

С.М. Жучков

ИСТОРИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ СОРТОПРОКАТНОГО ПРОИЗВОДСТВА В РАБОТАХ ИНСТИТУТА

Приведен краткий обзор наиболее значимых разработок, созданных в прокатном отделе Института черной металлургии им. З.И.Некрасова НАН Украины, сформулированы перспективы развития исследований отдела в области производства сортового проката и катанки.

Развитие производства во всех отраслях народного хозяйства, требовало повышения качества и наращивания объемов производства сортового проката, в том числе, проката для армирования железобетонных конструкций, и катанки. В начале 50-х годов XX века удовлетворение этих потребностей осуществлялось за счет широкомасштабного строительства в рамках СЭВ новых сортовых и проволочных станков. Отделом физико-технических проблем процессов прокатки сортового и специального проката (ранее Прокатный отдел, далее в тексте – аббревиатура ОПС) традиционно выполнялись исследования в области теории и технологии обжимно-заготовочного, сортопрокатного производства и производства катанки.

Исследования Института черной металлургии в области сортопрокатного производства выполнялись под научным руководством создателя прокатного отдела, академика А.П.Чекмарева, инициатора многих нетрадиционных технических решений в области производства проката, таких как интенсификация процессов прокатки на обжимных станах, прокатка сортового проката с размерами в минусовом поле допусков, развития новых технологических процессов, в частности, процесса бесконечной сортовой прокатки и многих других [1]. Это предопределило тематику и основные направления исследований в работах прокатного отдела Института.

В 1953–1963 гг. специалистами ОПС с участием других организаций, металлургических заводов и институтов был выполнен комплекс научно-исследовательских работ, направленных на освоение технологии и оборудования новых и реконструированных станков, а также на повышение качества проката за счет совершенствования режимов работы этих станков. Эти исследования носили двоякий характер. С одной стороны, результаты работ были направлены на научное и технологическое обеспечение пуска и освоения проектных мощностей новых прокатных станков (блюмингов, непрерывно-заготовочных, непрерывных мелкосортных и проволочных станков) с последующим совершенствованием технологии производства сортовых заготовок, слябов, сортового проката и катанки, также на совершенствование

оборудования и систем управления агрегатами и процессами в условиях конкретных металлургических предприятий. С другой стороны – в рамках этих работ решались общеотраслевые задачи по отработке параметров типовых технологий, что давало возможность без существенных материальных затрат повышать уровень металлургического производства.

В эти годы в отделе трудились известные ученые–прокатчики: В.М.Клименко, основавший и возглавивший впоследствии кафедру «Обработка металлов давлением» Донецкого политехнического института (ныне ДонНТУ), создавший, по сути, донецкую школу прокатчиков; Ф.Е.Долженков, впоследствии долгое время возглавлявший Донецкий научно–исследовательский институт черных металлов, В.И. Мелешко, первый руководитель отдела проблем прокатки листа ИЧМ, В.Л.Павлов, впоследствии долгое время работавший ученым секретарем Института; В.Д.Чехранов и Ю.С.Чернобривенко впоследствии долгое время работавшие заместителями директора Института.

В 60–е годы XX века в связи с резким увеличением объема производства стали в отечественной металлургии возникла диспропорция между ее выпуском и пропускной способностью обжимных станов. Решение этой проблемы во многом стало возможным, благодаря интенсификации процесса прокатки на обжимных станах за счет ужесточения режимов обжатий и широкой реализации на обжимных станах технологии, предусматривающей одновременную прокатку на блюмингах и слябингах двух и более слитков («многослитковая прокатка») [2]. Создание этих технологических решений явилось результатом комплекса научно–исследовательских работ, выполненных ОПС с участием специалистов Отдела металлургического машиноведения (ОММ), таких как «Теоретическое и экспериментальное исследование динамики главных линий современных блюмингов, слябингов и непрерывно–заготовочных станов», «Выбор технологических параметров процесса прокатки, обеспечивающих максимальную производительность и минимальные динамические нагрузки в линиях передач станов», «Разработка рациональных режимов работы современных блюмингов, слябингов и непрерывно–заготовочных станов с целью повышения их производительности и улучшения качества блюмов, слябов и заготовок». Результаты выполненных исследований показали, что увеличение обжатий при прокатке на блюмингах повышает равномерность деформации и создает схему напряженного состояния, способствующую сохранению сплошности деформируемого металла, в отличие от прокатки с малыми обжатиями. Это, в конечном счете, приводит к улучшению качества полупродукта. Тем самым была опровергнута теория „осторожных» обжатий, которой раньше руководствовались при выборе режимов прокатки на обжимных станах [3].

Процесс многослитковой прокатки на блюмингах и слябингах был

разработан, опробован и в сотрудничестве с заводскими работниками широко реализован в 1959–1975 гг. Сущность многослитковой прокатки состоит в том, что на обжимном стане в один проход деформируют не менее двух слитков последовательно один за другим, практически без паузы. Таким образом, прокатку раскатов и их кантовку осуществляют попарно. При значительной длине двух раскатов, образующейся после 8–10-го прохода, их кантуют порознь и затем прокатывают последовательно по одному. Реализация технологии двухслитковой прокатки, впервые в отечественной практике осуществленная на блюмингах 1150 Днепровского металлургического завода им. Дзержинского и комбината «Криворожсталь», в 1959–1960 гг. позволила увеличить среднечасовую производительность на 15–37% [4,5]. Одновременная прокатка трех слитков массой каждого 8–8,5 т, впервые осуществленная в 1962–1972 гг. на блюминге 1300 «Криворожстали», обеспечила увеличение среднечасовой производительности на 30,8% и прирост объема производства на 4%.

Результаты разработок этого периода впоследствии использовались на Челябинском, Западно-Сибирском и Коммунарском металлургических заводах. Использование технологии двух- и трехслитковой прокатки на 10 блюмингах и двух слябингах в 1972 году обеспечило прирост производства блюмов и слябов на 6,8 млн. т. За разработку, освоение и широкое промышленное внедрение этой прогрессивной технологии сотрудники прокатного отдела Института А.П.Чекмарев, В.И.Мелешко, В.Л.Павлов, В.Д.Чехранов были удостоены Государственной премии УССР в области науки и техники за 1970 г.

В области обжимно-заготовочного производства специалистами прокатного отдела Института совместно со специалистами других организаций был выполнен комплекс исследований, направленных на решение задачи государственной важности — разработку и освоение технологии прокатки из слитков титановых сплавов заготовок диаметром 120–140, 205–330 мм на обжимных станах заводов черной металлургии. Реализация результатов этих исследований позволила в два раза снизить трудоемкость производства заготовок из титановых сплавов, уменьшить количество недокатов с 18,5% до 0,9%, обрести на 15–20% и снизить глубину поверхностных дефектов на 25–50%. За разработку и организацию высокоэффективного промышленного производства широкого сортамента заготовок из титановых сплавов сотрудники прокатного отдела Института В.Д.Чехранов, В.М.Полещук, И.Н.Давидсон в 1982 г. были удостоены премии Совета Министров СССР в области науки и техники.

Исследования, направленные на совершенствование технологии обжимно-заготовочного производства в 70–80-е годы развивались наиболее интенсивно. В лаборатории обжимно-заготовочного производства, возглавляемой В.Д.Чехрановым, обеспечивающей научное

сопровождение этого направления, трудились такие известные специалисты, как В.И.Мелешко, В.Л.Павлов, В.А.Токарев, В.М.Полещук, В.В.Бобров, А.Н.Марков, И.Н.Давидсон, Г.Ф.Онушкевич, В.Н.Давыдов и др. К пионерским научным исследованиям того времени можно отнести:

1. Комплекс исследований по разработке и внедрению устройств «Риф-51», применявшихся для восстановления накатки калибров валков блюминга без вывалки их из клетки. Эта разработка использована на ряде отечественных блюмингов, в частности на блюмингах «Криворожстали», в Индии на блюминге Бхилайского меткомбината.

2. Комплекс исследований по разработке и освоению энергоэкономной технологии нагрева и прокатки слитков с повышенным теплосодержанием (с жидкой сердцевиной), выполненной в 1982 г. Эта разработка, получившая в последние годы второе рождение, реализована на Алчевском меткомбинате, комбинате «Криворожсталь».

3. Разработка технологии прокатки слитков на блюмингах с контролируемой подачей охладителя на валки, в основу которой положена идея прокатки слитков в калибрах, неохлаждаемых в период контакта с металлом. Эта разработка, была реализована на комбинате «Криворожсталь».

Исследования и разработки прокатчиков Института, направленные на оптимизацию нестационарных процессов прокатки и температурного режима работы валков для увеличения их стойкости и уменьшения за счет этого количества поверхностных дефектов на прокате, вызвали большой практический интерес на металлургических предприятиях. Использование этих разработок позволило на 25–35% повысить стойкость калибров и на 15–20% уменьшить количество поверхностных дефектов на заготовке [6].

Опыт освоения и совершенствования технологии обжимно–заготовочного производства на различных металлургических предприятиях лег в 1979 и 1986 годах в основу отраслевых типовых технологических инструкций Минчермета страны «Производство блюмов, слябов и заготовок на обжимных и непрерывных заготовочных станах из углеродистых и низколегированных сталей».

Массовое строительство непрерывных сортовых и проволочных станов в отечественной металлургии в 60–х годах XX века обусловило необходимость разработки научных и технологических основ непрерывной сортовой прокатки. Необходимы были надежные методы расчета основных параметров непрерывной прокатки: давления металла на валки, силы, момента и мощности прокатки, методики определения величины опережения и уширения при наличии натяжения или подпора в полосе, прокатываемой одновременно во всех клетях непрерывного стана. Соответствующим образом развивалась тематика прокатного отдела. В лаборатории непрерывной прокатки сортовых профилей и катанки прокатного отдела, обеспечивающей научное

сопровождение этого направления, трудились такие известные ученые и специалисты, как Ю.С.Чернобривенко, В.А.Теряев, Н.П.Спиридонов, М.П.Топоровский, В.П.Гречко, Г.П.Борисенко, В.И.Биба, А.П.Лохматов, М.Д.Куцыгин, А.А.Горбанев, Л.В.Кулаков, Ю.Г.Куцов, В.Л.Шибаев, Б.Н.Колосов, В.В.Вишневецкий, В.А.Станкевич, Ю.М.Беклемешев, Э.В.Сивак, В.Г.Черниченко и др. Этим научным подразделением ОПС, были сформулированы основные положения технологии непрерывной сортовой прокатки и прокатки катанки высокой точности [7]. При разработке теоретических основ непрерывной сортовой прокатки в 60–70 годах наиболее значимые научные результаты, были получены на основании исследований, выполненных в рамках научно–исследовательских работ, в частности:

«Разработка теоретических основ точной прокатки» (Н.П.Спиридонов, Г.П.Борисенко, В.И.Биба);

«Разработка методики расчета оптимального скоростного режима прокатки сортовых профилей повышенной точности на непрерывных станах» (Н.П.Спиридонов, М.П.Топоровский, М.Д.Куцыгин);

«Определение оптимальных технических характеристик рабочих клетей и разработка рационального скоростного режима непрерывных мелкосортных станов» (Ю.С.Чернобривенко, В.А.Теряев, В.И.Биба, Г.П.Борисенко, М.Д.Куцыгин) и др.

«Разработка процесса производства катанки высокого качества диаметром 5мм с точностью $\pm 0,1$ мм в блочных группах со скоростью прокатки выше 50 м/с и технологических средств, обеспечивающих внедрение этого процесса на непрерывных станах» (Г.П.Борисенко, А.А.Горбанев, Ю.Г.Куцов, Б.Н.Колосов)

Увеличение потребности в крепежных изделиях массового назначения и высокая эффективность их изготовления методом холодного выдавливания и высадки предопределила необходимость разработки технологии производства подката для их изготовления, получаемого на непрерывных мелкосортных станах [8–10]. Большая заслуга в разработке комплексной технологии производства подката для калиброванной стали и изделий, получаемых методом холодного выдавливания и высадки в условиях массового металлургического производства принадлежит сотрудникам ОПС Ю.С.Чернобривенко, А.П.Лохматову, В.И.Бибе, М.Д.Куцыгину, В.Г.Черниченко.

Важнейший этап развития тематики научных исследований прокатного отдела 60–70 годов связан с созданием принципиально нового процесса, – бесконечной сортовой прокатки, являющегося естественным развитием процесса непрерывной прокатки. Реализация этого процесса позволяла решить проблемы повышения эффективности использования непрерывных сортопрокатных станов, поставленные временем перед академиком А.П.Чекмаревым [11]. Был необходим

комплексный подход, поскольку кроме вопросов прокатного производства, было необходимо решить ряд серьёзных смежных задач, в частности, поиск наиболее эффективного способа соединения заготовок. В работах, направленных на разработку и освоение процесса бесконечной сортовой прокатки, принимал участие практически весь состав прокатного отдела того времени.

Практическая реализация идеи бесконечной прокатки в потоке современного высокопроизводительного непрерывного сортопрокатного стана была связана с необходимостью выработки технологической концепции этого процесса. Необходимость размещения стыкосварочного оборудования в технологическом потоке непрерывного сортопрокатного стана привела к созданию мелкосортных станов бесконечной прокатки новой планировки – с увеличенным расстоянием между нагревательной печью и первой клетью для размещения стыкосварочного оборудования. Непрерывные мелкосортные станы такого типа для реализации бесконечной прокатки были построены на Западно–Сибирском и Челябинском меткомбинатах, на меткомбинате «Криворожсталь».

С целью выработки концепции конструкции стыкосварочной машины исследовались её различные альтернативные варианты. Промышленное опробование технологии бесконечной прокатки осуществляли с использованием стационарной и подвижной («летучей») стыкосварочной машины. Для реализации каждого из вариантов был необходим соответствующий состав уникального технологического оборудования. Помимо необходимости в создании соответствующего стыкосварочного оборудования, решались другие сопутствующие задачи, в частности, выполнялись исследования и разработки, направленные на обеспечение высокого качества сварного шва на готовом прокате. Это позволяло использовать по назначению весь прокат, в том числе с участком сварного шва. Одновременно с этим, решалась задача создания средств для определения места сварного шва на готовом прокате, чтобы в случае необходимости удалять его из готового проката при раскросе. Успешное решение первой задачи усложняло решение второй: чем качественнее шов, тем труднее найти его на готовом прокате. Такой многовариантный подход к исследованиям позволил получить обширные знания об особенностях процесса бесконечной прокатки.

Успешное решение задач, связанных с промышленной реализацией процесса бесконечной прокатки, обеспечила комплексность выполнения этих работ. В исследованиях и разработках принимали участие ведущие научно–исследовательские институты страны – Институт черной металлургии (Днепропетровск), Институт электросварки им. Е.О.Патона (Киев), Институт металлургического машиностроения (ВНИИМетМаш) и Институт интроскопии (Москва) и ряд других, металлургические предприятия, на которых осваивалась технология бесконечной прокатки – Западно–Сибирский, Магнитогорский и Макеевский меткомбинаты,

Старо-Краматорский завод тяжелого машиностроения (СКМЗ), зарубежные фирмы, в частности, фирма СКЭТ (Германия), изготовившая технологическое оборудование для реализации процесса бесконечной прокатки на мелкосортном стане 250 Записметкомбината, и много других предприятий, фирм и институтов. В выполнении комплекса работ по исследованию, разработке и освоению процесса бесконечной сортовой прокатки на непрерывных мелкосортных станах Макеевки и Запсиба принимали участие большинство научных подразделений Института – прокатчики, машиноведы, металловеды, термисты и др. Большую роль в развитии исследований этого процесса сыграли сотрудники отдела Ю.С.Чернобривенко, (возглавивший впоследствии прокатный отдел), В.П.Гречко, В.А.Теряев, Ю.Г.Куцов, В.В.Вишневецкий, Э.В.Сивак, В.А.Почкай, В.Н.Давыдов, В.А.Станкевич, Ю.М.Беклемешев, А.В.Пыжиков и др.)

В настоящее время процесс бесконечной прокатки с использованием летучих стыкосварочных машин, разработанный фирмой «Nippon Kokan Koji», и развитый фирмами «Danieli» и «Shloemann–Siemag» успешно используется в Финляндии, Дании, странах Южной Америки и Юго-Восточной Азии. Интерес к процессу бесконечной сортовой прокатки в последние годы проявляют наиболее эффективно работающие комбинат «Криворожсталь», Белорусский и Молдавский металлургический заводы. Учитывая то, что в Украине ряд мелкосортных и проволочных станов был спроектирован и построен в 60-х годах как станы бесконечной прокатки, следует ожидать в ближайшее время повышение интереса и у украинских прокатчиков к этому процессу. Так, мелкосортные станы 250-4 и 250-5 меткомбината «Криворожсталь» созданы как станы бесконечной прокатки. Четырехниточный проволочный стан 250 ОАО «Енакиевский металлургический завод» также имеет достаточно большое расстояние между нагревательной печью и первой клетью, чтобы реализовать этот процесс. Таким образом, в настоящее время процесс бесконечной сортовой прокатки обретает второе рождение. Академик А.П. Чекмарев, под руководством которого были созданы теоретические и технологические основы бесконечной сортовой прокатки, с решением этой проблемы опередил время. В настоящее время этот процесс получает все большее развитие в мировой практике производства проката.

В связи с расширением объемов исследований и спецификой производства катанки на современных проволочных станах научное подразделение, обеспечивающее решение научных задач непрерывной сортовой прокатки, было разделено на две самостоятельные научные лаборатории – лабораторию непрерывной прокатки сортовой стали и лабораторию производства катанки, которые возглавили, соответственно, А.П.Лохматов и Г.П.Борисенко. Знания и опыт, полученные сотрудниками этих лабораторий в процессе разработки основных положений технологии непрерывной

сортовой прокатки и прокатки катанки, использовались в 70–80–х годах при освоении технологии производства проката на новых непрерывных сортовых и проволочных станах, при разработке предложений по совершенствованию технологии и оборудования этих станов. Так, был выполнен комплекс научно–исследовательских работ, направленных на освоение технологии производства профилей на уникальном первом в отечественной практике непрерывном среднесортном стане 450 Западно-Сибирского меткомбината (ЗСМК). В исследованиях, направленных на освоение и совершенствование технологии непрерывной прокатки фасонных профилей широкого сортамента, впервые осуществленной в нашей стране на стане 450 ЗСМК, активное участие принимали сотрудники отдела Ю.С.Чернобривенко, А.П.Лохматов, В.А.Теряев, В.Л.Шибает, Л.В.Кулаков, С.М.Жучков. С участием специалистов прокатного отдела Института на этом стане впервые в нашей стране было освоено производство тонкостенных фасонных профилей [12, 13]. Эта работа и сотрудники отдела Ю.С.Чернобривенко, А.П.Лохматов, В.А.Теряев были удостоены в 1981г. премии Совета Министров СССР в области науки и техники.

Активное участие принимали сотрудники отдела в освоении технологии производства сортового проката и катанки на первых в стране мелкосортно– проволочных станах на Белорусском (БМЗ) и Молдавском (ММЗ) мини – металлургических заводов [14, 15]. В исследованиях, направленных на совершенствование технологии производства проката на мини–заводах, принимали участие сотрудники отдела В.А.Теряев, Л.В.Кулаков, А.П.Лохматов, А.А.Горбанев, Б.Н.Колосов, Э.В.Сивак, С.М.Жучков, В.А.Токмаков и др.

В то же время, научно исследовательской работой «Разработка технологической части проектного задания модернизации прокатного цеха Белорецкого меткомбината с применением чистовых блочных групп с целью снижения расхода металла, повышения точности катанки до $\pm 0,15$ мм и уменьшения диаметра катанки до 5,5мм», выполненной лабораторией производства катанки, было положено начало разработке научных и технологических основ высокоскоростной прокатки катанки. Этот этап исследований, выполненных с участием Г.П.Борисенко, А.А.Горбанева, Б.Н.Колосова, Д.А.Деркача и др., завершился успешным освоением технологии прокатки высококачественной катанки на первом в отечественной практике стане с чистовыми высокоскоростными блоками — проволочном стане 150 Белорецкого меткомбината (БМК) [16].

Опыт освоения новой технологии на стане 150 БМК способствовал успешному освоению технологии производства высококачественной катанки на реконструированных проволочных станах Череповецкого (ЧерМК) и Магнитогорского (ММК) металлургических комбинатов [17]. За комплекс работ по созданию и освоению технологии

производства на новых и реконструируемых проволочных станах катанки высокого качества, выполнявшихся совместно с отделом металлургического машиноведения, сотрудники Института Г.П.Борисенко, А.А.Горбанев и А.М.Юнаков в 1987г. были удостоены Государственной премии СССР в области науки и техники.

Впоследствии на стане 150 БМК была разработана и реализована энергосберегающая технология производства катанки из заготовок с пониженным теплосодержанием. Её использование позволило снизить общий расход энергии на нагрев и прокатку и расход металла за счет уменьшения окалинообразования при нагреве заготовок [18]. Под руководством Г.П. Борисенко была разработана новая, не имеющая аналогов в мировой практике технология производства катанки, не требующей травления при последующей ее переработке в метизном переделе.

Результаты исследований энергосиловых и технологических параметров процесса высокоскоростной прокатки катанки со скоростями более 100 м/с в сочетании с практическими результатами освоения новой технологии на проволочных станах БМК, ЧерМК и ММК, а также на мелкосортно – проволочных станах БМЗ и ММЗ позволили сформулировать основные требования к современному эффективно работающему проволочному стану для производства катанки высокого качества [17].

В области технологии производства железнодорожных колес, колец и бандажей научно–исследовательские работы с 1967 года выполнялись в ОПС лабораторией производства цельнокатаных колес прокатного отдела Института, возглавляемой М.Е.Шифриным, (с 1985 года этой лабораторией руководил М.С.Валетов). Исследования в области производства железнодорожных колес выполнялись совместно с отделом металловедения и термической обработки стали Института. В научно–исследовательских работах этой лаборатории, основной задачей которой являлось исследование, разработка и освоение новых технологических процессов производства изделий в виде тел вращения (колес, колец), развивались три научно–технических направления [19,20]:

- исследования, направленные на обеспечение освоения проектных показателей новых мощностей;
- работы по расширению сортамента выпускаемых изделий;
- работы по разработке и освоению технологических приемов деформирования, повышающих эффективность производства колес, колец и бандажей.

Существенный вклад в развитие колесно-кольцевой тематики, кроме заведующих лабораторией, внесли Ю.Г.Тубольцев, В.И.Хейфец, А.Б.Илюкович, В.А.Тарасова, Л.А.Левицкий и др. Работы выполненные этим подразделением были по достоинству оценены. В 1982г. за создание и внедрение прогрессивных технологических процессов и

высокоэффективного оборудования для поточного производства цельнокатаных железнодорожных колес сотрудникам Института И.Г.Узлову и М.Е.Шифрину была присуждена Государственная премия СССР в области науки и техники

В 1982 году в прокатном отделе Института были начаты исследования в новом научно—техническом направлении разработки и освоения в промышленных условиях технологии производства заготовок для изготовления сплошных и полых вагонных осей. В этом направлении работала группа исследователей в составе Ю.Е.Коваленко, А.Р.Пименова, В.А.Теплякова и др. К сожалению, резкое сокращение объема финансирования отечественными производителями исследований по «колесно-кольцевой» и «осевой» тематике, привело к уходу из Института специалистов, работающих в этих направлениях, и закрытию тематики.

В сложившихся условиях развития экономики перед металлургическими предприятиями с особой остротой стоят проблемы повышения конкурентоспособности проката на внутреннем и внешнем рынках при его производстве за счет снижения энергетических и материальных затрат. В настоящее время научная и прикладная направленность исследований отдела сформирована с учетом перспектив развития горно—металлургического комплекса Украины и нацелена на решение актуальных задач теории и технологии производства сортового проката. Основные научные направления исследований в работах отдела можно кратко сформулировать следующим образом [21, 22]:

- разработка и развитие научных и технологических основ использования резерва втягивающих сил трения в очагах деформации рабочих клеток;
- развитие научных и технологических основ производства катанки на современных высокоскоростных проволочных станах;
- развитие научных и технологических основ управления качеством сортового проката и катанки;
- развитие научных и технологических основ производства специальных, в том числе фасонных профилей высокой точности из углеродистых, легированных и высокопрочных сталей методом холодной прокатки и методом прокатки—волочения (волочения в роликовых волоках).

Одним из основных направлений исследований в области непрерывной сортовой прокатки являются исследования по разработке и развитию научных и технологических основ использования резерва втягивающих сил трения в очагах деформации рабочих клеток. Результатом этих исследований явилось создание нового процесса непрерывной сортовой прокатки с использованием неприводных рабочих клеток или многоочаговых рабочих клеток [23]. Использование неприводных клеток (НК) в линии непрерывного сортопрокатного стана

дает возможность снизить энергозатраты на 15–20% за счет уменьшения расхода энергии на собственно процесс деформации и уменьшения потерь энергии в линиях привода рабочих клетей и межклетьевых промежутках; сократить габариты технологических линий станов и, соответственно, зданий для их сооружения, а, следовательно, и капитальные затраты на строительство новых и реконструкцию действующих станов. Применение НК позволяет вдвое увеличить в линии стана количество формирующих калибров без изменения его габаритов, что повышает технологическую гибкость стана. Это процесс может быть реализован как процесс непрерывной сортовой прокатки с использованием двухочаговых рабочих клетей или трехочаговых прокатных модулей (ТОМП), включающих комплекты приводных и неприводных рабочих валков, заключенных в общей станине, предназначенных для использования в системе непрерывного сортопрокатного стана или как автономное деформирующее средство.

Если основные научные положения и принципы использования двухочаговых рабочих клетей уже разработаны, то в направлении создания ТОМП и разработки теоретических положений, описывающих процесс прокатки при их использовании, ещё предстоит поработать. Использование средств деформации металла с неприводным рабочим инструментом дает возможность перевода реконструируемых станов на увеличенное сечение заготовки (например, при переходе на непрерывнолитую заготовку) без увеличения габаритов и количества приводных рабочих клетей, то есть при минимальных затратах. На принципе более полного использования резерва втягивающих сил трения в очагах деформации рабочих клетей основан процесс прокатки–разделения с применением неприводных деформационно-делительных устройств (НДДУ) в линии непрерывного стана [24]. Процесс прокатки–разделения предусматривает прокатку заготовок в одну нитку, формирование многониточного раската, его продольное разделение в линии стана и последующую прокатку в несколько ниток. Реализация этого процесса по сравнению с традиционным, используемым в зарубежной практике, обеспечивает ряд преимуществ: расширение технологических возможностей станов в результате применения одного и того же комплекта валков при прокатке арматурной стали разливочных размеров; упрощение процесса расточки валков и сокращение продолжительности этой операции; повышение стойкости калибров валков, благодаря чему сокращается количество перевалок, снижается расход валков, повышается точность размеров готового проката. Создано несколько вариантов конструкций НДДУ, выбор которых осуществляется исходя из сортамента профилей, прокатываемых с применением процесса прокатки–разделения в условиях каждого конкретного стана.

Весьма эффективно использование процесса многоручевой прокатки–разделения с применением НДДУ при разработке и промышленной реализации ресурсосберегающих технологий [25]. В этом случае, при дефиците приводных рабочих клетей и места для их размещения на конкретном стане использование НДДУ позволяет решить комплекс различных технологических задач производства.

Результаты исследований, направленных на развитие теоретических основ процессов прокатки, основанных на использовании резерва втягивающих сил трения, позволили расширить круг задач, решаемых при использовании неприводных рабочих клетей. Одной из таких задач является управление температурно-деформационным режимом непрерывной сортовой прокатки.

Для создания энергоэкономных технологий производства проката требуется использование новых подходов при разработке деформационных и скоростных режимов прокатки, позволяющих управлять как температурой металла в конце прокатки, так и границами всего температурного интервала прокатки на стане. Для решения указанной проблемы отделом выполнен комплекс исследований, в результате которых сформулированы теоретические основы технологического воздействия на статьи теплового баланса прокатываемого раската. Это позволило получить инструмент для аналитического исследования и управления температурно-деформационным режимом прокатки на непрерывном сортовом стане. При этом разработаны также инженерные методы управления статьями теплового баланса прокатываемого раската при непрерывной сортовой прокатке а, следовательно, управления температурным режимом прокатки в целом [26].

На основании результатов этих исследований были предложены усовершенствованные температурно-скоростные режимы прокатки арматурных профилей в условиях непрерывных мелкосортных станов меткомбината «Криворожсталь». Дальнейшее направление развития исследований в этой области связано с изучением влияния реологических свойств прокатываемого металла различного марочного сортамента на условия непрерывной прокатки. Это важно для оптимизации процесса непрерывной сортовой прокатки при освоении новых марок стали, в том числе, при использовании многоочаговых рабочих клетей.

Другим основным направлением исследований отдела являются работы по развитию научных и технологических основ производства катанки на современных высокоскоростных проволочных станах. В этой области выполнен комплекс теоретических исследований, направленных на разработку научных и технологических основ высокоскоростной (более 100 м/с) прокатки катанки в чистовых блоках клетей проволочных станов. Рабочие скорости прокатки на современных непрерывных проволочных и мелкосортно–проволочных станах достигают 90–100 м/с.

Новые проволочные станы рассчитаны на прокатку со скоростями 120–140 м/с, причем наблюдается тенденция дальнейшего увеличения скорости прокатки до 160–180 м/с. Вместе с тем, работают такие станы, в том числе зарубежные, на скоростях не более 100 м/с. Это связано с тем, что уже при скоростях прокатки порядка 60–90 м/с фактическое динамическое равновесие не соответствует расчетному, полученному без учета сил, которые необходимо приложить для разгона металла в очаге деформации от скорости входа до скорости выхода – массовых (инерционных) сил. Это является одной из причин того, что в настоящее время технологи не могут использовать достижения машиностроителей, которые готовы изготовить оборудование для прокатки катанки со скоростями, 150 м/с и более.

Отделом впервые в мировой практике разработаны теоретические основы непрерывной высокоскоростной прокатки катанки с учетом особенностей этого процесса [27]. В частности, учтено влияние массовых (инерционных) сил и межклетевых сил, а также характер изменения сопротивления металла деформации по клетям чистового блока. Результаты этих исследований дают возможность скорректировать параметры прокатки в существующих блоках чистовых клетей современных проволочных станков, повысить стабильность их работы и увеличить скорости прокатки до проектных значений. Кроме этого, на основании результатов этих исследований могут быть разработаны рекомендации по режимам прокатки для новых станков, рассчитанных на скорости прокатки до 150 м/с. Эти рекомендации могут быть использованы фирмами–изготовителями оборудования при разработке конструкций новых высокоскоростных блоков клетей. Такие блоки могут использоваться при реконструкции существующих проволочных станков Макеевского и Криворожского меткомбинатов.

Особенности конструкций современных проволочных станков не позволяют изменять в широких пределах температуру конца прокатки, которая является одним из основных параметров, определяющим в сочетании с последующим управляемым охлаждением структуру и свойства катанки. Оптимальным для качества катанки интервалом возможных температур конца прокатки является интервал 750–1050^oС. Однако в связи с высокими скоростями прокатки на современных проволочных станах металл за счет тепла пластической деформации начинает разогреваться, начиная от первой клетки промежуточной группы, особенно интенсивный разогрев происходит при прокатке в чистовом блоке. При этом, чем ниже температура металла на входе в первую клетку стана и чистового блока, тем больше выделение тепла деформации и повышение температуры металла при прокатке. Экспериментальные исследования и расчеты показали, что, несмотря на возможное понижение температур начала прокатки и температуры раската перед чистовым блоком, определяемое допускаемыми нагрузками, а также использование

интенсивного охлаждения между клетями блока, осуществление нормализующей и термомеханической обработки на проволочных станах с традиционной компоновкой оборудования возможно лишь в ограниченном объеме. Это возможно, например, для низкоуглеродистых сталей, имеющих достаточно высокую температуру начала структурных превращений.

С целью расширения возможности управления качеством катанки за счет регулирования температуры конца прокатки прокатным отделом совместно с ОММ была разработана новая схем расположения оборудования хвостовой части современного проволочного стана – «десятиклетевой чистовой блок – линия водяного охлаждения – низкотемпературный двухклетевой блок – линия воздушного охлаждения катанки». Эта схема впервые была реализована на стане 150 Макеевского меткомбината [28]. В последние годы высокоскоростные проволочные станы с такой компоновкой оборудования широко рекламируются зарубежными фирмами–изготовителями и поставляются в различные страны

Вместе с тем, расчеты температурного поля раската при прокатке в современных блоках и на участках первичного охлаждения водой, а также экспериментальные исследования, выполненные ИЧМ, показали, что такие средние по сечению температуры конца прокатки катанки при существующих параметрах оборудования стана недостижимы даже при изменении компоновки его хвостовой части с разделением чистового блока. Учитывая сказанное, развитие научных и технологических основ управления температурным режимом высокоскоростной прокатки катанки приобретает в настоящее время особую актуальность.

Особенностью конструкции чистовых блоков проволочных станов является жесткая кинематическая связь рабочих клеток. В связи с общим приводом клеток блока отсутствует возможность управления процессом путем изменения частот вращения валков отдельных клеток, поэтому прокатка производится с межклетевыми усилиями в раскате. Основными параметрами, с помощью которых можно управлять процессом прокатки в блоке, являются площадь сечения раската на входе в него и межвалковые зазоры по клетям блока. Данные о влиянии этих параметров на размеры готового профиля и режим натяжений для блоков стандартного типа и типа «специальный–1» в зарубежной литературе отсутствуют. ИЧМ совместно с Белоречким металлургическим комбинатом (БМК) были выполнены теоретические и экспериментальные исследования о влиянии этих параметров на режим натяжений и размеры готового профиля для блоков типа «Специальный–1», установленных на этом комбинате. Для блоков стандартного типа экспериментальные исследования были выполнены на станах 150 МакМК и Республиканского унитарного предприятия «Белорусский металлургический завод» (РУП БМЗ). На основании результатов выполненных исследований разработаны

и реализованы рациональные деформационные режимы прокатки в блоках этих станов и сформулированы требования к размерам подката на входе в блок. В результате корректировки настройки блока повышена равномерность распределения межклетьевых усилий и, соответственно, нагрузок на детали привода отдельных клетей. Это также снизило вероятность нарушения продольной устойчивости раската, особенно при производстве катанки диаметром 5,5 мм, уменьшило количество недокатов в блоке и аварийные простои стана. Анализ точности катанки на проволочном стане 150 РУП БМЗ Ø 5,5 мм показал, что при соблюдении разработанных режимов обеспечивается производство катанки с точностью $\pm 0,15$ мм и овальностью до 0,2 мм, что соответствует точности прокатки катанки, достигнутой на лучших зарубежных проволочных станах. Разработаны рекомендации по дальнейшему повышению точности катанки.

На базе результатов исследований при создании технологии безокислительного охлаждения катанки Институтом совместно с Белорецким меткомбинатом (БМК) и НИИ металлургической теплотехники (Российская Федерация) разработана и освоена универсальная технология двухстадийного охлаждения проката и оборудование для ее реализации в потоке проволочного стана 150 БМК [29]. Был выполнен комплекс исследований по отработке параметров новых технологий и оборудования струйного охлаждения катанки взамен технологии и оборудования существующей линии Стелмор. Этот комплекс исследований был направлен на создание качественно новой технологии и оборудования для производства катанки, обеспечивающих получение свойств в соответствии с требованиями метизного производства без применения патентирования перед волочением. Возможность регулирования скорости рольгангов по секциям с организацией конвективного термостатирования в сочетании с интенсивным и ускоренным охлаждением в начале и в конце линии позволила осуществить процесс воздушного патентирования большинства видов продукции стана. Воздушное патентирование в потоке проволочного стана по новой технологии обеспечивает равномерную мелкодисперсную структуру, одинаковую для катанки различных диаметров одной марки стали и одного назначения, чего не представляется возможным достичь на стандартных линиях типа Стелмор. При этом, в отличие от японской технологии DLP, предусматривающей использование солей, извести и других реагентов, не требуется дополнительной установки сложного оборудования и не ухудшается экологическая обстановка в зоне производства. Современные проволочные станы, оснащенные такими линиями управляемого охлаждения, позволяют производить катанку с механическими свойствами, близкими к своим, получаемым при ее патентировании в соляных ваннах. Об этом свидетельствует опыт Белорусского и

Молдавского метзаводов, выполнивших аналогичную реконструкцию участков охлаждения проволочных станов 150 [30].

Для своевременного и качественного решения вопросов, возникающих в процессе реструктуризации метизного передела в Украине, в 2001 году в составе отдела создана группа, развивающая новое для отдела и Института научно-техническое направление – «Технология производства специальных, в том числе фасонных профилей высокой точности из углеродистых, легированных и высокопрочных сталей методом холодной прокатки и прокатки-волочения (волочения в роликовых волокнах)». Создание такого подразделения связано с необходимостью решения технических задач производства стальной ленты, используемой в различных областях народного хозяйства, например, в качестве заготовки для производства поршневых колец из высокоуглеродистой стали для двигателей внутреннего сгорания. Дело в том, что научно-исследовательские институты, решающие задачи четвертого (метизного) передела, остались в России, а оставшиеся и вновь созданные организации не всегда справляются с комплексом задач, возникающих в этой области.

В настоящее время совместно с дочерним предприятием Одесского завода поршневых колец (ОЗПК-Днепр) в отделе разработана и освоена технология производства лент для компрессионных поршневых колец из сталей 65Г и 70. Выполняются научные и технологические изыскания по разработке процесса (технологической схемы) холодного деформирования катанки из стали У8 для получения стальной плющенной ленты для ПК методом прокатки-волочения в роликовых волокнах, а также фасонного профиля для стальных маслосъемных колец. Силами специалистов этой группы разработаны технологические схемы производства более десяти профилей высокой точности (кавалитет h9–h11) из черных и цветных металлов [31].

В отделе развиваются в научном и прикладном плане исследования по следующим актуальным направлениям:

- развитие научных и технологических основ использования резерва втягивающих сил трения в очагах деформации рабочих клетей, в том числе при использовании трехочаговых прокатных модулей;
- развитие научных и технологических основ управления температурным режимом прокатки и реологическими свойствами металла в процессе прокатки на непрерывных сортовых и проволочных станах различного конструктивно-структурного состава основного технологического оборудования;
- развитие научных и технологических основ процесса высокоскоростной прокатки и охлаждения катанки широкого марочного сортамента с целью повышения её качества за счет расширения возможностей управления температурными режимами прокатки и охлаждения

- развитие научных и технологических основ процесса многониточной прокатки–разделения в потоке стана с использованием НДДУ;

- обобщение и развитие научных и технологических положений процесса бесконечной сортовой прокатки, созданных под руководством академика А.П.Чекмарева.

Учитывая необходимость ускорения адаптации разработок к условиям конкретных металлургических предприятий, снижения затрат материальных ресурсов при их практической реализации, большое внимание в отделе уделяется созданию средств и методов компьютерного моделирования, адекватно описывающего физические условия реализации процессов. Эти средства и методы могут использоваться для аналитического исследования процессов прокатки на сортовых и проволочных и мелкосортно – проволочных станах. В этой связи в отделе интенсифицируются работы в направлении разработки математических моделей процессов непрерывной сортовой прокатки и высокоскоростной прокатки катанки в блоках чистовых клетей со скоростями более 150 м/с, адаптации этих моделей для условий конкретных производств. На основе созданных математических моделей разрабатываются программные средства расчета параметров непрерывной сортовой прокатки и высокоскоростной прокатки катанки, в том числе, в блоках чистовых клетей, имеющих общий привод и жесткую кинематическую связь между клетями. Анализ влияния различных факторов на параметры прокатки, выполненный с использованием указанных программных средств, адаптированных к условиям конкретных производств, позволяет более строго и обоснованно подойти к оптимизации процессов непрерывной сортовой прокатки и высокоскоростной прокатки катанки в блоках чистовых клетей, разработать предложения по выбору основных конструктивных параметров оборудования станов для их реконструкции.

Важным направлением в этой области является создание программных средств для ПЭВМ по прогнозированию свойств готового проката и управлению ими в условиях конкретного производства. Известно, что химический состав стали при стабильных параметрах прокатки и охлаждения оказывает статистически значимое влияние на механические свойства готового проката. Причем не только при переходе от одной марки стали к другой, но и при изменении химического состава в пределах допустимых колебаний для одной марки стали. На основании анализа результатов сдаточных испытаний на проволочном стане 150 БМК был проведен активный факторный эксперимент и получены уравнения связи свойств и структуры катанки с химическим составом и параметрами технологии прокатки и охлаждения. С использованием полученных зависимостей была разработана программа для ПЭВМ по прогнозированию свойств канатной катанки и управлению ими в режиме советчика оператора.

Повышение эффективности производства сортового проката и катанки в результате различных выполненных и планируемых реконструктивных мероприятий, должно быть обеспечено возможностями технологического оборудования конкретного сортового или проволочного стана, находившегося длительное время в эксплуатации, и соответствующими технологическими возможностями вновь установленного оборудования. Только в этом случае следует ожидать запланированного повышения эффективности производства сортового проката и катанки, обеспечения качества готового проката на уровне возрастающих требований потребителей. В этой связи экспериментальная проверка состояния и оценка возможностей основного технологического оборудования конкретного стана позволяет существенно упростить выведение его на качественно новый уровень и дает возможность более обоснованно развивать размерный и марочный сортамент производимой продукции.

Указанные обстоятельства обеспечивают актуальность исследованиям энергосиловых и технологических параметров прокатки (своего рода технологическому аудиту), выполняемым отделом на различных прокатных станах. Основной целью этих исследований является анализ влияния технологических параметров прокатки на нагрузки в линиях главных приводов двигателей рабочих клеток стана и оценка резервов основного технологического оборудования стана по мощности, моменту и усилию прокатки. Результаты этих исследований дают возможность выявить «узкие места» в технологическом процессе и сформулировать предложения по совершенствованию параметров технологии производства проката на конкретном стане.

Подводя итог сказанному, отмечу, что отдел физико–технических проблем процессов прокатки сортового и специального проката – прокатный отдел – выполняя исследования по актуальным направлениям прокатного производства, в разработках новых технологий зачастую опережал время. Яркими примерами тому являются разработка процесса бесконечной сортовой прокатки, совершенствование линий охлаждения катанки высокоскоростных проволочных станов и др. Отсутствие средств на создание экспериментальных и опытно–промышленных образцов оборудования для реализации этих технологий приводит в тому, что результаты исследований отдела получают развитие в предложениях зарубежных фирм, которые реализуют их за рубежом и предлагают отечественным предприятиям в виде законченных разработок. Сегодня отдел в состоянии решать многие задачи, стоящие перед сортопрокатным переделом отрасли – от создания научных и технологических основ производства высококачественного проката до разработки конкретных технологических схем и процессов, обеспечивающих получение конкурентоспособной продукции в самом прокатном переделе.

В практическом (прикладном) плане это, например,

- разработка предложений по совершенствованию технологии производства проката на сортовых и проволочных станах исходя из задач производства, участие в освоении этой технологии;
- участие в освоении технологии производства продукции на вновь строящихся и реконструируемых станах;
- разработка нормативно – технической документации;
- разработка технологических заданий на строительство и реконструкцию станом;
- подготовка технологических инструкций по эксплуатации станом и другие задачи.

1. *Век академика А.П.Чекмарева* / Коллективная монография под научной редакций Ю.Н.Тарана–Жовнира. – Днепропетровск, 2002.– 223 с.
2. *Многослитковая прокатка* / Г.Э.Цуканов, В.Д.Чехранов, В.А.Токарев – М.: «Металлургия», 1974. – 92 с.
3. *Чекмарев А.П.* Развитие теории обработки металлов давлением. Сталь. – 1967.– №10.– С. 917–920.
4. *Прокатка* сдвоенных слитков на блюминге / А.П.Чекмарев, В.И.Мелешко, В.Л.Павлов и др.// Сталь. – 1959.– № 3.– С. 241–247.
5. *Пути* повышения производительности блюмингов / А.П.Чекмарев, В.И.Мелешко, В.Л.Павлов и др. // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 1960.– Вып. 3.– С. 41–43.
6. *Оптимизация* нестандартных процессов прокатки / В.В.Бобров, В.М.Полешук, В.А.Гладуш. – Киев: «Техника», 1984.– 127 с.
7. *Теория* прокатки / Ю.С.Чернобривенко, В.И.Биба / Под ред. Чекмарева А.П. – М.: «Металлургия», 1975. – 419 с.
8. *Исследование* влияния технологических факторов производства стали, подката и калиброванной стали на выход годного крепежа ответственного назначения / Ю.С.Чернобривенко, В.И.Биба, Н.М.Омелья и др. // «Сортопрокатное производство», Труды УкрНииМет. – 1977. – Вып. 5. – С. 93–98
9. *Разработка* и освоение технологии производства подката для калибровки и холодной высадки / Ю.С.Чернобривенко, В.И.Биба, А.П.Лохматов и др. // Сталь. – 1978. _ № 3. – С. 232–234.
10. *Состояние* и перспектива развития производства подката для калибровки и холодной высадки / Ю.С.Чернобривенко, В.И.Биба, В.Г.Черниченко и др. // Ин-т «Черметинформация», серия 57, вып. 1. – 1981. – 46 с.
11. *Жучков С.М.* Бесконечная прокатка сортового металла. / Непрерывная прокатка: Коллективная монография под ред. В.Н.Данченко. – Днепропетровск: РИА “Днипро–ВАЛ», 2002. – С. 371–403 с.
12. *Энергосиловые* параметры прокатки тонкостенных профилей на стане 450 ЗСМЗ/ О.Л.Казырский, Ю.М.Юхновский, Ю.С.Чернобривенко и др.// Сталь. – 1981.– №12.– С.21–25
13. *Новый* непрерывный среднесортный стан 450 ЗСМК и его особенности в сравнении с ближайшими аналогами за рубежом / В.А.Теряев, А.П.Лохматов, В.Л.Шибаев, и др. // Доклад на IX-й республиканской конференции «Пути повышения эффективности производства». Кривой Рог.– 1978. – 13 с.

14. *Непрерывный* мелкосортно–проволочный стан 320/150 Белорусского металлургического завода / А.П. Лохматов, С.М.Жучков, В.А.Токмаков и др. // Сталь. – 1987.– № 7. – С.41–46.
15. *Технические* и технологические возможности мелкосортно–проволочных станов 320/150 БМЗ и ММЗ по производству проката высокого качества / Э.В. Сивак, С.М.Жучков, В.А.Токмаков // Тезисы доклада на Всесоюзной научно–технической конференции «Проблемы повышения качества металлопродукции по основным переделам черной металлургии» г.Днепропетровск. – 27–30 октября 1989. – С. 77.
16. *Освоение* проволочного стана 150. / В.А.Кулеша, Г.П.Борисенко, А.А.Горбанев и др.// Сталь. – 1984.– №1.– С.42–46
17. *Разработка* и освоение технологии производства высококачественной катанки/ А.Н.Иводитов, А.А.Горбанев. – М.: Металлургия, 1989.– 253 с.
18. *Технология* производства катанки на стане 150 из заготовок с пониженными температурами нагрева / А.А.Горбанёв, А.М. Юнаков, В.К.Лихов и др.// Сталь. – 1992.– №5.– С. 52–54.
19. *Перспективные* технологии производства железнодорожных колес. / М.С. Валетов, М.И.Староселецкий, Ю.Г.Тубольцев, А.Б.Илюкович. // «Черная металлургия. Наука. Производство» Тематический сборник научных трудов под ред. д.т.н. И.Г.Узлова. – М.: Металлургия, 1989, – С.206–212.
20. *Новые* технологические процессы производства кольцевых изделий. / В.И.Хейфец, Л.А.Левицкий, А.И. Козловский и др. // «Черная металлургия. Наука. Производство» Тематический сборник научных трудов под ред. д.т.н. И.Г.Узлова. – М.: Металлургия, 1989, – С.213–215.
21. *Жучков С.М.* Приоритеты и основные направления деятельности отдела физико–технических проблем процессов прокатки сортового и специального проката // «Металлургическая и горнорудная промышленность». – 1999. – №5. –С.41–45.
22. *Жучков С.М.* Актуальные направления научно–исследовательской деятельности прокатных отделов Института чёрной металлургии им. З.И. Некрасова НАН Украины. Труды Четвертого Международного Конгресса прокатчиков, Магнитогорск, 16–19 октября 2001. М.: АО Черметинформация, 2002.– С.37–41
23. *Непрерывная* прокатка сортовой стали с использованием неприводных рабочих клетей / А.П.Лохматов, С.М.Жучков, Л.В.Кулаков и др. // – Киев: «Наукова думка», 1998. – 243 с.
24. *Прокатка–разделение.* Два подхода к реализации процесса./ А.П.Лохматов, С.М.Жучков, Л.В.Кулаков, Э.В.Сивак // Новости черной металлургии России и зарубежных стран. Часть I. БюллетеньАО «Черметинформация». «Черная металлургия», 1998. – № 5–6. – С.14–20.
25. *Создание* и промышленная реализация высокоэффективных ресурсосберегающих технологий, основанных на применении процесса многоручьевая прокатка–разделение / Г.М.Шульгин, А.Г.Маншилин, С.М.Жучков и др. // Металл и литье Украины. – 2003. – №3–4. – 56 с.
26. *Прогнозирование* температурного режима прокатки на непрерывном сортовом стане / С.М.Жучков, А.П.Лохматов, Л.В.Кулаков и др. //Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии: Сб. научных трудов ИЧМ НАН Украины. Выпуск 3. – Киев: Наукова думка, 1999. – С.234–241.

27. *Исследование* качества катанки, прокатной на стане 150 с использованием низкотемпературного блока клетей. / А.А.Горбанёв, А.М.Юнаков, Й.Шарф и др. // Производство проката. – 2000. – №2. – С.20–27
28. *Теоретические* и технологические основы высокоскоростной прокатки катанки. / А.А.Горбанев, С.М.Жучков, В.В.Филиппов и др. – Минск. Высшейшая школа. – 2003. – 287 с.
29. *Новое* в технологии прокатки и охлаждения катанки на стане 150 БМК после реконструкции./ А.А.Горбанёв, Б.Н.Колосов, В.В.Жигулин и др. // Труды VI Междунар. науч.–техн. конф., посвященной 100–летию со дня рождения академика А.П.Чекмарёва. 16–19 сентября 2002 г. «Пластическая деформация металлов». – Metallurg. и горноруд. пром–сть. – 2002. – №8–9. – С.168–174.
30. *Реконструкция* мелкосортно – проволочного стана Белорусского металлургического завода и повышение качества катанки из высокоуглеродистых сталей / В.В.Филиппов, В.А.Тищенко, С.М.Жучков и др. // Производство проката. – 2002. – №7. – С. 20–26
31. *Жучков С.М.* Проблемы метизного передела в работах Института черной металлургии им. З.И. Некрасова НАН Украины. Сборник докладов первого научно–практического семинара «Метизная промышленность XXI века. Проблемы и перспективы» 18–21 сентября 2001.– Харьковск. – 2001. – С.28–31.

*Статья рекомендована к печати членом–корреспондентом НАН
Украины В.И.Большаковым*