

Перчун Г.І., Івченко А.О., Амбразей М.Ю., Івченко О.В.

Використання холодної деформації розтягу для підвищення міцності арматурного прокату в технологіях виробництва готової продукції в мотках

Perchun H.I., Ivchenko A.O., Ambrazhei M.Y., Ivchenko O.V.

Using cold stretching deformation to increase the strength of rebars in coiled product manufacturing technologies

Анотація. Мета. Аналіз стану виробництва арматурного прокату (АП) для будівництва, а також існуючої інформації позитивного та негативного використання ефекту деформаційного зміцнення за рахунок холодної деформації розтягу сталевих стрижнів для застосування цих результатів у подальших розробках ефективної технології виробництва арматурного прокату в мотках. **Методика.** Аналітичні дослідження щодо використання холодної деформації розтягу сталевих стрижнів для підвищення його міцності, а також порівняння відомих технологій виробництва арматурного прокату в мотках класу міцності 500 Н/мм², які захищені патентами на винаходи на пострадянському просторі. **Результати.** Проаналізовано три найпоширеніших способи, які використовуються для підвищення міцності АП – легування сталі, термічна обробка та холодна деформація. Показано, що легування сталі, яке масово використовувалося з 60-х років минулого століття при виробництві гарячекатаного прокату, стає менш ефективним методом внаслідок суттєвого подорожчання продукції через значну вартість феросплавів. Для виробництва АП класу міцності А500С майже не використовується. Термічна обробка є найпоширенішим сучасним методом, який застосовується у процесі виготовлення АП по ДСТУ 3760:2019 класів міцності А500С, А600С, А800 та А1000. Метод зміцнення АП по ДСТУ EN 10080 шляхом холодної деформації (ХД) в Україні має менше поширення, хоча застосовується у світі понад 60 років. Цим методом в СРСР отримували арматуру класу А-IIIв, яку виготовляли з арматури А-III (ГОСТ 5781) шляхом деформації витягуванням (розтягом) на 3,5- 4,5%. Вона мала нормовану границю текучості ≥ 540 Н/мм², що відповідає класу А500 згідно сучасного ДСТУ 3760:2019. Розглянуто суть явища підвищення міцності сталі шляхом холодної деформації розтягу, сучасний стан виробництва АП в мотках та необхідність застосування деформації розтягу для забезпечення рівня класу міцності 500Н/мм². Проведено обговорення відомих рішень по виробництву АП в мотках з використанням холодної деформації розтягу, які захищені патентами. При цьому на реальних прикладах наведено, як позитивне, так і негативне застосування холодної деформації розтягу в технологіях виробництва готової продукції в мотках. **Наукова новизна.** Запропонована технологія та обладнання для виготовлення холоднодеформованого арматурного прокату в мотках з використанням холодної деформації розтягом, де всі 100% відсотків продукції піддаються зміцненню. Особливістю запропонованої технології є поєднання холодної деформації розтягом та фінішної операції механо-циклічної обробки, що додатково забезпечує високий рівень деформативності (пластичності) готової продукції. **Практична значущість.** Використання запропонованої технології та обладнання (лінії для виготовлення холоднодеформованого арматурного прокату в мотках) дозволить налагодити виробництво нового продукту (АП в мотках класу міцності 500 Н/мм² для залізобетону) з використанням холодної деформації розтягом, яка буде масово затребувана у повоєнній відбудові України.

Ключові слова: арматурний прокат, сталевий стрижень, холодна деформація розтягом, механічні властивості, границя текучості, клас міцності, механо-циклічна обробка.

Abstract. Purpose. To analyze the current state-of-the-art reinforcing bar (rebar) production for the construction industry, review existing data on the effects of strain hardening through cold stretching of steel rods, and apply these findings to the development of an effective technology for producing high-strength coiled rebar. **Methodology.** The research is based on an analytical study of using cold stretching deformation to increase the strength of steel rods. A comparative analysis of known patented technologies for producing 500 N/mm² strength class rebar in coils, particularly those developed in post-Soviet countries, was also conducted. **Findings.** The study analyzed three primary methods for strengthening rebar: alloying, heat treatment, and cold deformation. Alloying has become less cost-effective due to the high price of ferroalloys. Heat treatment is currently the most widespread method for producing high-strength rebar (grades A500C, A600C, etc.) according to DSTU 3760:2019. Cold deformation, while used globally for over 60 years and historically in the USSR to produce grade A-III_в rebar (equivalent to modern A500), is underutilized in Ukraine. The paper examines the principles of strengthening via cold stretching and reviews patented solutions for its application in coiled rebar production, presenting both positive and negative real-world examples. The necessity of applying stretch deformation to reliably achieve the 500 N/mm² strength class is established. **Originality.** The originality lies in the proposed technology and equipment for manufacturing cold-deformed coiled rebar. This process uniquely combines cold stretching deformation, which strengthens 100% of the product, with a final mechano-cyclical treatment. This combination not only increases strength but also ensures a high level of ductility in the finished product. **Practical value.** The implementation of the proposed technology will enable the domestic production of a new product: 500 N/mm² strength class coiled rebar for reinforced concrete. This product is poised to be in high demand and will play a significant role in the post-war reconstruction of Ukraine.

© Perchun H. I. - Ukrainian State University of Science and Technologies, Dnipro, Ukraine
Ivchenko A. O. – Ukrainian State University of Science and Technologies, Dnipro, Ukraine
Ambrazhei M. Yu. - Iron and steel institute of Z.I. Nekrasov of National Academy of Science of Ukraine, Dnipro, Ukraine
Ivchenko O. V. - Ukrainian State University of Science and Technologies, Dnipro, Ukraine



This is an Open Access article under the CC BY 4.0 license <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Key words: reinforcing bar, rebar, steel rod, cold stretching deformation, mechanical properties, yield strength, strength class, mechano-cyclical treatment.

Вступ. Арматурний прокат (АП) в сучасній термінології це сталеві стрижні періодичного профілю різного класу міцності, що являють собою складову залізобетону. Чим вище клас міцності АП, тим менша витрата сталі в будівництві. Для підвищення міцності арматурного прокату використовується три найпоширеніших способи – легування сталі, термічна обробка та холодна деформація. Легування сталі, яке масово використовувалося з 60-х років минулого століття при виробництві гарячекатаного АП, стає менш ефективним методом в наслідок суттєвого подорожчання продукції через значну вартість феросплавів. Цим методом виготовляється АП по ДСТУ 9130 класів міцності А400, А600, А800 та А1000. Для виробництва АП класу міцності А500С майже не використовується. Термічна обробка є найпоширенішим сучасним методом, який застосовується у процесі виготовлення АП по ДСТУ 3760 класів міцності А500С, А600С, А800 та А1000. Метод зміцнення АП по ДСТУ EN 10080 шляхом холодної деформації (ХД) в Україні має менше поширення, хоча застосовується у світі понад 60 років [1]. Цим методом в СРСР отримували арматуру класу А-IIIв, яку виготовляли з арматури А400 (А-III згідно з ГОСТ 5781) шляхом деформації витягуванням (розтягом) на 3,5-4,5%. Вона мала нормовану границю текучості більш ніж 540 Н/мм², що відповідає класу А500 згідно ДСТУ 3760. На останньому способі в цій аналітичній статті буде зосереджена основна увага. При цьому на реальних прикладах буде наведено, як позитивне, так і негативне застосування холодної деформації розтягу в технологіях виробництва продукції в мотках.

Мета роботи. Аналіз стану виробництва арматурного прокату для будівництва, а також існуючої інформації позитивного та негативного використання ефекту деформаційного зміцнення за рахунок

холодної деформації розтягу сталевих стрижнів для застосування цих результатів у подальших розробках ефективної технології виробництва арматурного прокату в мотках.

Методика. Аналітичні дослідження щодо використання холодної деформації розтягу сталевих стрижнів для підвищення його міцності, а також порівняння відомих технологій виробництва арматурного прокату в мотках класу міцності 500 Н/мм², які захищені патентами на винаходи на пострадянському просторі.

Суть підвищення міцності шляхом холодної деформації розтягом. Зміцнення низьковуглецевої сталі шляхом холодної пластичної деформації (при температурі навколишнього середовища) забезпечується наклепом. Зміцнення при холодній деформації настає внаслідок різкого збільшення щільності дислокацій та їхнього взаємного гальмування. Наклеп і пов'язане з ним переміщення та накопичення дислокацій супроводжується подрібненням структури, дробленням блоків мозаїчної структури та збільшенням кута розорієнтування між ними, створенням неоднорідних мікронапружень. В результаті пластичної деформації переважно піддається феритна складова сталі, цементит піддається головним чином пружній деформації та частковому руйнуванню та подрібненню.

Відомо кілька способів холодного деформування сталей з метою збільшення міцності: волочіння, сплюскування, згинання, скручування та витяжка (розтяг). Частіше всього ефект збільшення міцності досягається, коли позначені технологічні операції накладають на довгомірну сталеву продукцію у вигляді арматурного прокату, катанки, труби, фасони види прокату та інші. Вплив способу розтягу на характер зміни умовної границі текучості (характеристика міцності сталі) представлена на рис.1.

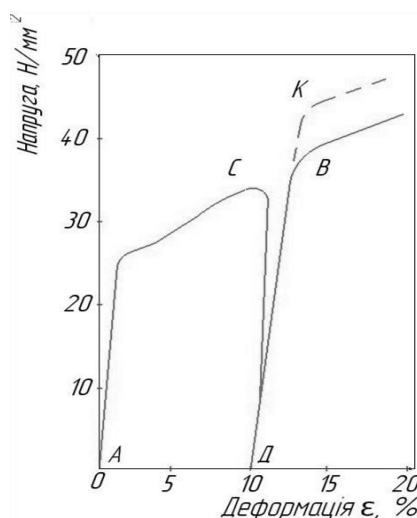


Рис. 1. Схема зміцнення розтягом низьковуглецевої сталі [2]: АС – попереднє навантаження (розтяг до залишкового подовження); СД – розвантаження; ДВ – повторне навантаження; ВК – можливий приріст міцності внаслідок старіння

У даному способі розтяг стрижнів здійснюють до напруги, що перевищує границю текучості. При цьому за рахунок пластичної деформації підвищується границя текучості сталі до найбільшої напруги, яка створюється при попередньому розтягу. Внаслідок розтягу у холоднодеформованій сталі значно підвищується границя текучості (на 20-50%) при зниженні пластичності (на 20-50%). Зміцненню розтягом зазвичай піддавали арматурні стрижні у гарячекатаному стані. Далі вони застосовувалися для армування попередньо напружених залізобетонних конструкцій [3] поряд з арматурою із гарячекатаної сталі класу А-IV згідно з ГОСТ 5781.

Стан виробництва АП в мотках та необхідність застосування деформації розтягу. В минулому столітті в СРСР, а пізніше в країнах СНД АП в мотках виготовлявся на металургійних підприємствах шляхом гарячої прокатки на сортових дрібносортовних станах з низьколегованих марок сталі 25Г2С та 35ГС виключно в гарячекатаному стані та з вуглецевих марок сталі Ст3 та Ст5 в термічно зміцненому сталі [4-6]. В основному це був АП класу міцності 400 Н/мм² (А-III). При цьому продукції були притаманні недоліки у вигляді великої неоднорідності міцності по довжині розкату за рахунок різниці швидкості охолодження зовнішніх та внутрішніх витків розкату, сформованого в моток. Тобто в одному мотку були ділянки стрижня, які мали різну міцність (двох або трьох класів) в залежності від типу мотка, сформованого різними типами моталок, якими були обладнані прокатні стани. Також була відсутня можливість виробляти АП в мотках класу міцності 500 Н/мм², що набрав популярність в європейських країнах. Зміцнення до цього рівня не дозволяло формувати моток на моталці прокатного стану за рахунок підвищеної пружності стрижня. Тому за кордоном перейшли на технологію виробництва АП в мотках, коли спочатку на металургійному підприємстві виготовляють АП періодичного профілю в мотках міцності 350-450 Н/мм², а далі шляхом додаткової холодної деформації розтягом продукцію доводять до класу міцності 500 Н/мм².

Досвід масового виробництва та застосування холоднодеформованого арматурного прокату (ХДАП) в країнах Європи налічує більш ніж 40 років. Його поширенню сприяв розвиток індустріальних методів будівництва, де заготовку АП та виробництво залізобетонних виробів здійснювали на окремих підприємствах. За цей час в багатьох країнах (Німеччина, Італія, Австрія та інші) були створені високоефективні технологічні лінії по виготовленню та переробці ХДАП (назва в європейських нормативних документах – дріт) діаметром від 4,0 до 16,0 мм. Технологія виробництва полягала в додатковому зміцненні сталі шляхом деформування розтягом при температурі навколишнього середовища для отримання готової продукції в процесі перемотки АП металургійного виробництва із мотка в моток. Переваги виробництва та використання ХДАП у мотках полягає в тому, що використовуючи сучасне обладнання для заготовки та переробки АП

у вигляді правильно-відрізних верстатів, ліній автоматизованого розкрою та виготовлення арматурних елементів, а також ліній з виготовлення зварної сітки з АП діаметром від 4,0 до 16,0 мм у мотках на підприємствах будівельної індустрії можна заготовляти широкий спектр елементів для армування конструкцій. При цьому АП може застосовуватися у вигляді стрижнів розрахункової арматури, а також у вигляді скобо-згинальних виробів будь-якої форми, з яких надалі виготовлятимуться всілякі каркаси за формою конструкцій, у тому числі і довгомірні. Останнє підвищує продуктивність та значно скорочує чисельність робітників, які задіяні у виробничому процесі.

Обговорення відомих рішень, які захищені патентами.

Приклад 1.

Позитивним використанням холодної деформації розтягу в виробництві АП в мотках слід вважати технічні рішення, які запропоновані в [7-9], як спосіб (технологія) та пристрій для реалізації (технологічна лінія). Згідно [7], спосіб комбінованого виробництва арматурного прокату періодичного профілю в мотках, включає гарячу деформацію сталевих заготовки з отриманням смуги-розкату у вигляді стрижня, прискорене охолодження, змотування в моток, наступне охолодження на повітрі та подальшу холодну деформацію при температурі навколишнього середовища. При цьому в процесі гарячої деформації формують круглий стрижень з періодичним профілем на поверхні, який охолоджують потоком води або водо-повітряною сумішшю до середньомасової температури 740...800 °С, а далі ведуть охолодження на повітрі до температури навколишнього середовища, після чого здійснюють холодну деформацію шляхом розтягу стрижня на 2...12 % при температурі навколишнього середовища в процесі перемотки його з мотка в моток. Згідно [8, 9] лінія для виготовлення холоднодеформованого арматурного прокату в мотках містить встановлені в технологічній послідовності розмотувальний пристрій, пристрій для механічного видалення окалини, пристрій для холодного деформування прокату, приводний намотувальний механізм та пристрій, що формує моток. При цьому пристрій для холодного деформування прокату виконано у вигляді двох обвідних барабанів, першого і другого по ходу руху прокату, які кінематично пов'язані між собою за допомогою електроприводної зубчастої передачі-шестерні, а сам пристрій розміщено на ділянці між пристроєм для видалення окалини і приводним намотувальним пристроєм. За рахунок різниці діаметрів обвідних барабанів або різниці швидкості кутового обертання обвідних барабанів реалізується деформація розтягу стрижня на 2...12% при його перемотці з мотка в моток.

Для отримання ХДАП в мотках класу міцності 500 Н/мм² використовують заготовки періодичного профілю металургійного виробництва. Це поширений напрям у виробництві холоднодеформованого АП, а сама технологія є комбінованою [10].

Вона заснована на додатковому зміцненні гарячекатаного прокату (заготовки) з готовим періодичним профілем (класу 350-450 Н/мм²) деформацією розтягу (stretching) при температурі навколишнього середовища та забезпечує отримання класу міцності 500 Н/мм² при збереженні достатнього рівня пластичних властивостей. Тобто таким чином забезпечується можливість отримувати готовий продукт (АП) більш вищого класу міцності, що володіє більш високим рівнем міцності, та відповідає вимогам національного ДСТУ 9130 або ДСТУ 3760, так і сучасним закордонним стандартам (EN 10080, BS 4449, DIN 488). Для реалізації такої технології в якості заготовки може застосовуватися прокат періодичного профілю – класу А400С за ДСТУ 9130 зі

сталей марок Ст3Гпс, 18Г2С, 20Г2 та 25Г2С із вмістом вуглецю в межах 0,18...0,24% з подальшим отриманням продукції класу А500С.

Опробування технології здійснювали у лабораторних умовах. В якості заготовки використовували АП періодичного профілю $\varnothing$ 8,0 мм із сталі 25Г2С (%С – 0,27; %Мп – 1,39; %Si – 0,76), який деформували розтягуванням (ступень деформації, ε) на 2,0 та 4,0% при температурі доквілля. Після цього зразки піддавали механо-циклічній обробці (МЦО) чотирма вигинами на роликовому пристрої (діаметр роликів 90 мм). Випробування зразків на розтяг проводили згідно з ГОСТ 12004 на машині FP-100/1. Отримані результати представлені у табл. 1.

Таблиця 1. Механічні властивості АП після холодної деформації розтягом

Ступень деформації, %	Показники механічних властивостей				Клас міцності АП
	σ_T , Н/мм ²	σ_B , Н/мм ²	σ_B/σ_T	δ_{max} , %	
0	480	695	1,45	16,8	400
2,0	570 / 580*)	718 / 742	1,26 / 1,28	10,5 / 12,0	500 / 500
4,0	660 / 650	760 / 765	1,15 / 1,18	8,5 / 9,0	600 / 600

*) – у знаменнику після додаткової механо-циклічної обробки (МЦО)

Наведені результати свідчать про те, що шляхом холодної деформації розтягом з АП класу міцності А400 можливо отримувати АП більш високого класу міцності (А500 та А600). Це доводить, що АП класу міцності 500 Н/мм² у повній відповідності до вимог європейських нормативних документів можливо виготовляти із застосуванням технології stretching-процесу (холодна деформація шляхом додаткового розтягування) при перемотуванні прокату з мотка в моток.

Сама технологія реалізується на запропонованій технологічній лінії (рис.2), яка захищена патентом UA № 159101 [9].

Переваги запропонованої технології та обладнання для її реалізації полягають в тому, що при перемотці з мотка в моток, вся смуга (стрижень) піддається розтягу на визначену величину деформації, що призводить до підвищення рівня границі текучості. Тобто отриманню продукції (АП в мотках) в обсязі 100% більш високого класу міцності, коли на розмотувальний пристрій (позиція 1 на рис. 2) подається моток класу 350-450 Н/мм², а після перемотки на пристрої, що формує моток (позиція 5 на рис. 2) маємо новий моток АП класу 500 Н/мм².

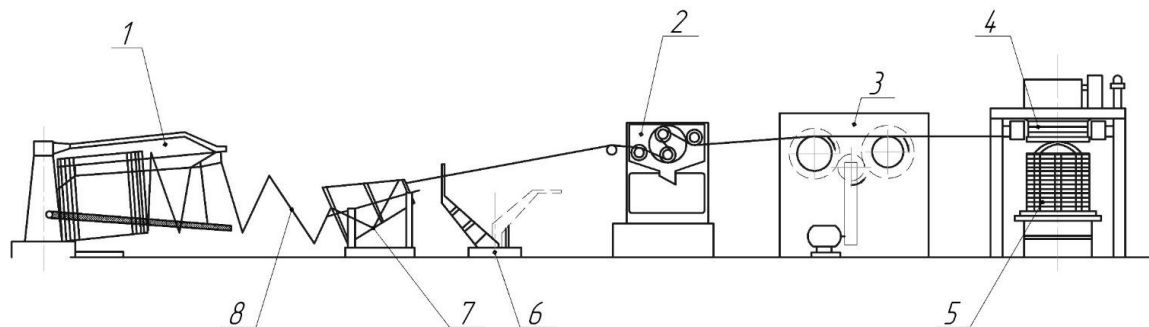


Рис. 2. Технологічна лінія для виробництва холоднодеформованого арматурного прокату класу 500 Н/мм² шляхом перемотки із мотка в моток стрижня металургійного виробництва класу 350-450 Н/мм², де зазначено: 1 – розмотувальний пристрій; 2 – пристрій для видалення окалини; 3 – пристрій для холодної деформації прокату розтягом; 4 – приводний намотувальний механізм; 5 – пристрій, що формує моток; 6 – датчик аварійної зупинки лінії; 7 – напрямна у вигляді блоку кілець для вирівнювання арматурного стрижня; 8 – арматурний стрижень

Приклад 2.

Негативним використанням холодної деформації розтягу в технології виробництва АП слід вважати технічні рішення, які запропоновані в [11].

На першому етапі (металургійному) виробництво АП в мотках здійснюється за традиційною технологією, що включає нагрівання заготовки, багатопрохідну гарячу прокатку у валках з калібрами, охолодження в прохідних охолоджуючих секціях,

змотування прокату в моток і подальше охолодження на повітрі. Цим досягається отримання готової продукції (АП в мотках) класу міцності 450 Н/мм² (А400 за ДСТУ 3760 або ГОСТ 34028).

Далі відбуваються дії, які ніяким чином не стосуються продукції, яка буде відправлятися споживачеві (спочатку вона полежить на складі, а потім разом з відповідними документами буде відправлена замовнику), бо проводиться подальший відбір зразків, їх правка, проведення механічних випробувань для видачі сертифікату якості. Це до способу виробництва не має жодного відношення та не впливає на властивості продукції, що виготовлена раніше.

На етапі правки відібраних зразків та проведення механічних випробувань відбувається головний обман, що пов'язаний з холодною деформацією розтягу. Правку зразків здійснюють безпосередньо після відбору зразків від мотків шляхом поздовжнього розтягування кожного зразка з зусиллям P , достатнього для усунення кривизни зразка після зняття розтягуючого навантаження, а величину зусилля P визначають із співвідношення:

$$P = k \cdot \sigma_{0,2 \text{ станд}} \cdot F,$$

де F – площа поперечного перерізу зразка, мм²;

$\sigma_{0,2 \text{ станд}}$ – умовна границя текучості, що встановлюється стандартом для цього виду продукції, Н/мм²;

k – коефіцієнт, що дорівнює 0,9-1,2.

Тобто, деформації розтягу піддають тільки відібрані контрольні зразки для визначення механічних властивостей прокату після охолодження бунтів. При цьому бажання виробника реалізовувати свою продукцію, як АП в мотках класу А500 обумовлює окремий розтяг контрольних зразків до напруги в 500 Н/мм² х (1,0-1,2), що буде відповідати напрузі 500-600 Н/мм². Таким чином при розвантаженні цих контрольних зразків та наступному їх випробуванні розтягом до розриву згідно рис. 1 границя текучості буде більшою за 500 Н/мм², що відповідає рівню класу А500. Цей клас міцності буде зазначено в сертифікаті якості всієї партії готової продукції (приписано неіснуючий клас міцності), який весь час знаходився на складі та не піддавався впливу додаткової деформації розтягом.

Також слід зазначити, що автори патенту [11] вибір запропонованого ними способу правки зразків від прокату в мотках пояснюють тим, що він може бути довільним, бо не обумовлюється в стандартах. Насправді це не відповідає дійсності. В ГОСТ 12004 (Сталь арматурная. Методы испытания на растяжение) в п. 1.2 чітко визначається – «...Виправлення зразків від арматурного прокату в мотках не повинно викликати деформаційного зміцнення, здатного змінити механічні властивості прокату». Також, це не відповідає вимогам розділу 4 стандарту ISO 15630-1 (Steel for the reinforcement and prestressing of concrete — Test methods — Part 1: Reinforcing bars, wire rod and wire), де зазначено, що

вирівнювання критично важливе для проведення випробувань на розтяг та на втомну міцність. У ISO 15630-1 спеціально зазначено, що зразки для проведення механічних випробувань піддаються мінімальній пластичній деформації із документальною фіксацією метода вирівнювання та умов термічного старіння [12].

В наявності маємо подвійний обман та фальсифікацію поняття щодо впливу деформації розтягу на характер зміни міцності сталі (підвищення границі текучості).

Зазначений авторами патенту [11] технічний результат винаходу – «...підвищення якості прокату за рахунок усунення похибки при визначенні умовної границі текучості, пов'язаної з можливою непрямолінійністю (подовжньою кривизною) зразків для механічних випробувань», не відповідає дійсності, бо суперечить здоровому глузду та попирає елементарні базові поняття впливу деформації розтягу на властивості АП в мотках, а також базується на обмані. Пристрій для реалізації способу по патенту [11], згадувати та коментувати не має сенсу, бо він не відноситься до обладнання, що додатково може зміцнювати АП в мотках холодною деформацією розтягом.

Висновки

Холодна деформація розтягу є дієвим способом підвищення рівня границі текучості сталевих стрижня та дозволяє отримувати холоднодеформований арматурний прокат в мотках більш високого класу міцності.

Сучасне обладнання дозволяє реалізувати нову технологію отримання ХДАП класу міцності А500 (500 Н/мм²) в промислових масштабах шляхом перемотки з мотка в моток на сучасних технологічних лініях продукції металургійного виробництва – арматурного прокату періодичного профілю у мотках, що має границю текучості 350-450 Н/мм². При цьому 100% продукції зазнає впливу деформації розтягу та відповідає вимогам національного та закордонних стандартів до арматурного прокату класу А500.

Позитивним прикладом використання холодної деформації розтягу в технології виробництва арматурного прокату слід вважати технічні рішення, які запропоновані авторами та захищені патентами України [7- 9].

Запропонована технологія та обладнання [9] для виготовлення холоднодеформованого арматурного прокату в мотках з використанням холодної деформації розтягом, де всі 100% відсотків готової продукції піддаються зміцненню.

Особливістю запропонованої технології є поєднання холодної деформації розтягом та фінішної операції МЦО, що додатково забезпечує високий рівень деформативності (пластичності) готової продукції.

Технологію виробництва арматурного прокату та обладнання для її реалізації згідно патенту РФ [11] слід вважати негативним прикладом

застосування деформації розтягу для підвищення міцності готової продукції, бо наслідки впливу стосуються тільки зразків, що піддаються контрольним іспитам, а отримані результати не характеризують властивості всієї партії продукції, що потрапляє споживачу. Тобто спостерігається наявна фальсифікація, коли неіснуючі властивості додатково оброблених зразків переносяться на всю партію АП.

Технічні рішення, які захищає патент [11] є фейковими, бо суперечать здоровому глузду, попирають елементарні базові поняття впливу деформації розтягу на характер зміни міцності сталі (підвищення границі текучості), а також базуються на усвідомленому обмані.

Перелік посилань

1. Method of making concrete reinforcing elements from ribbed steel bars : patent 2957240 United States : E04C5/03. No. 604705 ; applied on 17.08.1956 ; published on 25.10.1960. 7 p. URL: <https://patents.google.com/patent/US2957240A/en> (date of access: 04.08.2025).
2. Соколовский П. И. Арматурные стали. М : Металлургия, 1964. 207 с.
3. Белобров И. К. Упрочнение арматурных сталей вытяжкой и их применение в железобетоне. *Бетон и железобетон*. 1959. № 4. С. 158–164.
4. Неоднородность механических свойств арматурного проката в мотках по его длине // И. А. Гунькин та ін. *Строительство, материаловедение, машиностроение: Сб. научн. трудов*. 2004. Т. 1, № 26. С. 250–254.
5. Формирование температуры самоотпуска в некоторых арматурных сталях / В. Т. Худик та ін. *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 2004. № 3. С. 74–77.
6. Раздобреев В. Г., Паламар Д. Г., Мощный В. В. и др. Аналитические и экспериментальные исследования технологии производства бунтового арматурного проката класса А500 в условиях непрерывного сортового стана 400/200 ПАО «ДМК». *Спеціальна металургія: вчора, сьогодні, завтра* : матеріали XVI Всеукраїнськ. науково-практ. конф., м. Київ, 17 квіт. 2018 р. 2018. С. 350–368.
7. Спосіб комбінованого виробництва арматурного прокату періодичного профілю в мотках : Україна : B21B1/08 C21D8/08. № a202403411 ; заявл. 01.07.2024 ; опубл. 12.03.2025, Бюл. № 11.
8. Лінія для виготовлення холоднодеформованого арматурного прокату в мотках : Україна : B21B1/00 B21B1/08 C21D8/08. № a202404313 ; заявл. 03.09.2024 ; опубл. 12.03.2025, Бюл. № 11.
9. Лінія для виготовлення холоднодеформованого арматурного прокату в мотках : пат. 159101 Україна : B21B1/00 B21B1/08 C21D8/00. № u202405071 ; заявл. 28.10.2024 ; опубл. 23.04.2025, Бюл. № 17.
10. Перчун Г. І., Якушев О. С., Івченко А. О. Удосконалення виробництва холоднодеформованого арматурного прокату підвищеної пластичності для будівництва у повоєнній Україні. *Features of innovative development in the field of technology: the comparative experience of Ukraine and the European Union* : conference proceedings, м. Wloclawek, 6–7 верес. 2023 р. Riga, Latvia, 2023. С. 26–30.
11. Спосіб виробництва круглого сортового проката в бунтах и устройство для его реализации : пат. 2368436 РФ: B21B 1/16. № 2008100703/02 ; заявл. 09.01.2008 ; опубл. 10.04.2010, Бюл. № 10. 9 с. URL: <https://patents.google.com/patent/RU2368436C9/ru>
12. ДСТУ ISO 15630-1:2022 (ISO 15630-1:2019, IDT). Сталі для армування та попереднього напруження бетону. Методи випробування. Частина 1. Арматурні прутки, стріжни та дріт. На заміну ДСТУ ISO 15630-1:2010 ; чинний від 2019-02-01. Вид. офіц. Geneva, 2019. 32 с.

References

1. Method of making concrete reinforcing elements from ribbed steel bars. (applied on 17.08.1956). patent 2957240 United States : E04C5/03. No. 604705; 7 p. URL: <https://patents.google.com/patent/US2957240A/en>.
2. Sokolovskiy, P. I. (1964). *Armaturnyye stali*. Metallurgiya, 207 p.
3. Belobrov, I. K. (1959). Uprochneniye armaturnykh staley vytyazhkoy i ikh primeneniye v zhelezobetone. *Beton i zhelezobeton*, 4, 158-164.
4. Gun'kin, I. A. et al. (2004). Neodnorodnost' mekhanicheskikh svoystv armaturnogo prokata v motkakh po yego dline *Stroitel'stvo, materialovedeniye, mashinostroyeniye: Sb. nauchn. trudov*, 1(26). 250-254.
5. Khudik, V. T. et al. (2004). Formirovaniye temperatury samootpuska v nekotorykh armaturnykh. *Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost*, 3, 74–77.
6. Razdobreyev, V. G., Palamar, D. G., Motsnyy, V. V. et al. (2018). Analiticheskiye i eksperimental'nyye issledovaniya tekhnologii proizvodstva buntovogo armaturnogo prokata klassa A500 v usloviyakh nepreryvnogo sortovogo stana 400/200 PAO «DMK» *Spetsialna metalurhiia: vchora, sohodni, zavtra: materialy XVI Vseukrainskoi naukovoprakt. konf., m. Kyiv, 17 kvit. 2018 r.* P. 350–368.
7. Sposib kombinovanoho vyrobnytstva armaturnoho prokatu periodychnoho profiliiu v motkakh [a. s. a202403411 Ukraine: B21B1/08 C21D8/08; appl. 01.07.2024; publ. 12.03.2025, Bulletin No. 11.
8. Liniia dlia vyhotovlennia kholodnodeformovanoho armaturnoho prokatu v motkakh: a. s. a202404313 Ukraina: B21B1/00 B21B1/08 C21D8/08; appl. 03.09.2024 ; publ. 12.03.2025, Bulletin No. 11.
9. Liniia dlia vyhotovlennia kholodnodeformovanoho armaturnoho prokatu v motkakh [Line for the production of cold-deformed reinforcing bars in coils]: pat. 159101 Ukraina : B21B1/00 B21B1/08 C21D8/00 ; No. u202405071 ; appl. 28.10.2024 ; publ. 23.04.2025, Bulletin No. 17.
10. Perchun, H. I., Yakushev, O. S., & Ivchenko, A. O. (2023). Udoskonalennia vyrobnytstva kholodnodeformovanoho armaturnoho prokatu pidvyshchenoi plastychnosti dlia budivnytstva u povoiennii Ukraini. *Features of innovative development in the field of technology: the comparative experience of Ukraine and the European Union: conference proceedings, Wloclawek*, 6–7 Sept. 2023. Riga, Latvia, p. 26-30.

11. Sposob proizvodstva kruglogo sortovogo prokata v buntakh i ustroystvo dlya yego realizatsii [Manufacturing method of rolled section in bundles and facility for its implementation]: pat. 2368436 RF: B21B 1/16; No. 2008100703/02; appl. 09.01.2008; publ. 10.04.2010, Bulletin No. 10. 9 p. URL: <https://patents.google.com/patent/RU2368436C9/ru> (date of access: 04.08.2025).
12. DSTU ISO 15630-1:2022 (ISO 15630-1:2019, IDT). *Stali dlia armuvannia ta poperednoho napruzhennia betonu. Metody vyprovuvannia. Chastyna 1. Armaturni prutky, strizhni ta drit* [Steels for the reinforcement and prestressing of concrete. Test methods. Part 1. Reinforcing bars, rods and wire]. Withdrawn ISO 15630-1:2010 ; Publication date 2019-02-01. Geneva, 2019. 32 p.

Надіслано до редакції / Received: 01.02.2025

Прийнято до друку / Accepted: 30.05.2025