, що увесь досліджений термічно зміцнений арматурний прокат класу А500С всіх досліджених діаметрів і марок сталі відповідає вимогам СП 28.13330.2012, ГОСТ 31383 [29] для конструкцій без попереднього напруження (не менше 40 год. до руйнування).

Відповідно до нормативних документів, наприклад РФ, будівельні конструкції, в тому числі і залізобетонні, крім міцності і деформаційних параметрів характеризуються також такими показниками, як вогнестійкість і вогнезбереження. Границі вогнестійкості будівельних конструкцій і їх умовні позначення встановлюють за ГОСТ 30247.1 [30]. Показником вогнестійкості є границя вогнестійкості. Границя вогнестійкості будівельних конструкцій встановлюється за часом у хвилинах настання одного або послідовно декількох, нормованих для даної конструкції, ознак граничних станів:

- втрати несучої здатності  $R$ ;
- втрати теплоізолюючої здатності  $I$ ;
- втрати цілісності  $E$ .

Будинки і споруди, а також їх частини, виділені протипожежними стінами і перекриттями (пожежні відсіки), поділяються за ступенями вогнестійкості:

- особлива – багатофункціональні, висотні будинки та будинки-комплекси;
- I ступінь – огорожувальні конструкції виконані з залізобетону і застосовуються листові і плитні негорючі матеріали;
- II ступінь – покриття виконані з сталевих конструкцій;
- III ступінь – застосовані перекриття дерев'яні, захищені штукатуркою або негорючим листовим, плитним матеріалом, а також для будівель каркасного типу з елементами каркаса із сталевих конструкцій і з огорожувальними конструкціями з листів або інших негорючих матеріалів з слабогорючим утеплювачем групи Г1.

Границя вогнестійкості будинків і споруди, протипожежних перешкод (стіни і перекриття) для будівель особливого ступеня вогнестійкості встановлюють  $REI 180$ ; при висоті будівлі понад 100 м –  $REI 240$ ; для будівель I, II і III ступенів вогнестійкості –  $REI 150$ .

При високотемпературному вогневого впливу, як і після нього, властивості арматури, закладеної в конструкції, змінюються. Ця зміна опору арматури розтягування і стиснення з підвищенням температури враховують коефіцієнтом умов роботи  $\gamma_{st}$ , зміна модуля пружності – коефіцієнтом  $\beta_s$ . Відомо, що в охолодженому стані після нагрівання до певного порядку температур арматурні сталі частково або повністю



відновлюють механічні властивості. На підставі раніше проведених досліджень прийнято вважати, що з підвищенням температури впливу і після охолодження відбувається необоротне зниження механічних властивостей арматури: для гарячекатаної арматури – після нагрівання понад 600 °С, для термічно зміцненої арматури – після нагрівання понад 400 °С, для холоднотягнутої дроту – після нагрівання понад 300 °С [31, 32]. Встановлено, що термічно зміцнений арматурний прокат класу А500С зі сталі марки 18Г2С, яка була мікролегована V показала кращі результати по критерію вогнестійкості в порівнянні з таким же прокатом зі сталі Ст3пс. Автори роботи роблять висновок про недостатнє легування сталі марки Ст3пс кремнієм і марганцем та мікролегуванням ванадієм – елементами, які підвищують температуру початку рекристалізації.

За кордоном, а в останній час і в Російській Федерації все більш використовується в якості ненапруженого корозійностійкого та вогнестійкого арматурний прокат з нержавіючих марок сталей [33-35]. Саме завдяки тому, що нержавіючий арматурний прокат має високий опір корозійному руйнуванню і високим температурам його варто використовувати при зведенні будівель і споруд різного спрямування, забезпечивши їх тим самим високою надійністю і практичністю. Нержавіючими називаються сталі, що мають високу стійкість проти корозії в атмосферних умовах і деяких газових середовищах, річкової і морській воді, розчинах солей, лугів і деяких кислот при кімнатній і підвищеній температурах.

Нержавіючу сталь поділяють на групи, що залежить від мікроструктури матеріалу:

1. Мартенситна (феритна), які використовуються не для проведення армування, оскільки відрізняються низьким рівнем корозійної стійкості.

2. Аустенітна, яка відрізняється високим рівнем корозійної стійкості, міцністю, зручністю формування. Цей тип використовується найчастіше при армуванні залізобетонних споруд.

3. Дуплекс, що поєднує в собі одночасно властивості феритної і аустенітної сталей, однак вимоги до обробки цієї сталі значно вище.

Найбільш вигідно використовувати в будівництві арматурний прокат з нержавіючої (аустенітної) сталі. До основних переваг можна віднести не тільки сама якість матеріалу, але і використовувані при виробництві нержавіючої сталі сучасні технології. Арматурний прокат з нержавіючої сталі має в своєму складі різноманітні легуючі елементи, включаючи нікель, хром і молібден, що призводить до значного поліпшення антикорозійних властивостей та вогнестійкості [34].

Опір нержавіючої сталі до корозії безпосередньо залежить від вмісту хрому: при його вмісті 13 % і вище сплави є нержавіючими в звичайних умовах і в слабоагресивних середовищах, більше 17 % –

корозійностійкими і в більш агресивних окисних та інших середовищах, зокрема, в азотній кислоті міцністю до 50 %. Причина корозійної стійкості нержавіючої сталі пояснюється, головним чином, тим, що на поверхні сталевого матеріалу, що містить хром і контактує з агресивним середовищем, утворюється тонка плівка нерозчинних окислів, при цьому велике значення має стан поверхні матеріалу, відсутність внутрішніх напружень і кристалічних дефектів. За хімічним складом нержавіючі сталі діляться на: хромисті (мартенситні, напівферитні, феритні), хромонікелеві (аустенітні, аустенітно-феритні, аустенітно-мартенситні, аустенітно-карбідні) і хромомарганцевонікелеві (аустенітні, аустенітно-феритні, аустенітно-мартенситні, аустенітно-карбідні).

Розрізняють аустенітні нержавіючі сталі, які схильні до міжкристалітної корозії, і стабілізовані – з добавками Ti і Nb. Значне зменшення схильності нержавіючої сталі до міжкристалітної корозії досягається зниженням вмісту вуглецю (до 0,03 %). Широке поширення набули сплави заліза і нікелю, в яких за рахунок нікелю аустенітна структура заліза стабілізується, а сплав перетворюється в слабомагнітний матеріал. Основною перевагою сталей аустенітного класу є їх високі службові характеристики (міцність, пластичність, корозійна стійкість в більшості робочих середовищ, вогнестійкість) та хороша технологічність.

До такого класу належить марка сталі AISI 304. Ця марка є однією з найвідоміших завдяки своїй універсальності. До додаткових переваг сталі відносять високий рівень кислотостійкості і можливість витримувати температуру, що піднімається до 900 °С, тобто ще й вогнестійка [35].

Марка сталі AISI 304 (табл. 1) є основою в сімействі нержавіючих сталей з вмістом 8 % Ni і 18 % Cr, що забезпечує формування на поверхні матеріалу оксидного шару, який додає сталі стійкість до впливу на матеріал різних хімічних речовин. Крім того, таке співвідношення елементів дозволяє також виявляти у сталі антиферромагнітні властивості.

Таблиця 1 – Хімічний склад марки сталі AISI 304

Вміст хімічних елементів, %							
C	Cr	Mn	Ni	Cu	P	S	Fe
≤0,08	18–20	≤2,0	8,0–10,5	≤1	≤0,045	≤0,03	66,345–74

В табл. 2 наведені світові торговельні марки нержавіючого арматурного прокату та відповідні найменування сталі. В табл. 3 в якості прикладу наведено хімічний склад арматурного прокату з нержавіючої сталі, а в табл. 4 механічні властивості такого прокату за стандартом Великої Британії *BS 6744:2016*.

Таблиця 2 – Світові торговельні марки нержавіючого арматурного прокату та відповідні найменування сталі

Відповідне найменування сталі (позначення)						
Марка сталі	Найменування	Позначення США	Позначення РФ	Позначення Великої Британії	Позначення Німеччини	Позначення Франції
1.4301	X5CrNi18-10	304/304H/304N	08X18H10	304 S11 304 S15 304 S16 304 S17 304 S31 LW 21 LWCF 21	W.Nr.1.4301 X5CrNi 18-10 (X4CrNi 18 10)	Z4CN 19-10 FF Z5CN17-08 Z6CN18-09 Z7CN18-09
1.4436	X3CrNiMo17-13-3	316	EA-1M2	316 S33	W.Nr.1.4436 X3CrNiMo 17-13-3 (X5CrNiMo 17-13-3)	Z6CND18-12-03 Z7CND18-12-03
1.4571	X6CrNiMo17-12-2	316Ti	10X17H13M2T	320 S18 320 S31	W.Nr.1.4571 X6CrNiMoTi17-12-2	Z6CNDT 17-12
1.4362	X2CrNiN23-4	SAF2304	-	-	W.Nr.1.4362 X2CrNiN 23-4	Z3CN23.04Az
1.4462	X2CrNiMoN22-5-3	SAF2205	-	318 S13	W.Nr.1.4462 X2CrNiMoN22-5-3	Z3CND22-05Az (Z3CND25-06-03Az)

Таблиця 3 – Хімічний склад арматурного прокату з нержавіючої сталі за стандартом Великої Британії BS 6744:2016

Марка сталі	Масова частка хімічних елементів, %, не більше або в межах								
	C	Si	Mn	S	Cr	Ni	Mo	P	N
1.4301	0,07	1,0	2,0	0,03	17,0-19,5	8,0-10,5	-	0,045	0,11
1.4436	0,05	1,0	2,0	0,015	16,5-18,5	10,5-13,0	2,5-3,0	0,045	0,11
1.4429	0,03	1,0	2,0	0,015	16,5-18,5	11,0-14,0	2,5-3,0	0,045	0,12-0,22
1.4162	0,04	1,0	4,0-6,0	0,015	21,0-22,0	1,35-1,75	0,1-0,8	0,040	0,20-0,25
1.4362	0,03	1,0	2,0	0,015	22,0-24,0	3,5-5,5	0,1-0,6	0,035	0,05-0,20
1.4462	0,03	1,0	2,0	0,015	21,0-23,0	4,5-6,5	2,5-3,5	0,035	0,10-0,22
1.4501	0,03	1,0	1,0	0,015	24,0-26,0	6,0-8,0	3,0-4,0	0,035	0,20-0,30
1.4529	0,02	0,50	1,0	0,010	19,0-21,0	24,0-26,0	6,0-7,0	0,030	0,15-0,25

Фундаментальні та прикладні проблеми чорної металургії. – 2020. – Випуск 34  
 «Fundamental'nye i prikladnye problemy černoj metallurgii». – 2020. – Выпуск 34  
 «Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy». – 2020. – Collection 34

Таблиця 4 – Механічні властивості арматурного прокату за стандартом Великої Британії *BS 6744:2016*

Клас арматурного прокату	Механічні властивості, не менш			
	$\sigma_{0,2}$ , Н/мм <sup>2</sup>	Відношення $\sigma_B/\sigma_{0,2}$	$\delta_5$ , %	$\delta_{max}$ , %
200	200	1,10	22,0	5,0
500	500	1,10	14,0	5,0
650	650	1,10	14,	5,0

В табл. 5 наведені способи сучасного виробництва та поставки нержавіючого арматурного прокату у світі.

Таблиця 5 – Розмірний ряд нержавіючого арматурного прокату

Номер сплаву за Єврокодом	Загальний опис	Спосіб виробництва	Розмір, мм
1.4301	304	Холоднокатаний	3-16
1.4301	304	Гарячекатаний	20-50
1.4436	316	Холоднокатаний	3-16
1.4571	316ti	Холоднокатаний	3-16
1.4362	Дуплекс	Холоднокатаний	6-12
		Гарячекатаний	12-32
1.4462	Дуплекс	Гарячекатаний	16-40

В РФ аналогам сталі AISI 304 відповідно до ГОСТа відносяться сталі марок 08X18H10 і 03X18H11. Нержавіючий арматурний прокат у світі виробляють за міжнародними, європейськими та національними стандартами країн-виробників такого прокату. Наприклад, за Британським стандартом *BS 6744:2016*, *BS 8666* (клас міцності 500), стандартом Норвегії *Kontrollradet* клас міцності 500. Згідно до німецького стандарту *Zulassung Z-1.4-80*, який набрав чинності 31 серпня 2018 р., арматурний прокат з нержавіючої сталі марки 1.4571 (за стандартом *DIN EN 10088-3:2014-12*) виготовляють у мотках та прутках способом холодного деформування наступних діаметрів: 6, 8, 10, 12 та 14 мм класу міцності *B500B NR*.

Сталь AISI 304 також застосовується при виготовленні бункерів, димарів, вентиляційних систем, випарників, хірургічної техніки, при створенні фільтрів для свердловин, судового обладнання, труб, текстильної техніки, для виробництва обладнання для харчових підприємств, підприємств хімічної галузі, в архітектурній галузі.

Стандартами передбачено виготовлення нержавіючого арматурного прокату періодичного профілю наступних номінальних діаметрів: 3-8 мм з інтервалом 1 мм; 10, 12, 14, 16, 20, 25, 32, 40 и 50 мм.

В табл. 6. наведено механічні властивості нержавіючого арматурного прокату різних класів, які виробляють за стандартами Великої Британії та

Німеччини. Варто зазначити, що хімічний склад всіх сплавів відповідає європейським стандартам якості EN10088-5, що гарантує його практичність і високі антикорозійні властивості.

Можна навести як приклад застосування арматурного прокату з нержавіючої сталі в світі в останній час:

- У Данії за допомогою арматурного прокату з нержавіючої сталі були зведені мости *Motorring 3*, термін служби яких досягає 75 років. Завдяки їх використанню вдалося заощадити мільйони датських крон.

- Міст *Shenzen*, що з'єднує материковий Китай з Гонконгом, також був побудований за допомогою нержавіючої арматури. Гарантують, що в найближчі 100-120 років ремонт основних запчастин буде виключений.

- У м. Блекпул (Англія) арматурний прокат з нержавіючої сталі використовували при будівництві нової дамби, яку раніше доводилося постійно ремонтувати через корозію, що з'являлася на передній стінці дамби. Застосування нержавіючої арматури є мудрим рішенням, здатним заощадити значну частину коштів.

- В Абу-Дабі виникла необхідність побудови одночасно якісної, недорогої автодороги, термін служби якої склав би не менше 100 років. Проектувальниками було вирішено використовувати нержавіючу арматуру, що дозволило б в найкоротші терміни звести практичну і не боїться негативних факторів зовнішнього середовища дорогу.

Таблиця 6 – Механічні властивості нержавіючого арматурного прокату деяких закордонних виробників

Механічні властивості	Стандарт Великої Британії	Стандарт Німеччини	
Клас	1.4301, 1.4436, 1.4362, 1.4462	1.4571	
Вид арматурного прокату	Мотки, Прутки	Мотки	Прутки
$\sigma_{0,2}$ , Н/мм <sup>2</sup>	≥500	≥510	≥500
$\sigma_B$ , Н/мм <sup>2</sup>	-	≥550	≥550
Відношення			
$\sigma_B/\sigma_{0,2}$	≥1,1	≥1,08	≥1,08
$\delta_{\max}$ , %	≥5,0	≥5,0	≥5,0
$\delta_5$ , %	≥14,0	≥16,0	≥15,0
Границя втомної міцності в забетонованому стані без руйнування, Н/мм <sup>2</sup> при амплітуді коливань $2\sigma_A$ ( $2 \times 10^6$ ) та навантажені $-0,6\sigma_{0,2}$		175	175
Випробування на згин в холодному стані	так	так	так

До переваг матеріалу можна віднести:

1. Грамотне співвідношення ціни і якості матеріалу, незважаючи на те, що нержавіюча сталь коштує дорожче за звичайну сталь, її використання в довгостроковій перспективі стає найбільш економічно вигідним рішенням.

2. Використання арматури з нержавіючої сталі дозволяє гарантувати надійність та довговічність споруд в цілому.

3. Використання сучасних технологій виробництва нержавіючого арматурного прокату, починаючи з додавання ефективних та якісних легуючих елементів і добавок при виробництві рідкої сталі й ефективних способів обробки металу тиском, що дозволяє гарантувати збереження матеріалу від корозії та високої температури при пожежі.

### **Висновки.**

1. Проведено аналіз сучасного стану виробництва корозійностійкого і вогнестійкого ненапруженого арматурного прокату у світі і в Україні.

2. Показано, що в світі для виробництва ненапруженого арматурного прокату з підвищеним опором корозії і вогнестійкості застосовують гарячу прокатку низьколегованих і мікролегованих (*V* і *Mo*) сталей або способом холодної деформації (*cold stretched*) з гарячекатаного підкату періодичного профілю з цих сталей.

3. Альтернативним способом виробництва корозійностійкого і вогнестійкого ненапруженого арматурного прокату є використання в якості матеріалу нержавіючої сталі. При всіх перевагах такого арматурного прокату з нержавіючої сталі вартість його більша в порівнянні з прокатом з низьколегованої і мікролегованої сталі.

4. На жаль в Україні виробництва корозійностійкого і вогнестійкого ненапруженого арматурного прокату немає.

### **Перелік посилань**

1. *Steel Statistical Yearbook 2019 / World Steel Association.* – [Електронний ресурс]. Режим доступу :<https://www.worldsteel.org/media-centre/press-releases/2020/Global-crude-steel-output-increases-by-4.6--in-2019.html>
2. *Україна в світовому металургійному виробництві у 2019 р.* – [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.ukrmetprom.org/ukraine-v-svitovomu-metalurgijnomu-v-7>.
3. *Одесский П. Д.* Современные стали для строительных металлических конструкций и вопросы экономической эффективности / П.Д. Одесский // *Сталь.* – 2018. – №12. – С. 57-61.
4. *Коновалов О.Ф.* Системный підхід до моніторингу корозії та захисту металевих конструкцій / О.Ф. Коновалов, О.А. Риженков, В.П. Корольов // *Фізико-хімічна механіка матеріалів.* – 2004. – № 5. – С. 99-103.
5. *Коррозия и защита металлов.* – Екатеринбург: УрФУ, 2015. – 90 с.

6. *Сталь для газонефтепроводных труб, стойких против разрушения в сероводородных средах.* – М.: Металлургиздат, 2017. – 322 с.
7. *Основы электрохимической коррозии металлов и сплавов.* – М.: МАДИ, 2016. – 148 с.
8. *Готтштейн Г.* Физико-химические основы материаловедения / Г. Готтштейн. – М.: БИНОМ, 2014. – 403 с.
9. *Пахомов В.С.* Коррозия металлов и сплавов: в 2-х кн. / В.С. Пахомов. – М.: Наука и технология, 2013. Кн.1. – 2013. – 448 с. Кн. 2. – 2013. – 544 с.
10. *Пачурин Г.В.* Коррозионная долговечность изделий из деформационно-упрочненных металлов и сплавов. / Г.В. Пачурин. – СПб: Лань, 2014. – 160 с..
11. *Березовская В.В.* Коррозионно-стойкие стали и сплавы. – Екатеринбург: УрФУ, 2019. – 244 с.
12. *Лазуткина О.Р.* Химическое сопротивление и защита от коррозии / О.Р. Лазуткина. – Екатеринбург: УрФУ, 2014. – 140 с.
13. *Домов Д.В.* Влияние ванадия на механические и потребительские свойства свариваемой арматурной стали классов прочности А500С и А600С / Д.В. Домов, И.И. Франтов, А.Н. Серегин [и др.]. // *Металлург.* – 2015. – №10. – С. 65-69.
14. *Домов Д.В.* Критерии оценки свариваемости арматурных сталей / Д.В. Домов, И.И. Франтов, А.Н. Борцов [и др.]. // *Металлург.* – 2015. – №5. – С. 58-62.
15. *Ланская К.А.* Жаропрочные стали / К.А. Ланская. – М.: Металлургиздат, 1969. – 246 с.
16. *Приданцев М.В.* Стали для котлостроения / М.В. Приданцев, К.А. Ланская. – М.: Металлургиздат, 1959. – 256 с.
17. *СТО 36554501-006-2006.* Правила по обеспечению огнестойкости и огнесохранности железобетонных конструкций. – М.: ОАО «НИЦ Строительство», 2008. – 78 с.
18. *ГОСТ 34028-2016.* Межгосударственный Стандарт. «Прокат арматурный для железобетонных конструкций». – М.: Стандартинформ, 2019. – 76 с.
19. *ДСТУ 3760:2019* «Прокат арматурний для залізобетонних конструкцій. Загальні технічні умови».
20. *ДСТУ EN 10080* «Сталь для армування бетону. Зварювальна арматурна сталь. Загальні технічні умови».
21. *ДБН В. 2.6-98:2009* Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення.
22. *ДСТУ Б В.2.6.-156:2010* Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування.
23. *ДСТУ Б 8.2.6-154:2010* Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Збірно-монолітні конструкції. Правила проектування.
24. *ДСТУ-Н Б EN 1992-1-2:2012 Єврокод 2.* Проектування залізобетонних конструкцій. Частина 1-2. Загальні положення. Розрахунок конструкцій на вогнестійкість (EN 1992-1-2:2004, IDT).
25. *Харитонов Вик.А.* Современные тенденции развития арматурного проката для ненапряженного железобетона: Европа – Россия / Вик. А. Харитонов, В.А. Харитонов, S. Naхhaiaj // *Стройметалл.* – 2011. – № 2. – С. 8-20.

26. *Хамичонок В.В.* Разработка технологии производства арматурного проката класса А500 с комплексом дополнительных свойств по ГОСТ 34028-2016 в условиях АО ЕВРАЗ ЗСМК / В.В. Хамичонок, Н.Г. Матвеев, И.А. Мирочник, Е.В. Чинокалов // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. – 2019. – Т. 75. – № 6. – С. 711-717.
27. *СП 28.13330.2012* Защита строительных конструкций от коррозии. Актуализированная редакция СНиП 2.03.11–85 (с Изменениями № 1, 2).
28. *ГОСТ 31384–2008* Защита бетонных и железобетонных конструкций от коррозии. Общие технические требования.
29. *ГОСТ 31383–2008* Защита бетонных и железобетонных конструкций от коррозии. Методы испытаний.
30. *ГОСТ 30247.1–94* Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость. Несущие и ограждающие конструкции.
31. *Мулин Н.М.* Стержневая арматура железобетонных конструкций / Н.М. Мулин. – М.: Стройиздат, 1975. – 233 с.
32. *Кугушин А.А.* Высокопрочная арматурная сталь / [А.А. Кугушин, И.Г. Узлов, В.В. Калмыков и др.]. – М.: Металлургия, 1986. – 272 с.
33. *Европейский стандарт EN 1992-1-1:2004 (Е).* Еврокод 2: Проектирование железобетонных конструкций. Часть 1-1. Общие правила и правила для зданий.
34. *EN 10088-5* Стали нержавеющие. Часть 5. Технические условия поставки прутков, катанки, протянутой проволоки, профилей и изделий с улучшенной отделкой поверхности из коррозионностойких сталей для строительства.
35. *EN 1992-1-2* Structural Fire Design.

### References

1. Steel Statistical Yearbook. (2019). World Steel Association. Retrieved from: <https://www.worldsteel.org/media-centre/press-releases/2020/Global-crude-steel-output-increases-by-4.6--in-2019.html>
2. *Ukrayina v svitovomu metalurhiynomu vyrobnytstvi u 2019 r* [Ukraine in world metallurgical production in 2019]. Retrieved from: <https://www.ukrmetprom.org/ukraina-v-svitovomu-metalurgiynomu-v-7>. [In Ukrainian].
3. *Odesskiy P.D.* (2008). *Sovremennyye stali dlya stroitelnykh metallicheskih konstruktsiy i voprosy ekonomicheskoy effektivnosti* [Modern steels for building metal structures and issues of economic efficiency]. *Stal [Steel]*, 2018, 12, 57-61. [In Russian].
4. *Konovalov O.F., Ryzhenkov O.A. & Korolov V.P.* (2004). *Systemny pidkhid do monitorynhu koroziyi ta zakhystu metalevykh konstruktsiy* [System approach to corrosion monitoring and protection of metal structures]. *Fizyko-khimichna mekhanika materialiv [Physicochemical mechanics of materials]*, 2004, 5, 99-103. [In Ukrainian].
5. *Yaroslavtseva O. V., Ostanina T. N., Rudoy V. M. & Murashova I. B.* (2015). *Korozhiya i zashchita metallov*. Yekaterinburg: UrFU, 2015, 90. [In Russian].
6. *Shabalov I. P., Matrosov YU. I., Kholodnyy A. A., Matrosov M. YU. & Velikodnev V.YA.* (2017). *Stal dlya gazonefteprovodnykh trub, stoykikh protiv*



- razrusheniya v serovodorodnykh sredakh [Steel for oil and gas pipes resistant to destruction in hydrogen sulfide environments].* Moskva: Metallurgizdat, 2017, 322. [In Russian].
7. Petrova L. G., Timofeyeva G.YU., Demin P. Ye. & Kosachev A. V. (2016). *Osnovy elektrokhimicheskoy korrozii metallov i splavov [Fundamentals of electrochemical corrosion of metals and alloys]*. Moskva: MADI, 2016. 148 p. [In Russian].
  8. Gottshyteyn G. (2014). *Fiziko-khimicheskiye osnovy materialovedeniya [Physical and chemical foundations of materials science]*. Moskva: BINOM, 2014, 403. [In Russian].
  9. Pakhomov V.S. (2013). *Korroziya metallov i splavov [Corrosion of metals and alloys]*. (Vols. 1-2). Moskva: Nauka i tekhnologiya, 2013. [In Russian].
  10. Pachurin G.V. (2014). *Korrozionnaya dolgovechnost izdeliy iz deformatsionno-uprochnennykh metallov i splavov [Corrosion durability of products made of strain-hardened metals and alloys]*. Sankt-Peterburg: Lan, 2014, 160. [In Russian].
  11. Berezovskaya V.V. (2019). *Korrozionno-stoykiye stali i splavy [Corrosion-resistant steels and alloys]*. Yekaterinburg: UrFU, 2019, 244. [In Russian].
  12. Lazutkina O.R. (2014). *Khimicheskoye soprotivleniye i zashchita ot korrozii [Chemical resistance and corrosion protection]*. Yekaterinburg: UrFU, 2014, 140. [In Russian].
  13. Domov D.V., Frantov I.I. & Seregin A.N. et al. (2015). Vliyaniye vanadiya na mekhanicheskiye i potrebitelskiye svoystva svarivayemoy armaturnoy stali klassov prochnosti A500S i A600S [The influence of vanadium on the mechanical and consumer properties of welded reinforcing steel of strength classes A500C and A600C]. *Metallurg [Metallurgist]*, 2015, 10, 65-69. [In Russian].
  14. Domov D.V., Frantov I.I. & Bortsov A.N. et al. (2015). Kriterii otsenki svarivayemosti armaturnykh staley [Criteria for assessing the weldability of reinforcing steels]. *Metallurg [Metallurgist]*, 2015, 5, 58-62. [In Russian].
  15. Lanskaya K.A. (1959). *Zharoprochnyye stali [Heat-resistant steels]*. Moskva: Metallurgizdat, 1969, 246 p. [In Russian].
  16. Pridantsev M.V. & Lanskaya K.A. (1959). *Stali dlya kotlostroyeniya [Steel for boiler building]*. Moskva: Metallurgizdat, 1959, 256 p. [In Russian].
  17. Pravila po obespecheniyu ognestoykosti i ognesokhrannosti zhelezobetonnykh konstruksiy [Rules for ensuring fire resistance and fire safety of reinforced concrete structures]. (2008). *STO 36554501-006-2006*. Moskva: OAO «NITS Stroitelstvo», 2008, 78 p. [In Russian].
  18. Mezhsudarstvennyy Standart. Prokat armaturnyy dlya zhelezobetonnykh konstruksiy [Reinforcing rolled products for reinforced concrete constructions. Specifications]. (2019). *GOST 34028-2016*. Moskva: Standartinform, 76p. [In Russian].
  19. Prokat armaturnyy dlya zalizobetonnykh konstruksiy. Zahalni tekhnichni umovy [Rolled products for reinforcement of ferroconcrete structures. General specification]. (2019). *DSTU 3760:2019*. Kyiv: DP "UkrNDNTS". [In Ukrainian].
  20. Stal dlya armuvannya betonu. Zvaryvalna armaturna stal. Zahalni tekhnichni umovy [Steel for reinforcement of concrete. Weldable reinforcing steel. General specification]. (2012). *DSTU EN 10080:2009*. Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrayiny, 49 p. [In Ukrainian].

21. Konstruktsiyi budynkiv i sporud. Betonni ta zalizobetonni konstruktsiyi. Osnovni polozhennya. [Structures of buildings and erections. Concrete and reinforced-concrete structures. Design rules]. (2011). *DBN V. 2.6-98:2009*. Kyiv: Minrehionbud Ukrayiny, 71p. [In Ukrainian].
22. Konstruktsiyi budynkiv i sporud. Betonni ta zalizobetonni konstruktsiyi z vazhkohe betonu. Pravyla proektuvannya. [Structures of buildings and erections. Concrete and reinforced-concrete structures. Design rules]. (2011). *DSTU B V.2.6.-156:2010*. Kyiv: Minrehionbud Ukrayiny, 118 p. [In Ukrainian].
23. Konstruktsiyi budynkiv i sporud. Betonni ta zalizobetonni konstruktsiyi. Zbirno-monolitni konstruktsiyi. Pravyla proektuvannya [Structures of buildings and erections. Concrete and reinforced-concrete structures. Prefabricated-monolithic structures. Design rules]. (2011). *DSTU B 8.2.6-154:2010*. Kyiv: Minrehionbud Ukrayiny. [In Ukrainian].
24. Yevrokod 2. Proektuvannya zalizobetonnykh konstruktsiy. Chastyna 1-2. Zahalni polozhennya. Rozrakhunok konstruktsiy na vohnestiykist [Eurocode 2. Design of concrete structures. Part 1-2. General rules. Structural fire design]. (2014). *DSTU-N B EN 1992-1-2:2012 (EN 1992-1-2:2004, IDT)*. Kyiv: Minrehionbud Ukrayiny, 129p. [In Ukrainian].
25. Kharitonov Vik.A., Kharitonov V.A., & Haxhaij S. (2011). Sovremennyye tendentsii razvitiya armaturnogo prokata dlya nenapryazhennogo zhelezobetona [Modern tendencies of development of reinforcing rolled metal for unstressed reinforced concrete]. *Stroy metall: Yevropa – Rossiya, 2011*, 2, 8-20. [In Russian].
26. Khamichonok V.V., Matveyev N.G., Mirochnik I.A. & Chinokalov Ye.V. (2019). Razrabotka tekhnologii proizvodstva armaturnogo prokata klassa A500 s kompleksom dopolnitelnykh svoystv po GOST 34028-2016 v usloviyakh AO YEVRAS ZSMK [Development of technology for the production of A500 class reinforcing bars with a complex of additional properties in accordance with GOST 34028-2016 in the conditions of JSC EVRAS ZSMK]. *Chernaya metallurgiya. Byulleten nauchno-tekhnicheskoy i ekonomicheskoy informatsii [Ferrous Metallurgy. Bulletin of Scientific, Technical and Economical Information]*, 2019, Vol. 75, 6, 711-717. [In Russian]. <https://doi.org/10.32339/0135-5910-2019-6-711-717>
27. Zashchita stroitelnykh konstruktsiy ot korrozii. Aktualizirovannaya redaktsiya SNIp 2.03.11–85 (s Izmeneniyami № 1, 2). [Protection against corrosion of construction Updated edition of SNIp 2.03.11-85 (with Amendments 1, 2)]. (2012). *SP 28.13330.2012*. Moskva: Minregion Rossii. [In Russian].
28. Zashchita betonnykh i zhelezobetonnykh konstruktsiy ot korrozii. Obshchiye tekhnicheskkiye trebovaniya. [Structural concrete and reinforced concrete protection against corrosion. General technical requirements]. (2010). *GOST 31384–2008*. Moskva: Standartinform. [In Russian].
29. Zashchita betonnykh i zhelezobetonnykh konstruktsiy ot korrozii. Metody ispytaniy. [Protection against corrosion of concrete and reinforced concrete constructions. Test methods]. (2010). *GOST 31383–2008*. Moskva: Standartinform. [In Russian].
30. Konstruktsii stroitelnyye. Metody ispytaniy na ognestoykost. Nesushchiye i ograzhdayushchiye konstruktsii [Elements of budding constructions. Fire-resistance

- test methods. Loadbearing and separating constructions]. (1995). *GOST 30247.1–94*. Moskva: MNTKS. [In Russian].
31. Mulin N.M. (1975). *Sterzhnevaya armatura zhelezobetonykh konstruktsiy [Reinforcement bars for reinforced concrete structures]*. Moskva: Stroyizdat, 1975, 233. [In Russian].
  32. Kugushin A.A., Uzlov I.G. & Kalmykov V.V. et al. (1986). *Vysokoprochnaya armaturnaya stal [High-strength reinforcing steel]*, Moskva: Metallurgiya, 1986, 272. [In Russian].
  33. Yevrokod 2: Projektirovaniye zhelezobetonykh konstruktsiy. Chast 1-1. Obshchiye pravila i pravila dlya zdaniy [Eurocode 2. Design of concrete structures. Part 1-1. General rules and regulations for buildings]. (2010). *EN 1992-1-1:2004 (Ye)*. Minsk. Tekhnicheskii kodeks ustanovivsheysya praktiki, 191p. [In Russian].
  34. Stali nerzhavayushchiye. Chast 5. Tekhnicheskiye usloviya postavki prutkov, katanki, protyanutoy provoloki, profiley i izdeliy s uluchshennoy otdelkoy poverkhnosti iz korrozionnostoykikh staley dlya stroitelstva [Stainless steels. Part 5: Technical delivery conditions for bars, rods, wire, sections and bright products of corrosion resisting steels for construction purposes]. (2019). *EN 10088-5:2009*. Kyiv: DP «UkrNDNTS». [In Ukrainian].
  35. Eurocode 2: Design of concrete structures. *EN 1992-1-2 (2004)*. Part 1-2: General rules. Structural Fire Design, 2004, 97p.

**V.G. Razdobreev**, К.Т.Н., С.Н.С., <https://orcid.org/0000-0001-7402-7992>

**D.G. Palamar**, М.Н.С., <https://orcid.org/0000-0002-9503-3248>

*Iron and Steel Institute Z. I. Nekrasov's of NASciences of Ukraine*

### **Modern trends in the production of corrosion-resistant and fire-resistant stress-free reinforcing bars**

**Summary** The aim of this work is to study modern methods of production of corrosion-resistant and fire-resistant stress-free reinforcing bars in the world. Non-stressed reinforcing bars are used as working, structural and assembly reinforcement in conventional building structures, as well as in various types of prestressed structures: from openwork prefabricated to huge monolithic hydraulic structures, therefore, its assortment produced by the domestic metallurgical industry in the range from 5,5 to 40 mm in the nominal diameter of a smooth profile and from 6,0 to 40 mm for a periodic profile. Recently, in the world, much attention is paid to the design and construction of buildings and structures with an improved complex of consumer properties, intended, in particular, for work in corrosive and fire hazardous environments. Such developments are not currently being conducted in Ukraine. In the world and in Europe, to increase corrosion resistance and fire resistance, as well as for the manufacture of seismically resistant reinforcing bars ( $\delta_{\max} \geq 7,5\%$ ), hot-rolled low-alloyed (additionally alloyed with V and Mo) and microalloyed steel grades without the use of heat treatment or cold-deformed (cold stretched) from hot rolled strip of periodic profile. In GOST 34028-2016 for the countries of the Customs Union, it is clearly stated that for the reinforcement of prefabricated reinforced concrete structures and monolithic reinforced concrete, unstressed reinforcing bars in bars or coils with a nominal diameter of 4,0 to 40 mm are also used for the production of such rolled products, low-carbon and low-alloy steel

grades are used, which microalloy V, Nb, Mo or add nitride-forming elements Al, Ti, V, Nb. In this case, either hot rolling or cold deformation or heat treatment in the flow of the rolling mill is used. An alternative way of producing corrosion-resistant and fire-resistant stress-free reinforcing bars in the world is the use of stainless steel as a material. Such profiled reinforcing bars are produced in the range of 3,0 to 50 mm by hot rolling or cold deformation. The use of modern technologies for the production of stainless steel reinforcing bars, starting with the addition of effective and high-quality alloying elements and additives in the production of liquid steel and effective methods of metal pressure treatment, which allows us to guarantee the material saving from corrosion and high temperatures in case of fire. A significant disadvantage of this rolled product is its rather high cost.

**Keywords: reinforcing bars, corrosion resistance, fire resistance, low-alloy and micro-alloy steel, stainless steel, hot rolling, cold deformation.**

**For citation:** *Razdobryeyev V.H., Palamar D.H.* Suchasni tendentsiyi vyrobnytstva koroziynostiykoho i vohnestiykoho nenapruzhenoho armaturnoho prokatu [Modern trends in the production of corrosion-resistant and fire-resistant unstressed reinforcement]. «*Fundamental'nye i prikladnye problemy černoj metallurgii*».[*Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy* ] 2020, 34. 170-189. [in Ukrainian] DOI 10.52150/2522-9117-2020-34-170-189

*Стаття надійшла до редакції збірника 23.10.20 року, пройшла внутрішнє і зовнішнє рецензування (Протокол засідання редакційної колегії збірника №3 від 22 грудня 2020 року)*