

УДК 621.771.252:669.045.001.8

**Э. В. Парусов, к. т. н., с. н. с.; А. Б. Сычков, д. т. н., проф.; С. И. Губенко, д. т. н., проф.; И. Н. Чуйко, к. т. н.**

## **АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ ОХЛАЖДЕНИЯ БУНТОВОГО ПРОКАТА НА ЛИНИИ СТЕЛМОР ОАО «ММЗ»**

*В работе выполнен анализ технологических особенностей охлаждения бунтового проката в условиях ОАО «Молдавский металлургический завод» (ВАТ «ММЗ»).*

*Сегодня в условиях ОАО «ММЗ» освоены уникальные технологии изготовления высокоэффективных видов бунтового проката из стали, микролегированной бором. Разработка рациональных режимов деформационно-термической обработки позволила обеспечить изготовление металлопродукции нового поколения для метизной промышленности, в частности бунтового проката из низкоуглеродистых и низколегированных марок сталей, подвергаемого волочению со степенями деформации 97,9...98,8 % без применения смягчающей термической обработки, а также бунтового проката из высокоуглеродистых марок сталей, предназначенного для изготовления стальных арматурных канатов, проволоочной арматуры, металлокорда, пружин и пр., способного выдерживать суммарную степень деформации до ~95 %.*

**Ключевые слова:** бунтовой прокат, технология изготовления, деформационно-термическая обработка, микролегирование бором.

**Введение.** Мировое производство бунтового проката (катанки) составляет ~ 10...12 % от общего объема прокатной продукции, что объясняется широким сортаментом и назначением изготавливаемых металлоизделий: пружины, металлокорд, канаты, проволоочная арматура, иглы, струны, фибра, крепежные изделия, электроды и пр.

Традиционно одной из главных задач при производстве бунтового проката являлось снижение потерь металла в окалину в процессе его охлаждения. В то же время в большинстве случаев успешное достижение вышеуказанной задачи приводило к ухудшению структуры и комплекса механических свойств готовой металлопродукции.

Процессы, происходящие при охлаждении металла после горячей деформации, связаны с особенностями структурного состояния деформированного аустенита, который формируется в процессе многократной высокотемпературной деформации и позволяет управлять как процессами упрочнения, так и разупрочнения углеродистых сталей [1, 2, 3]. Это связано со спецификой применяемых режимов регулируемого охлаждения проката в процессе деформационно-термической обработки и базируется на фундаментальных положениях фазовых и структурных превращений в стали.

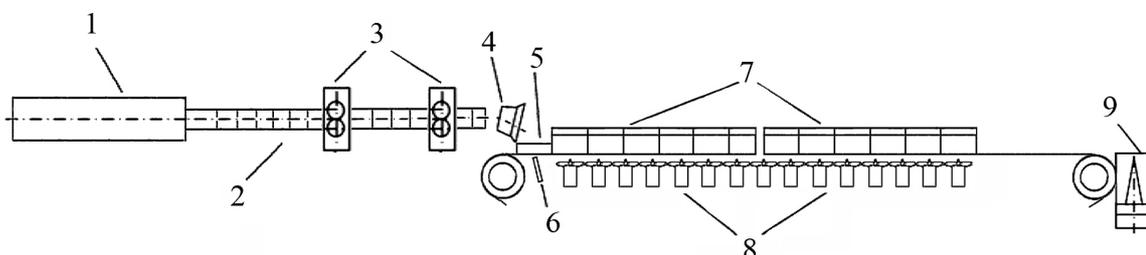
Применяемые на сегодняшний день способы охлаждения бунтового проката можно разделить на следующие группы: охлаждение водой в проводящих трубах; двухстадийное охлаждение; охлаждение в ванне с подогретой водой и поверхностно активными веществами; охлаждение в воде и псевдосжиженном слое; другие способы охлаждения [4 – 10].

Самое широкое применение в металлургической практике получил способ охлаждения проката, разработанный в 1962 году компаниями «Steel companies of Canada» (Канада) и «Morgan Construction Company» (США) [11]. Такой способ охлаждения называют стелмор-процесс, а технологический участок охлаждения бунтового проката – линией двухстадийного водо-воздушного охлаждения Стелмор [11].

**Цель работы** – анализ технологических особенностей охлаждения бунтового проката в условиях ОАО «Молдавский металлургический завод».

**Материалы и методики исследований.** В качестве материала для исследований выбраны промышленные партии бунтового проката из низкоуглеродистых, низколегированных (сварочного назначения) и высокоуглеродистых марок стали. Методика исследований заключалась в оценке качественных показателей горячекатаного проката и его технологичности на метизном переделе.

**Результаты исследований и их обсуждение.** Сущность стелмор-процесса заключается в следующем (рис. 1): бунтовой прокат, выходящий из последней чистой клетки проволочного блока, подвергают ступенчатому охлаждению водой от температур конца прокатки до 750...900 °С (до ~ 550 °С для арматурного проката в бунтах). Между секциями водяного охлаждения происходит выравнивание температуры по сечению металла, вследствие чего обеспечивается эффект прерывистого охлаждения (принцип термоциклирования). После водяного охлаждения происходит раскладка проката витками на транспортер, а при последующем перемещении витков наступает вторая стадия охлаждения – воздушная, где применяют дутьевые вентиляторные системы. В зависимости от марочного сортамента и назначения проката скорость перемещения витков на транспортере может изменяться в широком диапазоне скоростей охлаждения от 0,1 до 1,3 м/с [12].



1 – проволочный прокатный блок; 2 – участок водяного охлаждения; 3 – трайбаппараты; 4 – виткообразователь; 5 – приемный стол витков проката; 6 – пирометр; 7 – участок регулируемого воздушного охлаждения с сетчатым транспортером и теплоизоляционными крышками; 8 – дутьевые воздушные вентиляторы (15 шт. мощностью по 15 кВт); 9 – шахта виткосборника

Рис. 1. Принципиальная схема участка водо-воздушного охлаждения бунтового проката на линии Стелмор проволочного стана 320/150 ОАО «ММЗ» (до модернизации)

С целью получения эффективной микроструктуры и оптимальных механических свойств проката постоянно совершенствуют и создают различные комбинации вышеперечисленных способов охлаждения проката, в том числе и на линии Стелмор. В частности, при производстве проката из средне- и высокоуглеродистых марок стали, используют линию Стелмор с длиной участка воздушного охлаждения (транспортера) ~ 70 м, а для низкоуглеродистых, легированных и сложнелегированных сталей, предназначенных, в частности, для изготовления сварочной проволоки, длина участка воздушного охлаждения на линии Стелмор составляет ~ 100 м и более [13].

Конструктивные особенности линии Стелмор позволяют реализовывать различные режимы охлаждения бунтового проката:

1. Нормализацию (охлаждение на спокойном воздухе), при этом все термоизолирующие крышки над транспортером открыты, дутьевые вентиляторы выключены. Такой режим охлаждения способствует формированию мелкозернистой структуры металла, что обеспечивает достижение оптимальных прочностных и пластических показателей для конструкционных марок стали.

2. Замедленное охлаждение проката с минимальной скоростью на транспортере (все теплоизоляционные крышки закрыты). Это позволяет получить рекристаллизованную крупнозернистую структуру феррита в металле, для которой свойственно снижение

прочностных показателей и повышение пластических. Такой способ охлаждения применяют для производства низкоуглеродистых марок стали и сталей сварочного назначения, подвергаемых существенным степеням деформации ( $\geq 90\%$ ) на метизном переделе, а также для производства проката под холодную высадку и пружинного назначения из легированных марок стали.

3. Ускоренное воздушное охлаждение проката дутьевыми вентиляторами от температур раскладки проката на витки (теплоизоляционные крышки открыты), а при достижении требуемого температурного интервала – охлаждение под закрытыми крышками и далее на спокойном воздухе. Обычно такой способ охлаждения применяют для изготовления высокоуглеродистых марок стали с целью получения дисперсной перлитной структуры, что позволяет исключить патентирование в процессе переработки такого проката.

Перечисленные режимы охлаждения бунтового проката на линии Стелмор основаны на дифференцировании скорости охлаждения и контролируемого управления процессами структурообразования в сталях.

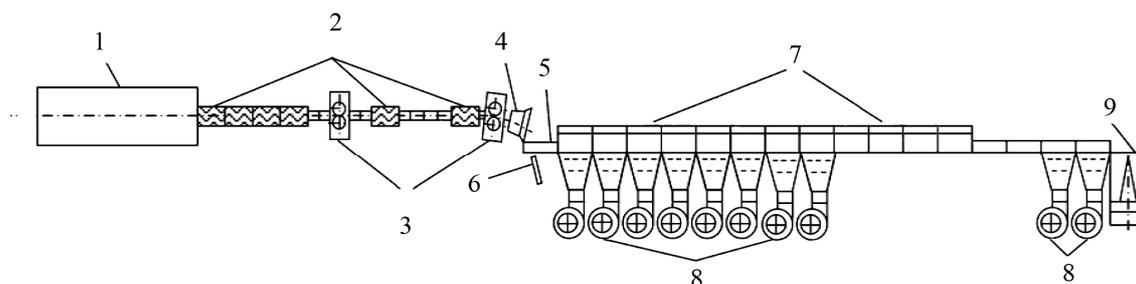
Одним из немногих металлургических предприятий, которое сегодня обладает передовыми технологическими процессами производства высокоэффективных видов бунтового проката, наиболее востребованных метизной отраслью является ОАО «Молдавский металлургический завод» (ОАО «ММЗ»), который был введен в эксплуатацию в январе 1985 г.

Изначально предприятие было нацелено на производство фасонного, арматурного и бунтового проката рядового назначения из стали, изготовленной из металлолома (основная шихта), поставляемого из Молдавии и Украины. Комбинированный мелкосортно-проволочный стан 320/150 ОАО «ММЗ» проектировался ГП «УКРГИПРОМЕЗ» (г. Днепропетровск) по техническому заданию ИЧМ им. З. И. Некрасова НАН Украины (г. Днепропетровск). Изготовление и монтаж оборудования, а также пуско-наладочные работы выполняла компания «SKET» (Магдебург, ГДР) [14].

В качестве исходного подката для стана 320/150 было предусмотрено использование непрерывнолитой заготовки сечением  $125 \times 125$  мм, изготавливаемой с применением электродуговой сталеплавильной печи. Проектный проволочный блок был рассчитан на скорость прокатки в чистовой клети до 80 м/с, а для получения требуемой микроструктуры и механических показателей использовали регулируемое двухстадийное охлаждение проката на линии Стелмор, длина участка воздушного охлаждения которой составляла  $\sim 75$  м (от виткообразователя до виткосборника), длина участка под теплоизолирующими крышками – 40 м.

С целью освоения производства нового качественного сортамента сталей и переориентирования реализации металлопродукции на рынки дальнего зарубежья (европейские страны, США, страны Южной Америки, Австралии и т. д.) необходимо было исключить ряд конструкторских недостатков установленного оборудования.

Для повышения производительности прокатного оборудования и возможности производства новых высокоэффективных видов бунтового проката, по праву считающегося сегодня металлопродукцией нового поколения, на ОАО «ММЗ» в период с 1997 по 2001 гг. была выполнена масштабная реконструкция с модернизацией комбинированного прокатного стана в двухниточный. Это позволило осуществить одновременную прокатку на сортовой и проволочной линиях. Длина воздушного участка охлаждения линии Стелмор (рис. 2), которая не имеет на сегодняшний день аналогов, была увеличена до 147 м, в том числе под теплоизолирующими крышками – до 120 м; сетчатый транспортер витков был заменен на многокаскадный роликовый. Рабочая скорость прокатки составила 110 м/с.



1 – проволочный прокатный блок; 2 – участок водяного охлаждения; 3 – трайбаппараты; 4 – виткообразователь; 5 – приемный стол витков проката; 6 – пирометр; 7 – участок регулируемого воздушного охлаждения с роликвым транспортером и теплоизоляционными крышками; 8 – дутьевые воздушные вентиляторы (6 шт. мощностью по 160 кВт и 4 шт. по 55 кВт); 9 – шахта виткосборника

Рис. 2. Принципиальная схема участка водо-воздушного охлаждения бунтового проката на линии Стелмор проволочного стана 320/150 ОАО «ММЗ» после модернизации

Модернизация линии Стелмор ОАО «ММЗ» была обусловлена тем, что на тот момент не обеспечивалось производство бунтового проката, соответствующего контрактным требованиям потребителей, а также европейским и международным стандартам. Анализ литературных источников, в частности работы [15], позволил сформулировать цели и задачи по улучшению качества бунтового проката за счет совершенствования проектируемого оборудования, а также возможности регулируемого управления режимами деформационно-термической обработки проката в потоке непрерывного проволочного стана 320/150.

В результате проведенных мероприятий в условиях ОАО «ММЗ» была введена в эксплуатацию новая линия двухстадийного водо-воздушного охлаждения, которая позволила выполнять регулируемое охлаждение бунтового проката различных марок стали в широком диапазоне скоростей охлаждения от 0,1 до 30 °C/c [16 – 23].

Охлаждение бунтового проката на модернизированной проволочной линии (см. рис. 2) имеет следующие особенности:

- водяное форсуночное охлаждение проката с участками для выравнивания его температуры по сечению;
- возможность реализации охлаждения витков проката с различными скоростями;
- вместо сетчатого транспортера и участка от виткоукладчика до шахты виткосборника длиной 75 м установлен роликвый каскадный транспортер длиной 147 м, состоящий из 14 зон с регулируемыми приводами, что обеспечивает перемещение витков проката со скоростью 0,1 до 1,3 м/с;
- длина участка воздушного охлаждения под теплоизоляционными крышками увеличена почти в три раза (в отличие от предыдущей конструкции) и составляет ~ 120 м;
- вместо 15 дутьевых вентиляторов (см. рис. 1) мощностью по 15 кВт каждый установлены 6 блоков струйного охлаждения мощностью по 160 кВт со скоростью вращения до 1500 мин<sup>-1</sup> и регулируемой частотой, а также 4 дутьевых вентилятора мощностью по 55 кВт, которые изначально были установлены перед шахтой виткосборника, а впоследствии для повышения охлаждающей способности металла два из них перенесены в начало линии (см. рис. 2).

Отличительной особенностью вентиляторных систем на модернизированной линии Стелмор является наличие сопловых панелей, обеспечивающих дифференцированную подачу воздуха по ширине транспортера, что позволяет свести до минимума разброс механических свойств по длине витка проката. Несовершенство вентиляторных систем, которые не обеспечивают требуемого охлаждения металла по ширине транспортера,

вызывает неоднородность формирования микроструктуры и механических свойств проката. Такой эффект довольно часто наблюдают на практике при охлаждении бунтового проката на линии Стелмор [24].

Разработка рациональных режимов деформационно-термической обработки позволила обеспечить изготовление металлопродукции нового поколения для метизной промышленности [3, 6, 19], в частности бунтового проката (замедленное охлаждение) из низкоуглеродистых и низколегированных марок сталей, подвергаемого волочению со степенями деформации 97,9...98,8 % без применения смягчающей термической обработки, а также бунтового проката (высокая скорость охлаждения) из высокоуглеродистых марок сталей, предназначенного для изготовления стальных арматурных канатов, проволочной арматуры, металлокорда, пружин и др., способного выдерживать суммарную степень деформации до ~ 95 % [6, 21, 25, 26].

Необходимо отметить, что такая металлопродукция пользуется повышенным спросом на национальных и мировых рынках сбыта по сравнению с бунтовым прокатом обычного качества. Производство и переработка металлопроката повышенной деформируемости позволяет существенно улучшить технико-экономические показатели как самих металлургических предприятий (за счет повышения цены реализации), так и метизных предприятий (за счет исключения дополнительной термической обработки и возможности применения механического способа удаления поверхностной окалины, вместо традиционно используемого кислотного травления).

Сегодня в условиях ОАО «ММЗ» освоены уникальные технологии изготовления высокоэффективных видов бунтового проката из стали, микролегированной бором [27]:

1. Из низкоуглеродистых, низко- и легированных марок сталей (SAE 1006...1008, Св-08Г2С, Св-08ГНМ, Св-08Г1НМА, Св-08ХГ2СМФ, Св-10ХГ2СМФ, Св-10НМА и др.) и для производства проволоки для холодной высадки. Достигнуты максимально возможные пластические показатели, которые обеспечивают хорошую технологичность переработки на метизном переделе без применения дополнительной термической обработки (рекристаллизационного отжига) с отдельного нагрева.

2. Из высокоуглеродистых марок стали 72D...С86D (EN 16120-2:2011) диаметром 5,5...14,0 мм, в том числе легированных ванадием и/или хромом и предназначенных, в частности, для переработки в стабилизированные арматурные канаты диаметром 9,3...18,0 мм различных классов прочности (1670...1860 МПа) и холоднодеформированную проволочную арматуру для предварительно напряженных железобетонных конструкций.

Промышленное внедрение разработанных режимов деформационно-термической обработки позволило обеспечить прямое волочение бунтового проката из высокоуглеродистых марок сталей на метизном переделе без применения патентирования. В этом случае дисперсность перлита и однородность его распределения по сечению проката играет главную роль. Структура сорбитообразного перлита (межпластиночное расстояние менее 0,2 мкм) позволяет достигать больших степеней суммарного относительного обжатия при производстве проволоки. В связи с постоянной модернизацией парка волочильного оборудования и соответственно повышения скоростей волочения потребность в высококачественном прокате растет из года в год. Обеспечение классов прочности готовых изделий в диапазоне 1670...1860 МПа достигают при временном сопротивлении разрыву бунтового проката в состоянии поставки не менее 1150 МПа, что на практике является весьма трудновыполнимой задачей, особенно с ростом номинального диаметра проката. Несмотря на имеющиеся сложности, путем комплексного фундаментального подхода к решению проблемы, основанного на рациональном выборе химического состава, технологии разлива жидкой стали и возможности регулируемого управления параметрами деформационно-термической обработки, достигнуты качественные показатели

металлопроката, которые соответствуют уровню лучших мировых производителей (ArcelorMittal Hamburg, FnSteel, Ovako).

Несмотря на достигнутые научно-технические и практические результаты, дальнейшим стратегическим планом развития ОАО «ММЗ» предусмотрена модернизация электросталеплавильного цеха, которая позволит приступить к освоению новых перспективных марок и видов металлопроката. Основное направление модернизации заключается в возможности производства непрерывнолитой заготовки более крупного сечения (150×150...180×180 мм) и возможности использования технологии многоуровневого электромагнитного перемешивания металла с максимальным сокращением или полным исключением столбчатой дендритной литой структуры.

Немаловажной является и дальнейшее усовершенствование линии Стелмор, что позволит разработать новые усовершенствованные режимы регулируемого охлаждения с применением полной изотермической выдержки витков проката на роликовом транспортере. Это будет способствовать реализации таких видов поточной термической обработки, как рекристаллизационный отжиг и патентирование, что обеспечит формирование эксклюзивного комплекса (микроструктура, механические свойства) свойств бунтового проката.

### Выводы

Основываясь на положительном практическом опыте производства высокоэффективных видов бунтового проката в условиях ОАО «ММЗ» и принимая во внимание состав технологического оборудования, можно утверждать, что для повышения качественных показателей бунтового проката, изготавливаемого на металлургических предприятиях Украины, необходимо выполнить следующие мероприятия:

- произвести монтаж современных установок электромагнитного перемешивания на участке кристаллизации непрерывнолитой заготовки (в кристаллизаторе, в зонах вторичного и окончательного охлаждения) с целью снижения влияния дендритной литой структуры на качество готового металлопроката;

- исключить (при необходимости) стадию водяного охлаждения, что позволит добиться равномерности распределения структурных составляющих по сечению проката, что особенно важно для проката больших диаметров;

- произвести замену воздушных дутьевых вентиляторных систем на более мощные с возможностью дифференцированного распределения воздушных потоков через 6...8 индивидуальных каналов по ширине транспортера линии Стелмор;

- обеспечить герметизацию туннеля воздушного охлаждения над роликовым транспортером под теплоизоляционными крышками для исключения подсоса воздуха;

- произвести монтаж в рабочем туннеле под теплоизоляционными крышками дополнительных электронагревателей и циркуляционных вентиляторов с целью реализации режима изотермического распада аустенита в процессе непрерывного охлаждения проката.

Модернизация, не требующая существенных капитальных вложений и базирующаяся на проведении вышеперечисленных мероприятий, позволит существенно повысить качественные показатели изготавливаемого бунтового проката, а также дополнительно освоить технологии производства новых высокоэффективных видов металлопродукции на металлургических предприятиях Украины.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Разупрочняющая термомеханическая обработка проката из углеродистой стали / В. В. Парусов, А. Б. Сычков, В. А. Луценко, Э. В. Парусов // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2003. – № 6. – С. 54 – 56.

2. Научные и технологические аспекты производства высококачественной катанки / В. В. Парусов, Наукові праці ВНТУ, 2016, № 3

- А. Б. Сычков, О. В. Парусов, И. Н. Чуйко // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2010. – № 2. – С. 139 – 145.
3. Освоение технологии производства катанки из стали Св-08ГНМ на Молдавском металлургическом заводе / И. Н. Чуйко, В. В. Парусов, О. В. Парусов [и др.] // *Строительство, материаловедение, машиностроение: Сб. научн. трудов. – Дн-вск, ПГАСА, 2007. – Вып. 41, ч. 2. – С. 129 – 134.*
4. Потемкин К. Д. Термическая обработка и волочение высокопрочной проволоки / К. Д. Потемкин. – М. : *Металлургия*, 1963. – 120 с.
5. Лемпицкий В. В. Прогрессивные способы повышения качества стали / В. В. Лемпицкий, И. Н. Голиков, Н. Ф. Склокин. – М. : «*Металлургия*», 1968. – 340 с.
6. Парусов В. В. Теоретические и технологические основы производства высокоэффективных видов катанки / В. В. Парусов, А. Б. Сычков, Э. В. Парусов. – Дн-ск. : «*АРТ-ПРЕСС*», 2012. – 376 с.
7. Металлургические и металловедческие аспекты производства высокоуглеродистой катанки / А. Б. Сычков, М. А. Жигарев, А. Ю. Столяров и [др.]. – Магн. гос. техн. универ. им. Г. И. Носова, 2014. – 257 с.
8. Парусов В. В. Развитие научных и технологических основ производства катанки для изготовления канатов и металлокорда / В. В. Парусов, А. М. Нестеренко, Р. В. Старов [и др.] // *Метизная промышленность XXI века: проблемы и перспективы: Сб. научн. трудов. – Донецк, 2001. – С. 31 – 33.*
9. Структура и технологическая пластичность ускоренно охлажденной углеродистой катанки / В. В. Парусов, В. К. Бабич, А. И. Сивак [и др.] // *Сталь. – 1982. – № 9. – С. 78 – 80.*
10. Микроструктура канатной катанки, сорбитизированной с прокатного нагрева / Г. П. Борисенко, А. А. Горбанев, В. А. Кулеша [и др.] // *Сталь. – 1987. – № 10. – С. 84 – 87.*
11. Dull T. The Stelmor process for controlled cooling of roll / T. Dull, A. Dove, I. Hitchcock // *Wire and Wire Products. – 1964. – V. 39. – P. 1605.*
12. Современные требования к качественным показателям катанки различного назначения / Э. В. Парусов, И. Н. Чуйко, Л. В. Сагура [и др.] // XIX Международная научно-практическая конференция «*Металлургия: технологии, инновации, качество*», 15-16 декабря 2015 г. Российская Федерация, Новокузнецк // *Материалы конференции. – 2015. – С. 90 – 96.*
13. Сычков А. Б. Развитие устройств и способов для термической обработки катанки / А. Б. Сычков, С. О. Малашкин, М. А. Жигарев // *Сталь. – 2015. – № 10. – С. 50 – 54.*
14. Непрерывный мелкосортно-проволочный стан Молдавского металлургического завода / Н. А. Богданов, В. В. Медведев, Б. А. Бирюков [и др.] // *Металлург. – 1988. – № 6. – С. 60 – 63.*
15. Lestani Massimo. Danieli structure control system / Lestani Massimo. – Danieli. – Morgardshammar. – Butrio: Italy, 1995. – 51 p.
16. Модернизация оборудования и совершенствование технологии для производства качественного проката в условиях Молдавского металлургического завода (ММЗ) / А. Б. Сычков, Н. А. Богданов, В. В. Парусов [и др.] // *Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2002. – № 8 – 9. – С. 306 – 312.*
17. Высокоуглеродистая катанка из стали, микролегированной ванадием / В. В. Парусов, А. Б. Сычков, Э. В. Парусов [и др.] // *Металлург. – 2004. – № 12. – С. 63 – 67.*
18. Катанка повышенной деформируемости из стали Св-08Г2С / В. В. Парусов, А. Б. Сычков, И. В. Деревянченко [и др.] // *Металлург. – 2007. – № 2. – С. 64 – 70.*
19. Освоение производства сварочной катанки из легированной стали Св-08ХГСМФА / А. Б. Сычков, В. В. Парусов, М. А. Жигарев [и др.] // *Металлург. – 2007. – № 7. – С. 63 – 69.*
20. Режим двухстадийного охлаждения катанки из стали 80КРД на линии Стилмор / Э. В. Парусов, В. В. Парусов, М. Ф. Евсюков [и др.] // *Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2006. – № 3. – С. 64 – 67.*
21. Научно-технологические достижения отдела термической обработки металла для машиностроения за 2009-2014 г.г. / Э. В. Парусов, В. В. Парусов, Л. В. Сагура [и др.] // *Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии: Сб. научн. тр. ИЧМ. Днепропетровск: «Візіон». – 2014. – Вып. 29 – С. 322 – 328.*
22. Разработка режима двухстадийного охлаждения катанки из стали С80D2, микролегированной бором и ванадием / Э. В. Парусов, В. В. Парусов, Л. В. Сагура [и др.] // *Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2011. – № 3. – С. 53 – 56.*
23. Разработка режима термомеханической обработки катанки из стали 85, микролегированной бором, на основе закономерностей превращений аустенита при непрерывном охлаждении / Э. В. Парусов, В. В. Парусов, Л. В. Сагура [и др.] // *Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2015. – № 3. – С. 54 – 58.*
24. Теоретические и технологические основы высокоскоростной прокатки катанки / А. А. Горбанев, С. М. Жучков, В. В. Филиппов [и др.]. – Мн. : Выш. шк. – 2003. – 287 с.
25. Разработка энерго- и ресурсосберегающей технологии производства высокопрочных прядей / Э. В. Парусов, В. В. Парусов, Л. В. Сагура [и др.] // *Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2015. – № 1. – С. 157 – 160.*
26. Разработка технологии производства высокоуглеродистой катанки для ее энерго- и ресурсосберегающей переработки на метизном переделе / Э. В. Парусов, В. В. Парусов, А. Б. Сычков [и др.] // *Строительство, Наукові праці ВНТУ, 2016, № 3*

материаловедение, машиностроение: Сб. научн. тр. – Днепропетровск. – 2010. – Вып. 53. – С. 146 – 152.

27. Пат. 103113 Украина, МПК С 22 С 38/32, С 22 С 38/54. Сталь для глубокого волочіння / В. В. Парусов, О. В. Парусов, Е. В. Парусов [та інш.]; заявник та власник Інститут чорної металургії ім. З. І. Некрасова Національної академії наук України. – № a201203164 ; заявл. 19.03.2012 ; опубл. 10.09.2013, Бюл. № 17.

**Парусов Едуард Владимирович** – к. т. н., с. н. с., и. о. заведующего отделом термической обработки металла для машиностроения, tometal@ukr.net.

Институт чёрной металлургии им. З. И. Некрасова Национальной академии наук Украины (ИЧМ НАНУ).

**Сичков Александр Борисович** – д. т. н., проф., профессор кафедры литейного производства и материаловедения, absyckov@mail.ru.

Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова (МГТУ).

**Губенко Светлана Ивановна** – д. т. н., проф., профессор кафедры материаловедения, sigubenko@gmail.com.

ГВУЗ «Национальная металлургическая академия Украины» (ГВУЗ «НМетАУ»).

**Чуйко Игорь Николаевич** – к. т. н., научный сотрудник отдела термической обработки металла для машиностроения, ichuuko@mail.ru.

Институт чёрной металлургии им. З. И. Некрасова Национальной академии наук Украины (ИЧМ НАНУ).