

И.Г. Узлов, В.Г. Раздобреев, О.Г. Сидоренко, И.П. Федорова*
В.А. Шерemet, А.В. Кекух, Н.П. Белый, А.В. Мамаев**

**ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫЙ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКИ
УПРОЧНЕННЫЙ АРМАТУРНЫЙ ПРОКАТ РАЗЛИЧНЫХ
УРОВНЕЙ ПРОЧНОСТИ**

** Институт черной металлургии НАН Украины, ** КГ ГМК "Криворожсталь"*

Показано, что при термомеханическом упрочнении стержневой арматуры в потоке мелкосортных станов применение прерывистого охлаждения вместо непрерывного позволяет повысить на 20–30 % пластические характеристики, усталостную прочность, коррозионную стойкость под напряжением, сопротивляемость повторным нагревам при сохранении заданного уровня прочности.

Арматурный прокат является одним из самых массовых видов продукции черной металлургии, который находит широкое применение в строительной индустрии. При изготовлении 1 м³ железобетонных конструкций расходуется в среднем около 70 кг стали, а общее производство этого вида металлопродукции в 80–е годы XX столетия достигал в бывшем СССР 13 % годового объема всего производимого проката [1]. В железобетоне арматурный прокат, воспринимая растягивающие нагрузки, в значительной мере определяет эксплуатационные характеристики и их надежность, а также влияет на экономические показатели строительных работ. Исходя из этого, начиная с 50–х годов прошлого столетия, научными и проектно–конструкторскими организациями черной металлургии и стройиндустрии велся поиск эффективных путей повышения прочности арматурного проката и рациональных путей их реализации [2–5].

Изначально повышение прочностных свойств арматуры достигали увеличением содержания массовой доли углерода в стали. Замена сталей марок СтЗсп и СтЗпс с содержанием массовой доли углерода 0,14–0,22% на стали марок СтЗсп и СтЗпс с содержанием углерода (по масс. %) 0,28–0,37 позволила повысить предел текучести в среднем до 20% и, тем самым, снизить расход металла за счет уменьшения площади поперечного сечения стержней, а также перераспределения нагрузок по сечению конструкций в среднем на 15–20 % [6]. Был разработан также прокат с пределом текучести не менее 590 Н/мм² из стали марки 80С с содержанием углерода 0,6–0,7%. Однако повышение прочности арматурного проката за счет увеличения содержания углерода в стали привело к ухудшению свариваемости – одной из основных потребительских характеристик арматурного проката.

Значительные результаты были достигнуты при применении легированной стали для изготовления арматурного проката. Легирование стали марганцем, кремнием, титаном, бором, хромом и др. позволило при пониженном содержании углерода существенно повысить прочностные свойства (стали марок 10ГТ, 18Г2С, 25Г2С, 20ХГ2Ц и др.). Таким образом, был разработан и нашел широкое применение арматурный прокат с высокой прочностью и хорошей свариваемостью. Однако его производство требует повышенного расхода дорогих и дефицитных материалов и ферросплавов, а, следовательно, и рост цены на выпускаемый металлопрокат.

Эффективным решением проблемы снижения расхода дорогостоящих легирующих элементов и повышения прочностных характеристик явилось создание и внедрение на металлургических предприятиях бывшего СССР в 1964–1967 гг. технологии производства термомеханически упрочненной стержневой арматурной стали в потоке прокатки с прокатного нагрева [1,4,7]. Особенно эффективным оказалось использование в строительстве высокопрочных термически упрочненных стержней с прочностью 600–1300 Н/мм² и за счет повышения расчетных сопротивлений. Это позволило снизить расход металла на 20–55%. В то же время термомеханическое упрочнение арматурного проката с нагрева под прокатку по сравнению с упрочнением на электротермических установках (ЭТУ) дало возможность при выпуске 500 тыс. т. в год такого проката экономить 169,5 млн. кВт·ч электроэнергии или 37 тыс. т. условного топлива [1].

Итогом плодотворной работы Института черной металлургии совместно со специалистами комбината "Криворожсталь" явился ввод впервые в мире в 1967 г. в промышленную эксплуатацию в потоке прокатки стана 250–1 установки для термомеханического упрочнения стержневой арматуры. При этом были успешно решены многие инженерные задачи различной сложности и главная из них – создание охлаждающих устройств, обеспечивающих интенсивный отбор тепла с прокатного нагрева от движущегося со скоростями 15–20 м/с арматурного проката и разработка теоретических основ и технологических положений получения с помощью этих устройств высоких уровней прочности арматуры.

Разработанный комплекс охлаждающих устройств, размещенный по оси прокатки стана 250–1 и получивший впоследствии название "трассы термического упрочнения", состоял по обеим линиям стана из двух блоков. Первый из них – блок предварительного охлаждения (БПО), имел одну охлаждающую секцию, размещенную между последней чистовой клетью и барабанными ножницами. Второй – блок глубокого охлаждения (БГО), размещался после барабанных ножниц и состоял из четырех охлаждающих секций. В БПО выполняли охлаждение проката от температур конца прокатки (1050–1080⁰С) до 800–950⁰С. В БГО прокат

окончательно охлаждали со сверхкритической скоростью (не менее $300^{\circ}\text{C}/\text{с}$) до заданной среднemasсовой температуры.

Оснастка охлаждающих секций состояла из прямоточной форсунки и трубчатой камеры охлаждения. Воду высокого давления (до 2,0 МПа) в камеру охлаждения подавали через кольцообразное сопло форсунки в направлении движения проката. При этом скорость движения воды в камере охлаждения превышает в 1,5–2,0 раза скорость движения проката.

Для технологического процесса термомеханического упрочнения арматурной стали был выбран способ прерванной закалки с самоотпуском. Настоящий способ в условиях непродолжительного времени, обусловленного высокой скоростью прокатки и расположением основного технологического оборудования стана, позволял выполнять охлаждение прилегающих к поверхности обрабатываемого проката слоев до температур ниже точки M_n , благодаря чему в нем формировался мартенсит. После прерывания операции закалки и перераспределения оставшегося в сердцевине стержня тепла по сечению температура арматуры у поверхности повышалась, а в центре – понижалась. Последнее приводило к самоотпуску в поверхностных слоях и к диффузионному либо промежуточному распаду сохранившегося аустенита по кинетике, характерной для повышенных скоростей охлаждения. Регулирование структуры и свойств при термоупрочнении производили изменением длительности охлаждения в трассе термического упрочнения, а также путем изменения давления воды, подаваемой в БПО. В соответствии с выбранной конструктивной схемой линии термоупрочнения секции охлаждения наряду с интенсивным отбором тепла выполняют также важную функцию транспортирования проката после раскроя его барабанными ножницами к холодильнику стана. Транспортирующую способность секции приобретают за счет передачи части кинетической энергии движущейся в трубчатой камере воды высокого давления обрабатываемому стержню.

После определенного периода эксплуатации установки и накопленного опыта были разработаны режимы упрочнения арматуры для классов прочности А400 – А500С в одном лишь БПО. Для повышения упрочняющей способности БПО проводили удлинение его камеры охлаждения. Подобным образом был реконструирован и БГО. Здесь вместо четырех секций была установлена одна, но с возможным удлинением ее камеры охлаждения. В таком состоянии установка термоупрочнения МС 250–1 КГГМК "Криворожсталь" находилось до конца 1999 г. Установки термоупрочнения по способу прерванной закалки с самоотпуском были созданы и внедрены ИЧМ на других предприятиях металлургического комплекса бывшего СССР: стане 250–1 Череповецкого комбината, станах 250–1 и 250–2 Западно-Сибирского комбината, стане 250–5 комбината "Криворожсталь".

Однако, начиная с конца 80–х годов и особенно в 90–е годы XX столетия, значительным образом изменились требования к показателям механических свойств, эксплуатационных характеристик и к качеству проката, ужесточилось воздействие экономических факторов. Так, в подавляющем большинстве стандартов стран–потребителей арматурного проката строго регламентированы требования к значениям условного предела упругости и его отношения к пределу текучести, величине выносливости, реологическим свойствам, стойкости к изгибающе–разгибающей деформации и т.д. Обострилось внимание к стойкости против коррозионного растрескивания под напряжением и водородному охрупчиванию, стабильности получаемых механических свойств.

Потребность в дальнейшем снижении себестоимости продукции активизировала поиск новых технологий, обеспечивающих дополнительное уменьшение содержания легирующих элементов в сталях. Разработка новых решений по повышению управляемости процессом формирования структуры и свойств упрочняемого проката была начата в ИЧМ НАНУ с исследований по выявлению возможности управления процессом самоотпуска мартенсита в слое, прилегающем к поверхности арматурного стержня. С этой целью вместо непрерывного интенсивного охлаждения для упрочнения было применено прерывистое. При таком охлаждении отдельные непродолжительные периоды интенсивного охлаждения чередуются с паузами между ними. Общая же сумма длительностей всех периодов охлаждения остается равной длительности непрерывного интенсивного охлаждения, обеспечивающего тот же уровень прочностных свойств. При организации прерывистого охлаждения продолжительность первого периода интенсивного охлаждения выбирали такой, чтобы толщина формирующегося поверхностного слоя мартенсита не превышала 0,4–0,6 мм. В свою очередь, длительность паузы, следующей за первым периодом охлаждения, определяли исходя из значения температуры, до которой должен быть, отогрет слой мартенсита, сформированный при первом периоде охлаждения. За счет таких режимов обработки поверхностного слоя процесс самоотпуска образующегося мартенсита становится полностью управляемым и не зависит от величины прочностных характеристик, которые приобретает арматурный прокат после применения полного режима термоупрочнения. Благодаря разработке этого способа, было достигнуто улучшение многих свойств, зависящих от состояния поверхности упрочняемого проката. В результате стало возможным, например, повышение на один–два порядка стойкости проката из рядовых экономнолегированных арматурных сталей к коррозионному растрескиванию под напряжением в сравнении с тем уровнем, который обеспечивает непрерывное охлаждение [8]. Было достигнуто полное исключение случаев хрупкого поперечного разрушения стержней с повышенным содержанием металлургического

водорода в стали при изготовлении или эксплуатации из них предварительно напряженных металлоконструкций [9]. Также были значительно улучшены ударная вязкость, хладостойкость, сопротивляемость разрушению при циклических нагрузках и др.

Наряду с характеристиками, уровень которых определяется состоянием поверхности стержня, возникла необходимость создания технологических способов управления агрегатными свойствами упрочняемой стали, в том числе и отдельными характеристиками из комплекса этих свойств. Решение последней задачи найдено путем применения прерывистого охлаждения, в том числе с применением числа циклов более двух. При этом потребовалось проведение исследований влияния условий охлаждения на кинетику распада аустенита, остающегося непревращенным в сечении стержня к моменту завершения формирования мартенсита в слоях у его поверхности. В результате выполненных исследований было установлено, что термоциклирование, имеющее место в значительном объеме по сечению арматурного стержня при прерывистом охлаждении, может существенным образом влиять на кинетику превращений и формирование структуры при распаде переохлажденного аустенита. После термоциклирования распад аустенита может начинаться без инкубационного периода, а сами превращения могут идти со скоростями, намного превышающими те, которые наблюдаются в условиях непрерывного охлаждения или условиях, подобных изотермическим [10, 11].

При применении режимов прерывистого охлаждения, разработанных с учетом данных о влиянии термоциклирования на устойчивость переохлажденного аустенита, была достигнута возможность изменения механизма структурообразования по сечению арматурного стержня. Установлено, что в значительной части объема упрочняемого арматурного стержня, в котором при непрерывном охлаждении формировался лишь мартенсит, происходит образование структур диффузионного или промежуточного типов превращений. Это позволяет при сохранении всех механических свойств на требуемом уровне, значительным образом повысить сопротивляемость электронагреву (испытания, моделирующие процесс электронапряжения арматуры при изготовлении железобетонных конструкций) даже при пониженном содержании легирующих элементов в стали. Подобный результат реальным образом позволил вернуться к вопросу использования полуспокойных сталей для производства термически упрочняемого проката классов прочности А800 и А1000 [12, 19].

Формирование в сердцевинных слоях стержней структур, большая часть из которых возникает за счет реализации по промежуточному либо диффузионному типу распада аустенита, позволила, в свою очередь, исключить образование в теле стержня резкой границы перехода от

структуры мартенсита к бейнитным или смешанным структурам, что наблюдается при применении непрерывного охлаждения.

Резкая граница контакта структур различных типов является мощным концентратором внутренних растягивающих напряжений. При повышенном содержании металлургического водорода наблюдались случаи образования внутренних продольных трещин, развитие которых приводило к разрушениям стержней при производстве, транспортировке или изготовлении из них металлоконструкций [9]. Применение режимов термоупрочнения, предупреждающих появление резкой структурной границы, полностью исключило случаи разрушения стержней по причине образования в них внутренних трещин.

Благодаря применению режимов термического упрочнения с использованием прерывистого охлаждения, обеспечивающих управляемое формирование структурообразованием при превращениях аустенита в сердцевинных слоях арматурных стержней, позволило дополнительно улучшить пластические характеристики стали, повысить условный предел упругости и условный предел текучести.

Значительный положительный эффект в повышении управляемости формированием необходимой структуры и заданного комплекса механических и служебных свойств, достигаемый в процессе термомеханического упрочнения стержневой арматурной стали при прерывистом охлаждении, был подтвержден разработкой и внедрением ИЧМ НАНУ такой технологии производства арматурной стали в потоке стана 320/150 Белорусского металлургического завода, стана 300–2 Узбекского металлургического комбината, стана 250–2 Западно–Сибирского металлургического комбината [13], на реконструированных установках термоупрочнения стана МС 250–1 и среднесортного стана 450 Западно–Сибирского меткомбината [14, 15]. После реконструкции электросталеплавильного и прокатного производств в 1996–1998 г. Молдавского металлургического завода, которое позволило значительно уменьшить содержание серы, фосфора, газов (прежде всего металлургического водорода), неметаллических включений и пр. в электросталеплавильном переделе и одновременное применение прерывистого охлаждения арматурной стали в потоке стана 320/150 [16] обеспечило конкурентоспособность данного вида металлопродукции производства ММЗ на мировом рынке металлопроката.

Проведенная в конце 1999 г. реконструкция трассы термоупрочнения арматурной стали в потоке стана 250–1 КГТМК "Криворожсталь" позволило реализовать преимущества технологии производства термомеханически упрочненной стержневой арматуры, разработанной ИЧМ НАНУ совместно со специалистами меткомбината "Криворожсталь" по сравнению с ранее разработанной ИЧМ технологией прерванной закалки с самоотпуском и, тем самым, обеспечить конкурентоспособность, производимой "Криворожсталью"

металлопродукции на уровне лучших зарубежных аналогов [17, 18]. В результате проведенных мероприятий было установлено, что новая многосекционная термоустановка полностью удовлетворяет требованиям лучших зарубежных аналогов на производство термоупрочненной арматурной стали классов прочности А400С – А500С. Кроме того, использование технологии прерывистого охлаждения в потоке стана 250–1 комбината "Криворожсталь" позволило реализовать новую арматурную сталь типа 30ГС (с повышенным содержанием углерода по сравнению со сталью марки 20ГС) на класс прочности А1000, не выпускаемой ни одним металлургическим предприятием стран СНГ [19]. Было установлено, что сопротивляемость разупрочнению при электронагреве высокопрочной арматуры из стали Ст30ГС, термически упрочненной с применением прерывистого охлаждения, не уступает арматуре из стали марки 20ГС2 и превосходит арматуру из стали марки 20ГС, термически упрочненных по режимам с непрерывным интенсивным охлаждением [1].

С другой стороны, полученные при исследовании стойкости к разупрочнению при электронагреве данные свидетельствуют, что химическим составом стали Ст30ГС резерв содержания легирующих для стали, которая служит материалом для производства арматуры класса А1000, все еще не исчерпан.

Кроме этого выполненный анализ показателей механических свойств арматурного проката диаметром 8–14 мм классов А400С – А1000 (в таком широком диапазоне прочностных, пластических и эксплуатационных свойств), изготавливаемой на новой установке термоупрочнения МС 250–1 комбината "Криворожсталь" показал [20], что прерывистое (многоцикловое) охлаждение при сохранении заданного уровня прочностных свойств обеспечивает арматурному прокату повышенные на 20–30 % значения пластических характеристик против устанавливаемых нормативной документацией. Вместе с тем в ходе проведенных исследований было также установлено, что термомеханическое упрочнение по режимам с прерывистым охлаждением арматурной стали марки 20ГС (на одних и тех же плавках) класса А1000 в соответствии с непрерывным существенно повышает стойкость высокопрочной арматуры к коррозионному растрескиванию под напряжением. При этом показано также, что усталостная прочность высокопрочной арматуры из стали марки 20ГС, обработанной по схеме прерывистого охлаждения на 25 % выше, чем арматура из той же стали, но упрочненная по схеме с непрерывным охлаждением.

Разработанный ИЧМ в содружестве с комбинатом "Криворожсталь" состав микролегированной полупокойной стали марки Ст30ГТРпс с невысоким (0,5–1,1 %) содержанием марганца и минимизированным (до 0,10 %) содержанием кремния и прошедший опытно–промышленную проверку при производстве термоупрочненной арматурной стали диаметром 12, 14, 16 и 18 мм на класс прочности А800

по способу прерывистого охлаждения в потоке станов МС 250–1 и МС 250–5 показало, что по регламентируемым показателям качества, прочности и пластичности соответствуют современным требованиям отечественного и международных стандартов [19]. При этом было определено, что разупрочнение высокопрочной арматуры из стали марки 30ГТРпс в результате электронагрева до 450⁰С, необходимое для создания предварительно напряженного железобетона, незначительно (не более 1,0–1,5 % от исходного уровня прочностных характеристик).

В процессе производства арматуры происходит изменение скорости и температуры прокатки, давления и температуры охлаждающей воды, длительности принудительного охлаждения и пр., что существенно влияет на процессы структурообразования и формирования уровня свойств обрабатываемого проката. В связи с этим, приобретает все большую необходимость создания средств контроля и управления формированием структурным состоянием упрочняемого проката непосредственно в процессе принудительного охлаждения. Применение таких средств должно позволить существенно повысить надежность прогнозирования и достижения заданных механических свойств готового проката [21].

В настоящее время из разрабатываемых и доведенных до уровня возможного практического применения способов непосредственного контроля процесса упрочнения может быть назван лишь один, позволяющий определять количество мартенсита, сформировавшегося в прокате на момент его определения. Способ основан на способности мартенсита к намагничиванию под влиянием импульсов электромагнитного поля, и заключается, таким образом, в регистрации количества магнитной фазы в структуре упрочняемого проката. Определение количества мартенсита (магнитной фазы) в момент завершения принудительного охлаждения позволяет оценить количество сохранившегося в сердцевинных слоях проката тепла, и, далее, конечное структурное состояние и механические свойства готового проката.

Разработанный в ИЧМ НАНУ датчик магнитной фазы и установленный за многосекционной установкой термоупрочнения в потоке стана МС 250–1 позволил в ходе освоения новой термоустановки при массовом производстве стержневой арматуры диаметром 12 мм из стали марки Ст3ТРпс выявить интервалы значений количества магнитной фазы, в пределах которых готовый прокат гарантированно отвечает требованиям классов А400С и А500С. Освоенный способ управления процессом термомеханического упрочнения на МС 250–1 на основании ограничений содержания магнитной фазы позволяет полностью исключить случаи получения проката с механическими характеристиками, не соответствующими заданному классу прочности и существенным образом повысить стабильность механических свойств проката в генеральной совокупности [22].

На основании проведенных исследований по влиянию различных технологических параметров на количество образующейся магнитной фазы в процессе термомеханического упрочнения арматурной стали и соответственно достигаемые при этом прочностные характеристики была разработана методика автоматизированного управления процессом термомеханического упрочнения арматурной стали в потоке прокатки МС 250–1 комбината "Криворожсталь" [23]. С помощью этой методики в зависимости от технологических параметров процесса термоупрочнения (скорости прокатки, давления воды по секциям, температуры проката, температуры охлаждающей и отработанной воды и ее расхода, температуры самоотпуска и др.) рассчитываются по уравнениям определения количества магнитной фазы, необходимой для достижения заданных прочностных характеристик готового арматурного проката. Применение этих уравнений в компьютерных программах обеспечивает возможность полной автоматизации процесса термомеханического упрочнения арматурного проката в условиях его массового производства.

1. Высокопрочная арматурная сталь / А.А. Кугушин, И.Г. Узлов, В.В. Калмыков, С.А. Мадатян, А.В. Ивченко. – М.: Металлургия, 1986. – 272 с.
2. Соколовский П.И. Арматурные стали. – М.: Металлургия, 1964. – 208 с.
3. Мулин Н.М. Стержневая арматура железобетонных конструкций. – М.: Стройиздат, 1974. – 232 с.
4. Термическое упрочнение проката / К.Ф. Стародубов, И.Г. Узлов, В.Я. Савенков, С.Н. Поляков, Ю.З. Борковский, В.В. Калмыков. – М.: Металлургия, 1970. – 368 с.
5. Высокопрочные арматурные стали / А.П. Гуляев, А.С. Астафьев, М.А. Волкова, Е.А. Клаустинг, И.М. Лейкин, А.В. Тюрин. – М.: Металлургия, 1966. – 139 с.
6. Термическое упрочнение незакаливающейся углеродистой стали / З.Н. Кrasilьщиков, Н.В. Шмидт, Е.Н. Швач, Н.Т. Павленко, С.Е. Нечепоренко. – Л.: Судпромгиз, 1960. – 148 с.
7. Узлов И.Г., Савенков В.Я., Поляков С.Н. Термическая обработка проката. – К.: Техніка, 1981. – 159 с.
8. Повышение стойкости против коррозионного растрескивания термомеханически упрочненной арматурной стали / С.И. Морозов, А.И. Погорелов, Е.М. Демченко, А.Г. Клепиков, О.Г. Сидоренко, Г.М. Красовская // Сталь. – 1994. – № 6. – С. 66–69.
9. Виды разрушений термомеханически упрочненной арматуры, подверженной водородному охрупчиванию / О.Г. Сидоренко, И.П. Федорова, Е.М. Демченко, А.Г. Клепиков, В.Г. Раздобреев // Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии. – К.: Наукова думка, 1995. – С. 222–229.
10. Сидоренко О.Г., Волков К.В. Механизм влияния термоциклирования на формирование структуры и свойств в низкоуглеродистых сталях // Проблемы современного материаловедения: Науч. труды ПГАСиА. – Днепропетровск, 1998. – С. 81–82.
11. Сидоренко О.Г., Федорова И.П., Волков К.В. Некоторые особенности формирования структуры на начальных этапах распада аустенита,

- подвергаемого термоциклированию / Проблемы современного материаловедения // Сб. научн. тр. Вып. 8, ч. 1. – Дн-ск, ПГАСиА, 1999. – С. 39–40.
12. Влияние прерывистого охлаждения при термическом упрочнении стержневой арматуры на формирование структуры и свойств / О.Г. Сидоренко, И.П. Федорова, М.Ф. Евсюков, К.В. Волков // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 1998. – № 3. – С. 59–61.
 13. Обеспечение высокого сопротивления хрупкому разрушению стержневой арматуры нового поколения А500С со структурой естественного композита / П.Д. Одесский, Г.М. Красовская, А.А. Зборовский // Материаловедение. – 1999. – № 11. – С. 49–55.
 14. Освоение массового производства арматурной стали повышенной надежности класса А400С для железобетона / Р.С. Айзатулов, В.Т. Черненко, С.А. Мадатян и др. // Сталь. – 1998. – № 6. – С. 53–58.
 15. Прерывистое охлаждение арматуры большого диаметра в потоке стана 450 / А.Б.Юрьев, В.Д.Сарычев, В.Я. Чиноколов, М.В. Зезиков, В.Е.Громов // Известия ВУЗов. Черная металлургия. – 2002. – № 2. – С. 44–46.
 16. Термомеханическая обработка проката из непрерывнолитой заготовки малого сечения / Парусов В.В., Белитченко А.К., Богданов Н.А., Сычков А.Б., Нестеренко А.М., Парусов О.В. – Запорожье: ЗГУ, 2000. – 142 с.
 17. Новые научно-технологические положения и конструктивные решения процесса термомеханического упрочнения стержневой арматуры / В.А. Шеремет, И.Н. Смяненко, М.А. Бабенко, И.А. Гунькин, И.М. Любимов, И.Г. Узлов, О.Г. Сидоренко, В.А. Чигринский // Теория и практика металлургии. – 1999. – № 3. – С. 31–33.
 18. Особенности структурообразования и формирования свойств прерывистого охлаждения арматурной стали / И.Г. Узлов, О.Г. Сидоренко, В.А. Шеремет, Н.М. Омесь, И.М. Любимов // Теория и практика металлургии. – 1999. – № 3. – С. 33–35.
 19. Арматурные стали нового поколения и технологические аспекты их производства / В.А. Вихлевщук, В.А. Нечепоренко, Ю.Н. Омесь и др. // Теория и практика металлургии. – 1999. – № 3. – С. 4–13.
 20. Сравнительное исследование структуры и свойств высокопрочного арматурного проката, термически упрочненного на многосекционной установке термоупрочнения по схеме непрерывного и прерывистого охлаждения / И.Г. Узлов, О.Г. Сидоренко, В.Г. Раздобреев, И.П. Федорова, А.В. Мамаев // Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии. – К.: Наукова думка, 2002. – Вып. 5, – С. 302–307.
 21. Управляемое термическое упрочнение проката / И.Г. Узлов, В.В. Парусов, Р.В. Гвоздев, О.В. Филонов. – К.: Техника. – 1989. – 118 с.
 22. Контроль процесса термомеханического упрочнения арматурного проката при помощи датчика магнитной фазы / И.Г. Узлов, О.Г. Сидоренко, В.А. Шеремет, Н.М. Омесь, И.Н. Смяненко, Н.П. Белый // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2001. – № 6. – С. 61–63.
 23. Автоматизация управления процессом термомеханического упрочнения арматурного проката / И.Г. Узлов, О.Г. Сидоренко, В.А. Шеремет, А.В. Кекух, Н.П. Белый, А.В. Мамаев // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2003. – № 5. – С. 56–58.