

УДК:621.771.002.5

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ХОЛОДНОДЕФОРМИРОВАННОГО АРМАТУРНОГО ПРОКАТА С ШИРОКИМ СПЕКТРОМ ПОТРЕБИТЕЛЬСКИХ СВОЙСТВ

ГУЛЬ Ю. П.¹, к.т.н., доц.

ИВЧЕНКО А. В.^{2*}, к.т.н., с.н.с.

КОНДРАТЕНКО П. В.^{3*}, асп.

МАЧУСКАЯ Н.Д.^{4*}, ведущий специалист

МОРГУН М.П.^{5*}, асп.

¹Кафедра термической обработки металлов, Национальная металлургическая академия Украины, пр. Гагарина, 4, 49600, г. Днепропетровск, Украина, тел. +38 (0562) 46-24-53, e-mail: kaf.tom@metal.nmetau.edu.ua, ORCID 0000-0003-3754-7731

^{2*}Кафедра термической обработки металлов, Национальная металлургическая академия Украины, пр. Гагарина, 4, 49600, г. Днепропетровск, Украина, тел. +38 (0562) 46-24-53, e-mail: armst_2000@mail.ru, ORCID 0000-0002-4518-1744

^{3*}Кафедра термической обработки металлов, Национальная металлургическая академия Украины, пр. Гагарина, 4, 49600, г. Днепропетровск, Украина, тел. +38 (0562) 46-24-53, e-mail: achriman@yandex.ua, ORCID 0000-0003-2242-3496

^{4*}Кафедра термической обработки металлов, Национальная металлургическая академия Украины, пр. Гагарина, 4, 49600, г. Днепропетровск, Украина, тел. +38 (0562) 46-24-53, e-mail: kaf.tom@metal.nmetau.edu.ua

^{5*} Кафедра термической обработки металлов, Национальная металлургическая академия Украины, пр. Гагарина, 4, 49600, г. Днепропетровск, Украина, тел. +38 (0562) 46-24-53, e-mail: prasanna@mail.ru

Аннотация. *Цель.* Разработка на основе анализа технологических схем получения упрочненного арматурного проката с использованием горячей и холодной деформации и расширения перечня требований к потребительским свойствам этого изделия технологической линии, обеспечивающей производство холоднодеформированного арматурного проката с периодическим профилем в мотках классов прочности 500...600 МПа. *Методика.* Сопоставительный системный анализ технологических решений поточных линий для производства холоднодеформированного арматурного проката, который заключается в сопоставлении с требованиями новых нормативных документов на свойства арматуры, а также анализа комплексного влияния деформационно-термических воздействий на свойства холоднодеформированного проката. *Результаты.* Предложен новый комплекс оборудования, который логистически организован в виде поточной линии позволяющей стабильно получать в широком диапазоне различных свойств холоднодеформированный арматурный прокат. *Научная новизна.* Впервые предложен состав технологического оборудования в логистике поточной линии для получения упрочняемой холодной деформацией арматурного проката, структурное состояние которого формируется оптимальным сочетанием активной и циклической деформаций с последующими скоростными объемным и поверхностным нагревами, обеспечивающими протекание во всем объеме изделия статически-динамического деформационного старения, а в тонком поверхностном слое разупрочненного состояния. *Практическая значимость.* Линия позволяет получить арматуру, соответствующую требованиям нормативных документов в сочетании с повышенными: релаксационной стойкостью, пластичностью, коррозионной стойкостью, огнестойкостью, сопротивлением циклическому нагружению и иммунитетом к деформационному старению.

Ключевые слова: арматурный прокат; стержень; моток; упрочнение; технология производства; потребительские свойства; холодная деформация; деформационное старение; поточная линия

ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ХОЛОДНОДЕФОРМОВАНОГО АРМАТУРНОГО ПРОКАТУ З ШИРОКИМ СПЕКТРОМ СПОЖИВЧИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ

ГУЛЬ Ю. П.¹, к.т.н., доц.

ИВЧЕНКО О. В.^{2*}, к.т.н., с.н.с.

КОНДРАТЕНКО П. В.^{3*}, асп.

МАЧУСЬКА Н.Д.^{4*}, провідний фахівець

МОРГУН М.П.^{5*}, асп.

¹Кафедра термічної обробки металів, Національна металургійна академія України, пр. Гагаріна, 4, 49600, м. Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (0562) 46-24-53, e-mail: kaf.tom@metal.nmetau.edu.ua, ORCID 0000-0003-3754-7731

^{2*}Кафедра термічної обробки металів, Національна металургійна академія України, пр. Гагаріна, 4, 49600, м. Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (0562) 46-24-53, e-mail: armst_2000@mail.ru, ORCID 0000-0002-4518-1744

^{3*}Кафедра термічної обробки металів, Національна металургійна академія України, пр. Гагаріна, 4, 49600, м. Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (0562) 46-24-53, e-mail: achriman@yandex.ua, ORCID 0000-0003-2242-3496

^{4*}Кафедра термічної обробки металів, Національна металургійна академія України, пр. Гагаріна, 4, 49600, м. Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (0562) 46-24-53, e-mail: kaf.tom@metal.nmetau.edu.ua

^{5*} Кафедра термічної обробки металів, Національна металургійна академія України, пр. Гагаріна, 4, 49600, м. Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (0562) 46-24-53, e-mail: prasanna@mail.ru

Анотація. Мета. Розробка на основі аналізу технологічних схем виробництва зміцненого арматурного прокату з використанням гарячої та холодної деформації і розширення переліку вимог до споживчих властивостей цього виробу технологічної лінії, що забезпечує виробництво холоднодеформована арматурного прокату з періодичним профілем в мотках класів міцності 500 ... 600 МПа. **Методика.** Порівняльний системний аналіз технологічних рішень поточних ліній для виробництва холоднодеформованого арматурного прокату, який полягає в порівнянні з вимогами нових нормативних документів на властивості арматури, а також аналізу комплексного впливу деформаційно-термічних впливів на властивості холоднодеформованих прокату. **Результати.** Запропоновано новий комплекс обладнання, який логістично організований у вигляді потокової лінії дозволяє стабільно отримувати в широкому діапазоні різних властивостей холоднодеформована арматурний прокат. **Наукова новизна.** Вперше запропоновано склад технологічного обладнання в логістиці потокової лінії для отримання зміцнюваного холодною деформацією арматурного прокату, структурний стан якого формується оптимальним поєднанням активної та циклічної деформації з подальшими швидкісними об'ємним і поверхневим нагрівом, що забезпечує протікання в усьому об'ємі виробу статично-динамічного деформаційного старіння, а в тонкому поверхневому шарі зменшеного стану. **Практична значимість.** Лінія дозволяє отримати арматуру відповідно вимогам нормативних документів у поєднанні з підвищеними: релаксаційною стійкістю, пластичністю, корозійну стійкість, вогнестійкість, опором циклічному навантаженню та імунітетом до деформаційного старіння.

Ключові слова: арматурний прокат; стрижень; моток; зміцнення; технологія виробництва; споживчі властивості; холодна деформація; деформаційне старіння; конвеєр

PRODUCTION EQUIPMENT OF COLD DEFORMED REINFORCING HIRE WITH THE WIDE RANGE OF CONSUMER PROPERTIES

GUL Yu. P.¹, *Cand. Sc. (Tech.), Associate professor*

IVCHENKO A. V.^{2*}, *Cand. Sc. (Tech.), Senior Research Officer*

KONDRATENKO P. V.^{3*}, *Graduate student*

MACHUSKAJA N.D.^{4*}, *Leading specialist*

MORGUN M.P.^{5*}, *Graduate student*

¹Department of metal heat treatment, National Metallurgical Academy of Ukraine, Gagarin Avenue, 4, 49600, Dnipropetrovsk, Ukraine, tel. +38 (0562) 46-24-53, e-mail: kaf.tom@metal.nmetau.edu.ua, ORCID 0000-0003-3754-7731

^{2*} Department of metal heat treatment, National Metallurgical Academy of Ukraine, Gagarin Avenue, 4, 49600, Dnipropetrovsk, Ukraine, tel. +38 (0562) 46-24-53, e-mail: armst_2000@mail.ru, ORCID 0000-0002-4518-1744

^{3*} Department of metal heat treatment, National Metallurgical Academy of Ukraine, Gagarin Avenue, 4, 49600, Dnipropetrovsk, Ukraine, tel. +38 (0562) 46-24-53, e-mail: achriman@yandex.ua, ORCID 0000-0003-2242-3496

^{4*} Department of metal heat treatment, National Metallurgical Academy of Ukraine, Gagarin Avenue, 4, 49600, Dnipropetrovsk, Ukraine, tel. +38 (0562) 46-24-53, e-mail: kaf.tom@metal.nmetau.edu.ua

^{5*} Department of metal heat treatment, National Metallurgical Academy of Ukraine, Gagarin Avenue, 4, 49600, Dnipropetrovsk, Ukraine, tel. +38 (0562) 46-24-53, e-mail: prasanna@mail.ru

Annotation. Purpose. Development based on the analysis of technological schemes for receiving the hardened reinforcing hire with use of hot and cold deformation and extension the list of requirements to consumer properties of this product technological line, providing production of cold deformed reinforcement with a periodic profile in hanks, classes of durability 500...600 MPa. **Methodology.** Comparable system analysis of technological solutions production lines for production of cold-rolled reinforcement, that consists in comparison with the requirements of new normative documents on properties of armature, and also the analysis of complex influence of the deformation-thermal affecting properties of of cold-rolled reinforcement. **Findings.** The new complex of equipment, that is logistic organized as a production line by allowing stably getting cold deformed reinforcement in the wide range of different properties is offered. **Originality.** For the first time offered the composition of technological equipment in the logistics flow line for hardenable cold deformation rebar, structural state which formed the optimal combination of active and cyclic deformations with subsequent high-speed bulk and surface heat, ensuring the flow of the entire volume of the product static-dynamic strain aging, and the small softening the surface layer state. **Practical value.** A line allows getting an armature conforming to the requirements of normative documents in combination with enhanceable: relaxation firmness, plasticity, corrosion resistance, fire resistance, resistance to cyclic loading and immunity to strain aging.

Keywords: reinforcing hire; bar; hank; hardening; production technology; consumer properties; cold deformation; strain aging; production line

Введение

Технология производства арматурного проката (АП) в нашей стране и в мире развивалась, как по направлению способов его упрочнения, так и по направлению способов формирования геометрии АП. При этом технология должна ориентироваться на изменение требований к комплексу свойств АП, реализуемому в технологиях использования его при производстве железобетона и его эксплуатации. До 50-х годов прошлого столетия в нашей стране практически единственным видом АП для железобетона был гладкий горячекатаный АП из стали марки Ст3 класса А-I (А240). Из этого же АП сами строители с помощью примитивного оборудования изготавливали небольшие партии холоднодеформированного АП (ХАП) [18]. Дальнейшее развитие производства АП в направлении повышения классов прочности и получения стержневой арматуры периодического профиля шло в основном на металлургических заводах путем использования новых марок стали, в том числе низколегированных, и организации термического упрочнения (ТУ) в потоке сортопрокатных станов. Для получения АП класса А-IIIв (А540) для преднапряженного железобетона использовали холодную деформацию (ХД) вытяжки [2]. Однако, производству ХАП на метизном переделе не уделяли должного внимания вплоть до начала нынешнего века, в то время, как за рубежом промышленное производство ХАП началось в конце 1950-х годов [18, 23, 12, 15].

В настоящее время в Украине определенные объемы ХАП производятся на метизном переделе [12]. Отмечается, что технология упрочнения АП холодной деформацией имеет ряд преимуществ [24]. Здесь следует выделить те преимущества технологии упрочнения АП холодной деформацией, которые позволяют сделать эту технологию более эффективной, несмотря на дополнительные затраты по сравнению с ТУ в потоке мелкосортных станов, так как заготовкой для получения ХАП является горячекатаная или термически упрочненная с прокатного нагрева катанка [13].

Во-первых, для получения сопоставимых классов прочности ХАП до 600 МПа не требуется вообще или в гораздо меньшей степени легирование стали, обеспечивающее необходимую прокаливаемость: используется либо горячекатаная, либо с сорбитной структурой заготовка.

Во-вторых, в потоке мелкосортных станов со скоростью движения проката 30 м/с и более, ограниченным интервалом значений деформационно-термических воздействий и типов этих воздействий на структурное состояние (СС) проката трудно обеспечить все расширяющийся перечень требований к свойствам АП. Уже сейчас в разрабатываемых нормативных документах (НД), кроме обычных испытаний на статическое растяжение, включаются показатели релаксационной стойкости, повышенной пластичности, коррозионной стойкости,

огнестойкости и огнесохранности, сопротивления циклическому нагружению [3, 10, 11, 19]. Анализ показывает, что схема получения ХАП обладает в рассматриваемом отношении существенно большей технологической гибкостью и большим числом технологических параметров с необходимой величиной интервала их изменения, чтобы обеспечить выполнение перечисленных выше требований. Однако, реализация возможностей данной технологической схемы основана на разработке адекватного комплекса конкретного оборудования, которое позволяет осуществлять необходимые воздействия на заготовку в пределах заданных технологических параметров (ТП) и формировать геометрию и СС ХАП, обеспечивающих заданный уровень его технологических и эксплуатационных (потребительских) свойств.

Цель

Целью данной работы является именно разработка указанного выше комплекса технологического оборудования, размещаемого логистически в виде поточной линии и предназначенного для производства ХАП класса прочности 500 ... 600 МПа в мотках.

Методика

Системный анализ современных технических решений по оборудованию для производства ХАП в сопоставлении с постоянно расширяющимся диапазоном требований к свойствам ХАП и решение выявляемых противоречий на основе законов развития технических систем, конкретизированных для области металлургии и деформационно-термической обработки металлопродукции.

Результаты

Известно большое количество поточных линий (ПЛ) для изготовления АП периодического профиля в мотках, в том числе имеющих минимальный набор устройств: размоточное устройство (РУ), механизм удаления окалины (МУО), устройство активной холодной деформации (УАХД), тянущий барабан (ТБ), и устройство формирования мотков (УФМ). На такого рода ПЛ возможно получение ХАП класса 500 МПа по прочностным характеристикам, без обеспечения требуемого уровня пластичности. Более современные ПЛ включают устройство циклической деформации (УЦД), что повышает пластичность до необходимых величин [21, 22], но эти ПЛ не дают возможности получения широкого спектра других востребованных современным потребителем характеристик АП.

Главным недостатком известных ПЛ для получения ХАП являются по нашему мнению, отсутствие оборудования для термических воздействий (ТВ), что не позволяет достаточно

стабилизировать СС ХАП после ХД, исключить негативное влияние деформационного старения (ДС) на свойства при последующем вылеживании и эксплуатации [2], и получить более высокие уровни релаксационной стойкости, пластичности, огнестойкости и огнесохранности, а также сопротивления коррозии и усталости. В предлагаемой ПЛ после УЦД установлен низкочастотный индуктор (НИ) и высокочастотный индуктор (ВИ). В первом (НИ) происходит нагрев ХАП до температур 400-500°C. В этом интервале температур осуществляется так называемое статически-динамическое ДС (СДДС). Как показали наши эксперименты, в процессе СДДС одновременно происходит перестройка дислокационной структуры с образованием квазиравновесных дислокационных границ и закрепление их примесными атомами внедрения, а также существенно уменьшается градиент упругой энергии, полученный при ХД [5]. В результате: без заметного снижения статической прочности повышается релаксационная стойкость [6], пластичность, в том числе равномерная [7], термическая устойчивость ХД-состояния [5] и, следовательно, огнестойкость и огнесохранность. Сочетание активной и циклической деформации с последующим указанным нагревом в соответствующих устройствах ПЛ обеспечивает высокую механическую устойчивость созданной дислокационной структуры в условиях циклического нагружения. Поэтому фиксируется повышенная усталостная прочность, в том числе и в сварных соединениях [8]. Использование индукционного (скоростного) нагрева в предлагаемой ПЛ имеет не только чисто технологическое, но и принципиальное значение. Высокая скорость нагрева до заданной температуры структурного превращения (СП) позволяет резко интенсифицировать процессы СП и соответственно уменьшить необходимое время выдержки за счет незначительного снижения значения термодинамического фактора за время нагрева [9]. Общая коррозионная стойкость АП также повышается после теплового воздействия (ТВ), описанного выше. Последующий нагрев в ВИ повышает коррозионную стойкость поверхности ХАП. Ранее такое явление было экспериментально показано для термоупрочненного АП [20, 1]. Наконец, экспериментально установлено, что ХАП со сформированной описанным образом дислокационной структурой имеет практически полный иммунитет против ДС.

С учетом вышеизложенного предлагается новая ПЛ для производства ХАП периодического профиля в мотках класса прочности 500...600 МПа с возможностью получения широкого спектра различных свойств, указанных выше. Отличительными признаками этой ПЛ является включение в ее состав устройств ТВ: низкочастотного (НИ) и высокочастотного (ВИ) индукторов, охлаждающего устройства в виде водовоздушного спреера (ВВС), а также устройств

безконтактного измерения температуры перемещающегося в ПЛ изделия - фотопирометров (ФП), устанавливаемых на участке между ТБ и УФМ – после НИ, после ВВС и перед ВИ, и после ВИ. Искомый технический результат обеспечивается сочетанием в предлагаемой ПЛ известных устройств: РУ, МУО, УАХД, УЦД, ТБ, УФМ и дополнительных, указанных выше, расположенных в определенном порядке и таким образом образующих совокупность устройств для оказания механических (деформационных) и тепловых воздействий на исходный полуфабрикат – круглую катанку.

Одним из преимуществ предлагаемой ПЛ является значительная степень ее универсальности: возможность использования в качестве сырья катанки как в горячекатаном, так и в термически упрочненном состоянии и получения ХАП с комплексом свойств, варьируемым в широком диапазоне по требованию потребителя.

На рисунке приведена схема предлагаемой ПЛ, которая содержит располагаемые в последовательности выполнения технологических операций устройства: РУ (1), МУО (2), нанесения смазки (3), УАХД (4) в виде блока роликовых волок, УЦД изгибом (5), ТБ (6), НИ (7), ФП₁ (8), ВВС (9), ФП₂ (10), ВИ (11), ФП₃ (12), УФМ (13). Устройство НИ предназначено для нагрева перемещающегося изделия по всему поперечному сечению до температур 400-500°C и осуществления таким образом процесса СДДС для получения специфического СС, описанного выше. ВВС предназначен для фиксации полученного после СДДС СС, а также для предотвращения ДДС при смотке готовой продукции и улучшения условий труда на участке смотки. Устройство ВИ осуществляет нагрев ХАП на глубину не более 0,5 мм, что обеспечивает повышение коррозионной стойкости и «бездефектную» смотку готовой продукции. В то же время при выходе ХАП из ВИ тепло из малого объема нагретого поверхностного слоя быстро отводится в остальной объем изделия. В итоге температура ХАП в УФМ не превышает 50°C. Температура изделия после его нагрева и охлаждения контролируется с помощью ФП₁, ФП₂ и ФП₃ и регулируется по системе обратной связи путем изменения мощности, подаваемой на НИ и ВИ, и изменением частоты вращения камеры охлаждения ВВС.

Работа предлагаемой ПЛ осуществляется следующим образом. Мотки исходного сырья (катанка по ДСТУ 2770 или другим НД) устанавливаются в РУ 1, несколько витков катанки выравниваются и заправляются в ПЛ через МУО 2, приспособление нанесения смазки 3, УАХД 4, УЦД 5, ТБ 6, НИ 7, ВВС 9, ВИ 11 и заправляется в УФМ 13. Протяжка катанки с определенной скоростью в зависимости от ее диаметра осуществляется с помощью ТБ 6 через УАХД 4, что приводит к деформации катанки на заданную степень и

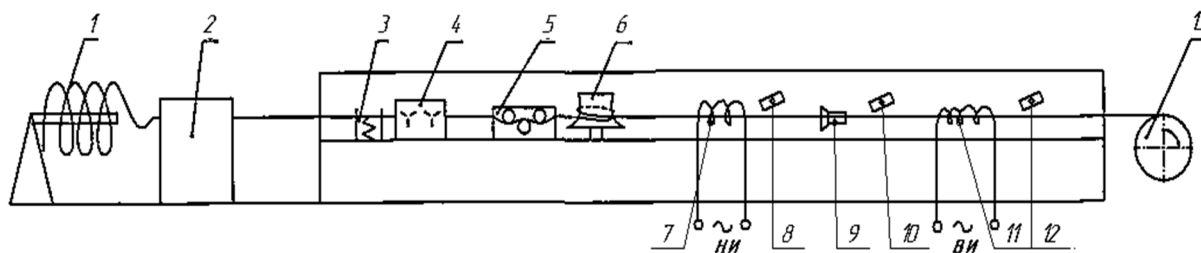


Рисунок Схема поточной линии / Layout flow line

формирование на ее поверхности периодического профиля заданной конфигурации. Полученный таким образом готовый по геометрии ХАП подвергается далее циклической деформации изгибом в УЦД 5, а затем нагреву по всему сечению в НИ 7 с последующим полным охлаждением в ВВС 9 и снова, но уже поверхностному нагреву в ВИ11, после чего попадает в УФМ 13, где собирается в большегрузные мотки массой 1...5 т.

В зависимости от заказа на изготовление ХАП с определенным набором свойств ПЛ может работать по нескольким технологическим вариантам при использовании, как её отдельных устройств, так и всего состава оборудования. Ниже приведен ряд примеров. Вариант 1. Для изготовления ХАП с повышенной коррозионной стойкостью (для строительства в прибрежных зонах и районах с влажным климатом) после УАХД и УЦД достаточно использования в предлагаемой ПЛ только ВИ 11. Изготовление продукции с финишным нагревом поверхностного слоя ХАП на глубину 0,3...0,5 мм до температур 700...750 °С обеспечит формирование благоприятной равновесной структуры с повышенной коррозионной стойкостью. Вариант 2. Для изготовления ХАП с высоким уровнем пластичности (для строительства в сейсмически активных зонах) и огнестойкости [14] достаточно использования в предлагаемой ПЛ после УАХД и УЦД только НИ 7. Изготовление ХАП с финишным нагревом по всему сечению до температур 400...500 °С позволит осуществить ТВ и реализовать эффект СДДС, что приведет к существенному повышению пластических свойств ($Agt = 7,5 \dots 10,0\%$) при сохранении высокой прочности. Вариант 3. Для изготовления АП с высоким сопротивлением циклическим нагрузкам необходимо использование всего состава оборудования ПЛ.

Новизна и практическая полезность рассмотренного состава оборудования определила возможность подачи заявок на изобретение [16, 17].

Научная новизна и практическая ценность

Впервые предложен состав технологического оборудования в логистике поточной линии для получения упрочняемой холодной деформацией арматурного проката, структурное состояние которого формируется оптимальным сочетанием активной и циклической деформаций с последующими скоростными объемным и

поверхностным нагревами, обеспечивающими протекание во всем объеме изделия статически-динамического деформационного старения, а в тонком поверхностном слое разупрочненного состояния.

Предлагаемое оборудование позволяет получать из недорогой нелегированной низкоуглеродистой стали арматурный прокат классов прочности 500...600 МПа с уникальным комплексом свойств, отвечающим современным и перспективным требованиям к такому изделию по характеристикам пластичности, релаксационной стойкости, огнестойкости и огнесохранности, усталостной и коррозионной стойкости. При этом наличие значительного количества технологических параметров воздействия и возможности их варьирования предопределяет возможность удовлетворения самых различных требований потребителя в зависимости от технологических условий использования арматурного проката строителями и условиями эксплуатации в различных сооружениях.

Выводы

1. Предложенный состав оборудования поточной линии позволяет повысить технологичность процесса изготовления и обеспечивает производство арматурного проката периодического профиля в мотках класса прочности 500 ... 600 МПа с релаксационной стойкостью, обладающего высоким уровнем пластических свойств, коррозионной стойкости, огнестойкости, повышенным сопротивлением циклическим нагрузкам, а также устранить склонность холоднодеформированного арматурного проката к низкотемпературному деформационному старению.

2. На предложенном оборудовании из катанки рядового состава возможно получение холоднодеформированного арматурного проката класса прочности 500 МПа высокого качества по НД ведущих европейских стран, на пример, по ONORM B420 (Австрия), DIN 488 (Германия), BS4449 (Великобритания) и др.

3. Арматурный прокат, полученный с использованием предлагаемого оборудования, может быть использован в качестве арматурных элементов монолитных и сборных железобетонных конструкций, а также для армирования оснований автодорог и покрытий аэродромов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. А. с. 433815 СССР, МКИ С 21 D 1/18. Способ термической обработки стальных изделий / И.Г.Хаит, Н.М.Мулин, Е.А.Гузеев и др. ; заявл. 19.04.1968 ; опубл. 25.11.77, Бюл. № 43.
2. Бабич В. К., Гуль Ю. П., Долженков И. Е. Деформационное старение стали //М.: Металлургия, 1972.- 320с.
3. BS 4449:2005 Steel for the reinforcement of concrete — Weldable reinforcing steel — Bar, coil and decoiled product – Specification.
4. EN 10080:2005. Steel for the reinforcement of concrete. Weldable reinforcing steel. General.
5. DIN 4099-2:2003-08. Welding of reinforcing steel - Part 2: Quality assurance.
6. Высокопрочная арматурная сталь / Кугушин А.А., Узлов И.Г., Калмыков В.В., Мадатян С.А., Ивченко А.В. – М.: Металлургия, 1986. – С. 272.
7. Гуль Ю. П., Перчун Г.И. Стабилизация упрочненного состояния холоднодеформированной низкоуглеродистой стали// МиТОМ. – 1992, №2. С. 26-30.
8. Гуль Ю.П. Влияние схемы холодной деформации и режима старения на релаксационную стойкость упрочненной малоуглеродистой стали / Ю. П. Гуль; А. В. Ивченко, М. Ю. Амбражей, С. В. Тищенко // Сталь. –2011. –№10. –С. 44-47.
9. Гуль Ю.П., Ивченко А.В., Ратушный Ю.О. Сравнительное исследование эффектов статического деформационного старения низкоуглеродистой стали при различных схемах предварительной деформации // Строительство, материаловедение, машиностроение. Сб. науч. тр. – Днепропетровск: 2008, вып. 46. – С.23-31.
10. Гуль Ю.П., Миронова О.Ю. Повышение конструктивной прочности сварных конструкций термомеханикотермической обработкой (ТМТО) / Производство и применение термически упрочненного проката в строительстве // сб. докл. 11 Всесоюзной конференции по динамике оснований, фундаментов и подземных сооружений. – Днепропетровск. – 1988. – С.114-118.
11. Гуль Ю.П. Комплексная интенсификация сфероидизирующего отжига низкоуглеродистых сталей для холодной высадки / Ю.П. Гуль, М.А. Соболенко, А.В. Ивченко // Сталь. – 2012. –№6. – С. 44-47.
12. Ивченко А.В. Новый эффективный арматурный прокат в мотках класса В500С для железобетонных конструкций/ Ивченко А.В., Недогибченко А.И., Матюхов С.А. и др.// Бетон и железобетон в Украине. - 2013. - №5. – С.17-21.
13. Ивченко А.В. Производство арматурного проката класса В500С из катанки повышенной прочности / А.В. Ивченко, В.П. Колпак, М.Ю. Амбражей др. // Метизы, –2006. –№03 (13). –С. 40-43.
14. Ивченко А.В., Огнесохранность холоднодеформированного арматурного проката класса В500С / А.В. Ивченко, Ю.П. Гуль, Р.В. Панков, П.В. Кондратенко // Бетон и железобетон в Украине. – 2015. – №5. – С. 24-29.
15. Колос С. Н. Разработка технологии производства холоднодеформированной арматурной стали по стандарту ONORM B 4200 / Колос С. Н., Зиновенко А. В., Бондаренко В. И. // Метизы. - 2009. - №1 (20). - С.44-45.
16. Лінія для виготовлення арматурного прокату: заявка № ua201504119 в патентне відомство України: МПК В21С 1/00, С21D 8/00 / Гуль Ю.П., Дья Х., Ивченко А.В., Моргун М.П.; власн. НМетАУ; заявл. 28.04.2015.
17. Лінія для виготовлення арматурного прокату: заявка № ua201511827 в патентне відомство України: МПК В21С 1/00, С21D 8/00 / Гуль Ю.П., Ивченко О.В., Панков Р.В. та інш.; власн. НМетАУ; заявл.30.11.2015.
18. Мадатян С.А, Бондаренко В.И. Холодная деформация. Перспективы холоднодеформированного арматурного проката //Металлоснабжение и сбыт. – 2007. - №4. - С.50-53.
19. Межгосударственный стандарт ГОСТ «Прокат арматурный для железобетонных конструкций. Технические условия» (Проект, первая редакция) – Режим доступа: <http://www.cstroy.ru/news/802/>.
20. Мулин Н.М. Термически упрочненная арматура повышенной надежности / Мулин Н.М. , Хаит И.Г., Гузеев Е.А. и др. // Бетон и железобетон, 1972. № 11. С. 20-24.
21. Семенов А.А., Ивченко А.В. Линия для изготовления холоднодеформированных арматурного проката периодического профиля в мотках. Патент РФ на ПМ №90719, кл. В21С 1/00, С21D 8/00, опубл. 20.01.2010, БИ №2, 2010 г.
22. Способ изготовления холоднодеформированной арматурной проволоки. Патент РФ №2302916, кл. В21С 1/00, опубл. 20.07.2007 г., БИ №20, 2007 г.
23. Терин В. Д. Влияние степени пластической деформации на свойства холоднодеформированной арматуры / Терин В. Д., Лешкевич О. Н., Ленартович Д.В. // Совершенствование железобетонных конструкций, оценка состояния и усиление: Материалы респ. науч.-техн. конференции / Под. ред. Т.М. Пецольда.- Мн.: УП «Технопринт». – 2001.- с. 173-176.
24. Харитонов В.А. Проблемы и перспективы производства холоднодеформированной арматуры и изделий из нее // Стройметалл. – 2010, №3 (16). – С.14-19.

REFERENCES

1. A. s. 433815 USSR, MKI S 21 D 1/18. *Sposob termicheskoy obrabotki stalnykh izdeliy* [The method of heat treatment of steel products]/ I.G.Hait, N.M.Mulin, E.A.Guzeev i dr. ; zayavl. 19.04.1968 ; opubl. 25.11.77, Byul. № 43. (in Russian).
2. Babich V. K., Gul Yu. P., Dolzhenkov I. E. *Deformatsionnoe starenie stali* [Strain aging steel] //M.: Metallurgiya, 1972 – 320 p. (in Russian).
3. BS 4449:2005 Steel for the reinforcement of concrete — Weldable reinforcing steel — Bar, coil and decoiled product – Specification.
4. EN 10080:2005. Steel for the reinforcement of concrete. Weldable reinforcing steel. General.
5. DIN 4099-2:2003-08. Welding of reinforcing steel – Part 2: Quality assurance.
6. *Vysokoprochnaya armaturnaya stal* [High-strength reinforcing steel] / Kugushin A.A., Uzlov I.G., Kalmyikov V.V., Madatyan S.A., Ivchenko A.V. – M.: Metallurgiya, 1986. – 272 p. (in Russian).
7. Gul Yu. P., Perchun G.I. *Stabilizatsiya uprochnennogo sostoyaniya holodnodeformirovannoy nizkouglerodistoy stali* [Stabilization of the state of cold-hardened carbon steel]// Metal Science and Heat Treatment. – 1992. - №2.- pp. 26-30. (in Russian).
8. Gul Yu. P. *Vliyanie shemyi holodnoy deformatsii i rezhima stareniya na relaksatsionnyuyu stoykost uprochnennoy malouglerodistoy stali* [Effect of cold deformation schemes and modes of aging on the relaxation resistance hardened mild steel] / Yu. P. Gul; A. V. Ivchenko, M. Yu. Ambrazhey, S. V. Tischenko // Steel. –2011. – №10. – pp. 44-47. (in Russian).
9. Gul Yu.P., Ivchenko A.V., Ratushnyiy Yu.O. *Sravnitelnoe issledovanie effektivnosti staticheskogo deformatsionnogo stareniya nizkouglerodistoy stali pri razlichnykh shemakh predvaritelnoy deformatsii* [A comparative study of the effects of static strain aging of low carbon steel at various pre-distortion circuits] // *Stroitelstvo, materialovedenie, mashinostroenie* – [Construction, materials science, mechanical engineering]. PDABA – Dnepropetrovsk: 2008, № 46. – pp.23-31. (in Russian).
10. Gul Yu.P., Mironova O.Yu. *Povyishenie konstruktivnoy prochnosti svarnykh konstruksiy termomekhanikotermicheskoy obrabotkoy (TMTO)* [Increased structural strength of welded structures thermomechanics-heat treatment] // *Proizvodstvo i primeneniye termicheski uprochnennogo prokata v stroitelstve* // sb. dokl. 11 Vsesoyuznoy konferentsii po dinamike osnovaniy, fundamentov i podzemnykh sooruzheniy. – Dnepropetrovsk. – 1988. – pp.114-118. (in Russian).
11. Gul Yu.P. *Kompleksnaya intensivatsiya sferoidiziruyushchego otzhiga nizkouglerodistykh staley dlya holodnoy vyisadki* [Integrated intensification of spheroidizing annealing of low carbon steels for cold heading] / Yu.P. Gul, M.A. Sobolenko, A.V. Ivchenko // *Steel*. – 2012. – №6. – pp. 44-47. (in Russian).
12. Ivchenko A.V. *Novyyi effektivnyiy armaturnyyi prokat v motkakh klassa V500S dlya zhelezobetonnykh konstruksiy* [New effective reinforcing bars in coils B500C class for concrete structures] / Ivchenko A.V., Nedogibchenko A.I., Matyuhov S.A. i dr.// *Beton i zhelezobeton v Ukraine* – [Concrete and reinforced concrete in Ukraine]. - 2013. – №5. – pp.17-21.
13. Ivchenko A.V. *Proizvodstvo armaturnogo prokata klassa V500S iz katanki povyishennoy prochnosti* [The production of reinforcing bars of grade B500C from wire rod high strength] / A.V. Ivchenko, V.P. Kolpak, M.Yu. Ambrazhey dr. // *Metizyi*, –2006. – №03 (13). – pp. 40-43. (in Russian).
14. Ivchenko A.V., *Ognesohrannost holodnodeformirovannogo armaturnogo prokata klassa V500S* [The fire resistance of cold-deformed reinforcing bars of grade B500C]/ A.V. Ivchenko, Yu.P. Gul, R.V. Pankov, P.V. Kondratenko // *Beton i zhelezobeton v Ukraine* – [Concrete and reinforced concrete in Ukraine]. – 2015. – №5. – pp. 24-29. (in Russian).
15. Kolos S. N. *Razrabotka tehnologii proizvodstva holodnodeformirovannoy armaturnoy stali po standartu ONORM B 4200* [Development of technology of production of cold-deformed reinforcing steel standard ONORM B 4200]/ Kolos S. N., Zinovenko A. V., Bondarenko V. I. // *Metizyi*. - 2009. - №1 (20). - pp.44-45. (in Russian).
16. *Liniya dlya vygotovlennya armaturnogo prokatu* [The line for the manufacture of reinforcing bar]: zayavka № ua201504119 v patentne vidomstvo Ukrayiny: MPK B21C 1/00, C21D 8/00 / Gul Yu.P., Dyiya H., Ivchenko A.V., Morgun M.P.; vlasn. NMetAU; zayavl. 28.04.2015. (in Ukrainian)
17. *Liniya dlya vygotovlennya armaturnogo prokatu* [The line for the manufacture of reinforcing bar]: zayavka № ua201511827 v patentne vidomstvo Ukrayiny: MPK B21C 1/00, C21D 8/00 / Gul Yu.P., Ivchenko O.V., Pankov R.V. ta insh.; vlasn. NMetAU; zayavl.30.11.2015. (in Ukrainian)
18. Madatyan S.A, Bondarenko V.I. *Holodnaya deformatsiya. Perspektivnyi holodnodeformirovannogo armaturnogo prokata* [Cold deformation. The prospects of cold-deformed rebar]//*Metallosnabzhenie i sbyit* – [Metal supply and sales]. - 2007. – №4. – pp.50-53. (in Russian).
19. Interstate standard GOST «*Prokat armaturnyyi dlya zhelezobetonnykh konstruksiy. Tehnicheskie usloviya*» [Rolled reinforcement for concrete structures. Specifications](The project, first edition) Available at: <http://www.cstroy.ru/news/802/>. (in Russian).
20. Mulin N.M. *Termicheski uprochnennaya armatura povyishennoy nadezhnosti* [Heat-strengthened rebar increased

- reliability]/ Mulin N.M., Hait I.G., Guzeev E.A. i dr. // *Beton i zhelezobeton* – [Concrete and reinforced concrete]. – 1972. – № 11. – pp. 20-24
21. Semenov A.A., Ivchenko A.V. *Liniya dlya izgotovleniya holodnodeformirovannykh armaturnogo prokata periodicheskogo profilya v motkakh* [Production line for cold-deformed rebar periodic profile in coils]. Patent RF for The utility model № 90719, kl. V21S 1/00, C21D 8/00, publ. 20.01.2010, BI №2, 2010 g. (in Russian).
22. *Sposob izgotovleniya holodnodeformirovannoy armaturnoy provoloki* [A method of manufacturing cold-deformed reinforcing wire]. Patent RF №2302916, kl. V21S 1/00, publ. 20.07.2007 g., BI №20, 2007 g. (in Russian).
23. Terin V. D. *Vliyaniye stepeni plasticheskoy deformatsii na svoystva holodnodeformirovannoy armatury* [The influence of the degree of plastic deformation on the properties of cold-deformed rebar] / Terin V. D., Leshkevich O. N., Lenartovich D.V. // *Sovershenstvovanie zhelezobetonnykh konstruktsiy, otsenka sostoyaniya i usilenie: Materialy resp. nauch.-tehn. konferentsii* / Pod. red. T.M. Petsolda.- Mn.: UP «Tehnoprint», 2001. – pp. 173-176. (in Russian).
24. Haritonov V.A. *Problemy i perspektivy proizvodstva holodnodeformirovannoy armatury i izdeliy iz nee* [Problems and prospects of production of cold-deformed armature and products] // *Stroymetall.* - 2010. - №3 (16). – pp.14-19. (in Russian).

Статья рекомендована к публикации д-ром техн. наук, В.И. Большаковым и д-ром техн. наук, Д.В. Лаухиным (Украина)