



There are examined the main directions of investigations in the field of the theory and technology of continuous rolling of the rolled section and rolled wire. There is shown, that investigations and development works are directed at solution of actual problems in the field of the section rolling production – economization of its production, providing competitiveness of rolled metal in the home and foreign market due to reduction of energy and material costs.

С. М. ЖУЧКОВ, ИЧМ НАН Украины

УДК 621.771.25.04.001.5

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА СОРТОВОГО ПРОКАТА И КАТАНКИ

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 энергоматериальных затрат.

Отдел физико-технических проблем процессов прокатки сортового и специального проката (ОПС) Института черной металлургии (ИЧМ) им.З.И.Некрасова Национальной академии наук Украины традиционно ведет исследования в области теории и технологии непрерывной прокатки сортового проката и катанки, направленных на решение актуальных задач в этой области.

Использование неприводного деформирующего инструмента

Эффективность производства сортового проката может быть повышена за счет использования на различных технологических участках сортового стана средств деформации металла с неприводным

рабочим инструментом [1]. В рамках работ, направленных на развитие научных и технологических основ процессов прокатки, основанных на использовании резерва втягивающих сил трения, нами выполнены исследования физических основ взаимодействия очагов деформации рабочих клетей непрерывного стана через прокатываемую полосу.

Результатом выполненных теоретических и экспериментальных исследований явилось создание нового процесса непрерывной сортовой прокатки с применением неприводных или многоочаговых рабочих клетей. Схема компоновки рабочих клетей непрерывного стана 250 с использованием неприводной рабочей клетки представлена на рис. 1. Неприводная рабочая клетка (НК) установлена на выходной стороне приводной рабочей клетки (ПК). Очаг деформации НК, расположенный в межклетьевом промежутке приводных рабочих клетей, вынесен за пределы их очагов деформации. Процесс деформации металла в НК осуществляется за счет резерва втягивающих сил трения, в очагах деформации ПК.

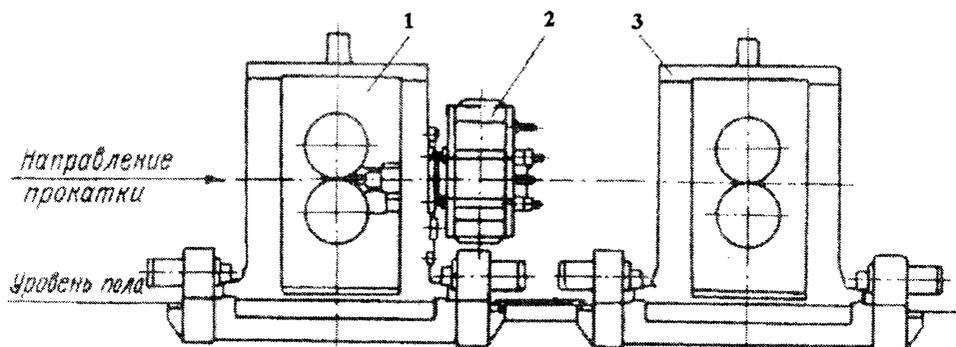


Рис. 1. Схема компоновки клетей сортового стана с использованием неприводной рабочей клетки: 1, 3 – приводные рабочие клетки; 2 – неприводная рабочая клетка

Использование неприводных клетей в линии непрерывного сортопрокатного стана дает возможность повысить его вытяжную способность, снизить энергозатраты на 15-20% за счет уменьшения расхода энергии на собственно процесс деформации и потерь энергии в линиях привода рабочих клетей и межклетьевых промежутках. Они позволяют сократить габариты технологичес-

ких линий станов, зданий для их сооружения, а, следовательно, и капитальные затраты на строительство новых и реконструкцию действующих станов. Использование НК дает возможность практически вдвое увеличить количество формирующих калибров в линии стана без изменения его габаритов, что повышает технологическую гибкость стана.

Применение процесса непрерывной сортовой прокатки с использованием неприводных рабочих клетей или многоочаговых рабочих клетей позволяет решать различные технические задачи сортопрокатного производства. С использованием НК можно, например, осуществить перевод сортопрокатного стана на увеличенное сечение заготовки без увеличения габаритов и количества приводных рабочих клетей при минимальных затратах; разгрузить наиболее загруженные приводные рабочие клетки в линии стана; повысить точность прокатки при использовании НК в качестве калибрующих клетей и многие другие технические задачи производства.

Весьма эффективно использование неприводных деформационно-делительных устройств (НДДУ) при разработке и промышленной реализации ресурсосберегающих технологий, основанных на применении процесса многоручьевой прокатки-разделения [2]. В этом случае при дефиците приводных рабочих клетей и места для их размещения на конкретном стане использование НДДУ тем не менее позволяет решить комплекс различных технологических задач производства.

Анализ показал, что в общем виде это может быть процесс непрерывной сортовой прокатки с использованием двухочаговых рабочих клетей или трехочаговых прокатных модулей, включающих комплекты приводных и неприводных рабочих валков, заключенных в общей станине, предназначенных для использования в системе непрерывного сортопрокатного стана.

Если основные научные положения и принципы использования двухочаговых рабочих клетей нами уже разработаны, то теоретические положения, описывающие процесс прокатки при использовании трехочаговых прокатных модулей, еще предстоит разрабатывать.

Сохраняет актуальность изучение трибологических особенностей контактных поверхностей очагов деформации, образованных приводным и неприводным рабочим инструментом, в том числе калиброванным, с различными геометрическими параметрами этих очагов деформации. Это важно для разработки подходов к более эффективному использованию энергии, затрачиваемой на работу опережения.

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 [3]. Для решения указанной проблемы выполнен комплекс исследований, в результате которых разработаны те-

оретические основы технологического воздействия на статьи теплового баланса прокатываемого раската. Это позволило получить инструмент аналитического исследования и управления температурно-деформационным режимом прокатки на непрерывном сортовом стане. При этом разработаны также инженерные методы управления составляющими теплового баланса прокатываемого раската при непрерывной сортовой прокатке а, следовательно, температурным режимом прокатки в целом. На рис. 2 представлены диаграммы, построенные с использованием результатов выполненных исследований, которые иллюстрируют взаимосвязь температуры начала и конца прокатки, а также скорости прокатки для условий производства арматурного проката №14 на непрерывном стане 250-5 КГГМК «Криворожсталь».

Из рисунка видно, что результаты выполненных исследований по разработке научных и технологических основ управления температурно-деформационным режимом непрерывной сортовой прокатки могут явиться основой разработки рациональных температурно-скоростных режимов прокатки арматурных профилей в условиях непрерывных мелкосортных станов металлургического комбината «Криворожсталь» [4].

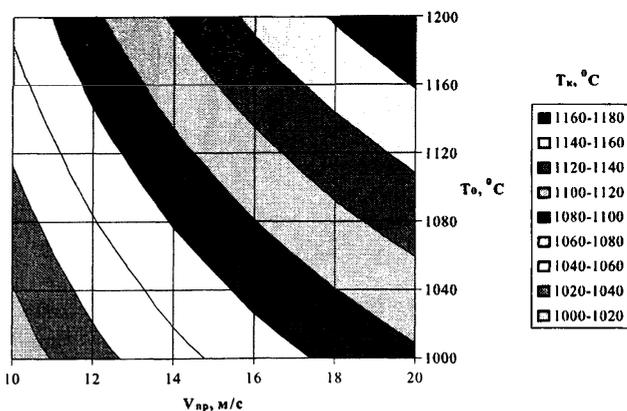
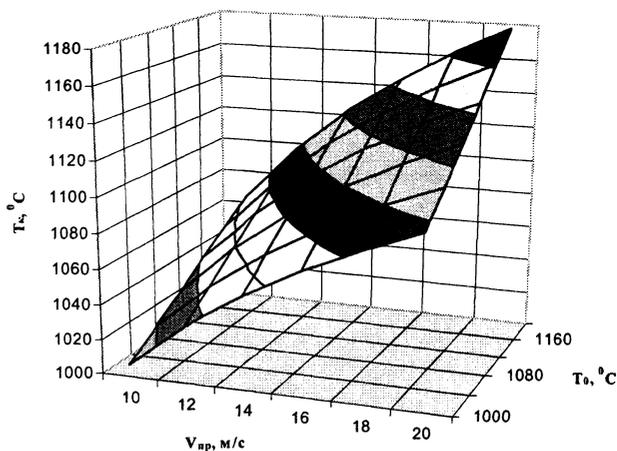


Рис. 2. Диаграммы, иллюстрирующие взаимосвязь температуры начала и конца прокатки, а также скорости прокатки для условий производства арматурного проката №14 на непрерывном стане 250-5 КГГМК «Криворожсталь»

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.

Особенности конструкций современных проволочных станов 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 750–1050°C. Однако в связи с высокими скоростями прокатки на современных проволочных станах металл за счет тепла пластической деформации начинает разогреваться начиная от первой 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, например, для низкоуглеродистых сталей, имеющих достаточно высокую температуру начала структурных превращений.

В последние годы фирмы-изготовители оборудования широко рекламируют высокоскоростные проволочные станы с новой компоновкой оборудования. При этом делается вывод о возможности понижения температуры конца прокатки до 750°C. Это позволило бы реализовать температурно-деформационную обработку в интервале температур 1050–750°C, эффективно воздействуя на структуру и свойства катанки. В связи с этим на проволочном стане 150 Макеевского металлургического комбината (МакМК) после линии водяного охлаждения перед виткоукладчиком установлен двухклетевой блок, рассчитанный на температуру прокатки 750°C.

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 не достижимы 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.

Силы инерции в процессе высокоскоростной прокатки

На современных непрерывных проволочных и мелкосортно-проволочных станах рабочие скорости прокатки достигают 90–100 м/с. Новые проволочные станы рассчитаны на прокатку со скоростями 120–150 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 [5].

При прокатке с такими скоростями необходимо учитывать влияние инерционных сил в очаге деформации. Впервые влияние инерционных сил на параметры процесса холодной прокатки тонких широких полос было рассмотрено М.Я.Бровманом [6] и В.И.Капановым [7]. На рис. 3, 4 показаны изменение ускорения металла по клетям чистового блока стана 150 БМЗ и значения удельных инерционных сил в последней клетке блока при прокатке катанки диаметром 5,5 мм. Отсутствие учета сил инерции, возникающих при разгоне металла в очаге деформации за счет его вытяжки, в уравнениях, описывающих энергосиловое равновесие в очаге деформации, приводит к ошибкам при прогнозировании параметров процесса прокатки и снижению его устойчивости. Это связано с тем, что при скоростях прокатки порядка 60–90 м/с фактическое динамическое равновесие не соответствует расчетному, полученному без учета сил инерции. Это как раз и является одной из причин того, что в настоящее время технологи не готовы использовать достижения машиностроителей, которые могут изготовить оборудование для прокатки катанки со скоростями 150 м/с и более.

На основании результатов исследований нами разработаны теоретические основы непрерывной высокоскоростной прокатки катанки с учетом особенностей этого процесса. В частности, учтены влияние инерционных и межклетевых сил, а также характер изменения сопротивления металла деформации в клетях чистового блока. Результаты этих исследований дают возможность скорректировать параметры прокатки в существующих блоках чистовых клетей современных проволочных станов, повысить стабильность их работы и увеличить скорости прокатки до проектных значений.

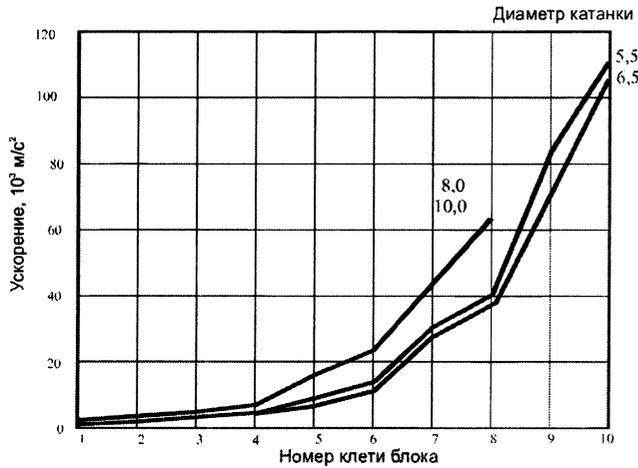


Рис. 3. Ускорение металла в зонах деформации по клетям блока стана 150 БМЗ

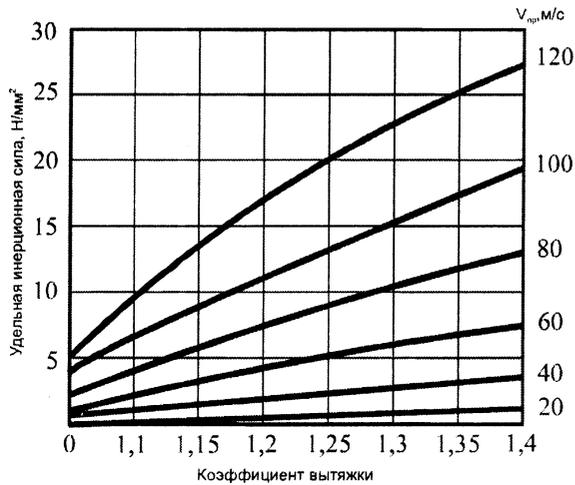


Рис. 4. Влияние вытяжки и скорости прокатки катанки диаметром 5,5 мм на удельные инерционные силы в последней клетке блока стана 150 БМЗ

Полученные результаты являются основой для подготовки рекомендаций фирмам-изготовителям оборудования, разрабатывающим конструкции новых высокоскоростных блоков клетей, рассчитанных на скорости прокатки более 120–150 м/с. Такие блоки могут использоваться не только при строительстве новых, но и при реконструкции действующих проволочных станов.

Повышение точности прокатки катанки

Особенность конструкции чистовых блоков проволочных станов — жесткая кинематическая связь рабочих клетей. В связи с общим приводом клетей блока отсутствует возможность управления процессом путем изменения частот вращения валков отдельных клетей, поэтому прокатка производится с межклетьевыми 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 Белорецким 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 РУП «БМЗ» [5]. На рис. 5, 6 представлены результаты экспериментальных исследований, выполненных на стане 150 РУП «БМЗ». На рис. 5 показано влияние площади поперечного сечения подката на суммарный коэффициент вытяжки металла в блоке, а рис. 6 — влияние относительного отклонения площади сечения подката перед блоком на относительное изменение суммарной вытяжки в блоке. 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» диаметром 5,5 мм показал, что при соблюдении разработанных режимов обеспечивается производство катанки с точностью $\pm 0,15 \text{ мм}$ и овальностью до 0,2 мм, что соответствует точности прокатки катанки, достигнутой на лучших зарубежных проволочных станах. Разработаны рекомендации по дальнейшему повышению точности катанки.

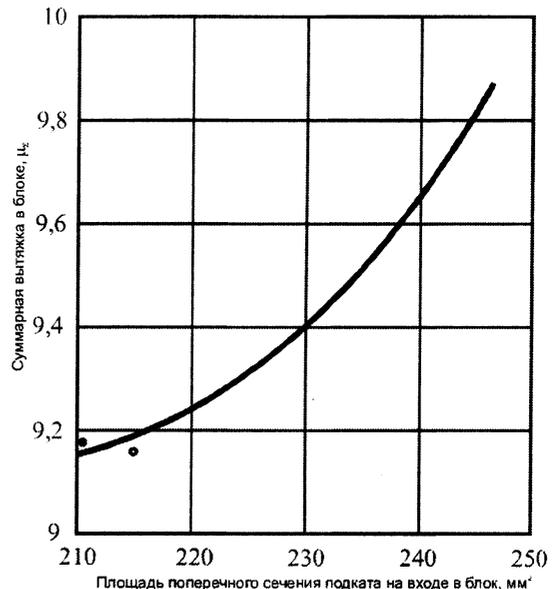


Рис. 5. Влияние площади поперечного сечения подката на суммарную вытяжку в блоке стана 150 БМЗ

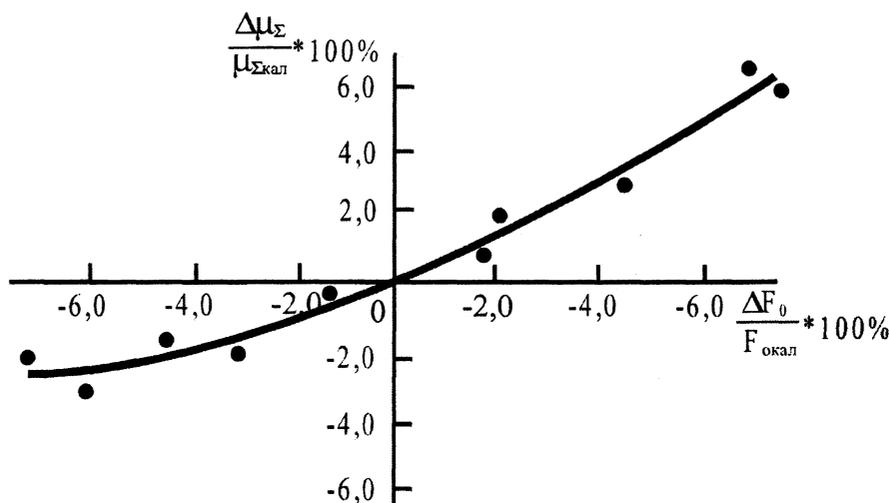


Рис. 6. Влияние относительного отклонения площади сечения подката на входе в блок на относительное изменение суммарной вытяжки в блоке стана 150 БМЗ

Совершенствование линий двухстадийного охлаждения катанки

ИЧМ, БМК и НИИ металлургической теплотехники (Россия) на базе результатов исследований при создании технологии безокислительного охлаждения катанки разработана и освоена универсальная технология двухстадийного охлаждения проката и оборудование для ее реализации в потоке проволочного стана 150 БМК [8].

Совместно с БМК был выполнен комплекс работ по обработке параметров технологии 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 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 произ-

водить катанку с механическими свойствами, близкими к свойствам, получаемым при ее патентировании в соляных ваннах [5].

Об этом свидетельствует опыт Белорусского и Молдавского металлургических заводов, выполнивших аналогичную реконструкцию участков охлаждения проволочных станов 150 [9].

Компьютерное моделирование процессов непрерывной прокатки на сортовых и высокоскоростных проволочных станах

Учитывая необходимость ускорения адаптации разработок к условиям конкретных металлургических предприятий, снижения затрат материальных ресурсов при их практической реализации, весьма актуально в настоящее время создание средств компьютерного моделирования, аналитического исследования процессов непрерывной прокатки на сортовых, проволочных и мелкосортно - проволочных станах, адекватно описывающих физические условия реализации процессов.

В связи с этим 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 [1, 5]. Анализ влияния различных факторов на параметры прокатки, выполненный с использованием указанных программных средств, адаптированных для условий конкретных производств, позволяет более строго и обоснованно подойти к оптимизации процессов непрерывной сортовой прокатки и высокоскоростной прокатки катанки в блоках чистовых клетей, разра-

ботать предложения по выбору основных конструктивных параметров оборудования станков 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.

Технологический аудит производства сортового проката и катанки в промышленных условиях

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 связи с этим 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 экспериментальным 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. При этом обязательно учитывается возможное изменение размерного и марочного сортамента стана и повышение скорости прокатки на нем.

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, отметим, что отдел физико-технических проблем процессов прокатки сортового и специального проката ИЧМ им. З.И. Некрасова НАН Украины сегодня 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.

Литература

1. Непрерывная прокатка сортовой стали с использованием неприводных рабочих клеток / А. П. Лохматов, С. М. Жучков, Л. В. Кулаков и др. // Киев: Наукова думка, 1998.
2. 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.
3. Прогнозирование температурного режима прокатки на непрерывном сортовом стане / А. П. Лохматов, С. М. Жучков, Л. В. Кулаков и др. // Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии: Сб. науч. тр. ИЧМ НАН Украины. Киев: Наукова думка, 1999. Вып. 3. С. 234—241.
4. Пути повышения эффективности производства арматурного проката в условиях меткомбината Криворожсталь / С. М. Жучков, В. А. Шеремет, Н. М. Омесь и др. Тр. VI Междунар. науч.-техн. конф., посвященной 100-летию со дня рождения академика А.П.Чекмарева. 16—19 сентября 2002 г. "Пластическая деформация металлов" // Металлург. и горноруд. пром-сть. 2002. № 8—9. С. 217—219.
5. Теоретические и технологические основы высокоскоростной прокатки катанки / А. А. Горбанев, С. М. Жучков, В. В. Филиппов и др. Мн.: Выш. шк., 2003.
6. Бр ов м а н М. Я. Применение теории пластичности в прокатке. М.: Металлургия, 1966.
7. Ка п л а н о в В. И. Теория высокоскоростной тонколистовой холодной прокатки металлов: Учеб. пособ. Киев: УМК ВО, 1991.
8. Новое в технологии прокатки и охлаждения катанки на стане 150 БМК после реконструкции / А. А. Горбанев, Б. Н. Колосов, В. В. Жигулин и др. // Тр. VI Междунар. науч.-техн. конф., посвященной 100-летию со дня рождения академика А.П.Чекмарева. 16—19 сентября 2002 г. "Пластическая деформация металлов" // Металлург. и горноруд. пром-сть. 2002. № 8—9. С. 168—174.
9. 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.