



*Analysis of the modern state of development of the rolled wire production on high-speed wire mills is given.*

В. А. МАТОЧКИН, РУП «БМЗ»

УДК 621.778.621.785.47.004.7

## АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ И НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА КАТАНКИ НА ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ПРОВОЛОЧНЫХ СТАНАХ

Катанка – основной исходный материал для метизной отрасли черной металлургии. В настоящее время в мире производится более 15 млн. т метизов, что составляет 15% от общего производства готового проката. Ведущими странами по производству метизов и сталепроволочных изделий являются Япония, США, Германия, Франция и Англия. Проволока является основным видом метизных изделий, занимающим наибольший удельный вес в их общем выпуске (до 60%). Изготавливают проволоку диаметром от 0,005 до 17 мм из различных марок стали. Из проволоки изготавливают стальные канаты, металлокорд, пружины, крепежные изделия, сварочные электроды и другую металлопродукцию.

В мировой практике наблюдается тенденция к увеличению выпуска проволоки и проволочных изделий наиболее эффективных видов. Постоянно увеличивается потребность в проволоке из сложнелегированных сталей и сплавов, особо коррозионностойкой проволоки для работы в морской воде и агрессивных средах, высокопрочной проволоки для производства канатов и металлокорда, арматурной проволоки с повышенной прочностью и низкими релаксационными свойствами и т.д. [1]. Повышаются требования к качеству готовой продукции метизных и сталепроволочных заводов и технико-экономическим показателям их работы. Это определило повышение требований к качеству исходного продукта – катанке.

Ужесточены требования потребителей к химическому составу сталей, величине и составу неметаллических включений, микроструктуре и механическим свойствам катанки и равномерности их распределения по длине мотков и в партии металла. Требуется катанка с отклонениями размеров менее  $\pm 0,1$  мм. Повышены требования к качеству поверхности катанки, величине обезугле-

роженного слоя; количеству и составу окислы. Увеличился спрос на катанку в мотках большой массы (2 т и более), требуется также катанка малых диаметров (4,5–5,0 мм). Несмотря на то что повышение качества катанки увеличивает затраты на ее производство, как показал опыт работы реконструированных и новых проволочных станков в промышленно развитых странах, эти затраты полностью окупаются в последующем метизном и сталепроволочном переделе [2–4]. Катанка, производимая на таких станах, пользуется повышенным спросом на мировом рынке даже в условиях, когда объем производимой катанки в мире превышает ее потребность.

Повышение требований потребителей к качеству катанки определило основные направления развития технологии ее производства и применяемого оборудования.

В настоящее время в мире катанка производится в основном на высокоскоростных проволочных станах, оборудованных непрерывными группами, состоящими из клеток современной конструкции, чистовыми блоками и линиями двухстадийного охлаждения, преимущественно типа Стелмор. Точность катанки составляет  $\pm 0,15$ – $0,2$  мм. Скорость прокатки достигла 100 м/с, а на некоторых станах, построенных в последние годы, – 120 м/с. Линии Стелмор обеспечивают возможность управления структурой и механическими свойствами в определенном диапазоне в зависимости от марочного сортамента производимой катанки. Это традиционная схема расположения оборудования современного проволочного стана. Проволочные станы с такой схемой работают в различных странах мира много лет. Особенности технологии производства катанки, состав и характеристика оборудования подробно описаны в технической литературе [5].

На большинстве проволочных станов производится катанка диаметром 5,5–16,0 мм из углеродистых и некоторых легированных марок стали. При невозможности специализации станов по размерам и маркам стали катанку производят на сортопроволочных станах, оборудованных после черновой и промежуточных групп параллельными линиями для производства катанки и сортового проката больших диаметров. Катанку производят по традиционной схеме с использованием чистовых блоков и линий Стелмор. Сортовой прокат выпускается из промежуточной группы, расположенной перед блоком, и в зависимости от диаметра направляется на холодильник или моталки Гаррета, а после смотки мотки проходят специальную термообработку в протоке стана. Это дает возможность оптимизировать структуру металла и свойства проката из высоколегированных сталей различного назначения. Такой стан построен в 1995 г. во Фрайтале (Германия) [6]. Стан производит катанку диаметром 5,5–13,5 мм и круглый сортовой прокат максимальным диаметром 57 мм из углеродистых и высоколегированных сталей – коррозионностойких, инструментальных, жаропрочных и др. [6].

На некоторых сортопроволочных станах, построенных в последние годы, вместо непрерывных черновых групп устанавливают планетарные клетки косовалковой прокатки, обеспечивающие деформацию круглых непрерывнолитых заготовок с большими коэффициентами вытяжки за один проход – до 6,6 [7]. Такая клетка установлена на сортопроволочном стане во Фрайтале [6].

На некоторых проволочных и сортопроволочных станах преимущественно в Японии, США и Германии применяют промежуточные и чистовые блоки, изготавливаемые фирмой "Кокс" (Германия). Эти блоки состоят из трехвалковых клетей, в которых дисковые валки с индивидуальным приводом расположены под углом 120° [8–10]. В таких клетях схема напряженного состояния близка к схеме всестороннего сжатия. Это имеет значение при деформации высоколегированных сталей с суженным температурным интервалом пластичности. За счет ограничения уширения повышается точность сортового круглого проката и подката, задаваемого в чистовой блок, уменьшаются влияние химического состава углеродистых и легированных сталей на уширение и точность размеров готового проката, повышается эффективность деформации. Промежуточный блок с трехвалковыми клетями установлен на сортопроволочном стане во Фрайтале для чистовой прокатки сортовых профилей и получения высокоточного подката, задаваемого в чистовой блок.

Основными направлениями развития технологии производства катанки в мировой практике, определяемыми повышением требований потребителей к ее качеству, являются увеличение массы

мотков до 2 т и более; повышение скорости прокатки до 150 м/с; расширение размерного и марочного сортамента производимой продукции; улучшение механических свойств и структуры и повышение их однородности по длине мотков и в партии металла; повышение точности размеров катанки.

Наиболее распространенный путь увеличения массы мотков – повышение сечения исходных заготовок. На современных проволочных станах используют заготовки сечением 125x125–200x200 мм.

Мировой опыт работы проволочных станов показал, что скорость входа заготовок в первую клетку черновой группы не должна быть меньше 0,1 м/с. Это предупреждает переохлаждение поверхности раската в результате контакта с холодными валками и появления большого градиента температур по сечению. При скорости входа менее 0,1 м/с при деформации в центральной горячей части раската возникают сжимающие напряжения, в переохлажденной поверхности – растягивающие, которые могут приводить к образованию поверхностных дефектов в виде разрывов, особенно при прокатке заготовок из высоколегированных сталей и сплавов с низким коэффициентом теплопроводности [11]. Кроме того, значительно увеличивается также износ валков.

Увеличение сечения исходных заготовок сопровождается соответствующим ростом скорости конца прокатки. Так, например, скорость входа заготовки сечением 125x125 мм, равная 0,1 м/с, обеспечивается скоростью прокатки в последней клетке стана для катанки диаметром 5,5 мм, равной 66 м/с, для катанки диаметром 5,0 мм – 80 м/с и диаметром 4,5 мм – 98 м/с. При увеличении сечения заготовок до 150x150 мм и длине 10–12 м, что соответствует увеличению массы мотков до 2 т, скорости прокатки для катанки диаметром 5,5 мм должны быть не менее 95 м/с, диаметром 5,0 и 4,5 мм соответственно 114 и 145 м/с. Кроме создания благоприятных температурно-деформационных режимов, высокие скорости повышают среднечасовую производительность станов. Зарубежные высокоскоростные станы работают с высокими скоростями даже при неполном обеспечении стана заказами, так как это позволяет увеличить время на обслуживание стана, текущий ремонт оборудования и подготовку его к работе. При этом экономится фонд заработной платы высококвалифицированного и высокооплачиваемого персонала – операторов и вальцовщиков.

Второй путь увеличения массы мотков, который в последние годы интенсивно разрабатывается за рубежом, – применение бесконечной прокатки, когда заготовки перед станом сваривают встык на передвижных стыкосварочных машинах. Этот способ не требует увеличения сечения заготовок. При бесконечной прокатке повышается

выход годного за счет исключения обреза, уменьшается количество задаваемых в клети стана передних концов, что снижает связанные с этим аварийные простои и потери металла. Впервые процесс бесконечной прокатки применила компания "Токио Стил" на сортопроволочном стане в Китае в 1998 г. При этом максимальная скорость прокатки катанки составляла 127 м/с [12]. С тех пор были построены еще пять проволочных станов в Европе и Азии, на которых используется процесс бесконечной сортовой прокатки. Проводятся работы по совершенствованию процесса бесконечной прокатки — уменьшение разности температур по длине сваренных заготовок в местах сварки и основной частью заготовок, которая частично сохраняется до последнего прохода и влияет на стабильность распределения структуры, свойств и отклонений размеров по длине мотков, исследуется возможность использования этого процесса для изготовления готовой продукции ответственного назначения (канатной проволоки для канатов, предназначенных для перевозки людей, проволоки, используемой в космической технике и оборонной промышленности и др.).

Расширяется диапазон размеров катанки, производимой на проволочной линии, как в сторону уменьшения, так и увеличения диаметра. Опыт эксплуатации линий Стелмор на проволочных станах показал, что эти линии могут быть использованы при производстве проката больших диаметров — 20–26 мм. Минимальный диаметр катанки на новых и реконструированных станах снизился до 4,5 мм. В перспективе предполагается уменьшение диаметра до 4 мм. Так, модернизированный стан фирмы "Charter Steel" (США) прокатывает катанку диаметром 4,7–25,0 мм с максимальной скоростью 120 м/с. Катанка охлаждается на транспортере типа Стелмор [13]. В 1997 г. фирмой "Bangkok Steel" (Таиланд) запущен новый сортопроволочный стан, поставленный компанией "Даниели-Моргардсхаммер" для прокатки катанки диаметром 4,5–20,0 мм при скорости 120 м/с и круглого проката диаметром 6–40 мм [14].

Повышение скорости прокатки до 140–150 м/с и уменьшение диаметра прокатываемой катанки требует совершенствования конструкции высокоскоростного оборудования проволочных станов. В чистовых блоках необходимы уточнение передаточных чисел от общего электропривода к валкам для обеспечения минимальных натяжений и устойчивой работы блока при прокатке всего размерного сортамента, повышение срока службы роликовых проводок, устранение вибраций при работе виткоукладчика и обеспечение правильной формы при укладке концов раската на роликовый транспортер, повышение срока службы направляющей трубки виткоукладчика и т.д. Фирма "Даниели — Моргардсхаммер" разработала и испытала новую конструкцию виткоукладчика для

работы при скорости прокатки 170 м/с с использованием вместо роликовых подшипников магнитного поля и уточненной формой и конструкцией направляющей трубки. Это, по данным фирмы, повышает долговечность работы трубки и обеспечивает правильную укладку витков, при этом исключается необходимость удаления концов перед сборкой витков в моток [15].

Расширение марочного сортамента производят за счет увеличения объема производства катанки из легированных сталей. При строительстве новых проволочных станов оборудование выбирают с учетом возможности производства наиболее прочных сталей сортамента и технологических особенностей прокатки и охлаждения различных легированных сталей. Так, например, стан 150 Белорецкого металлургического комбината производит катанку из низко- и высокоуглеродистых сталей, из легированных сталей для производства высококачественной пружинной проволоки, в том числе для клапанов двигателей (51ХФА, 70С2ХА, 70ХГФАШ), подшипниковых, инструментальных (9ХС), коррозионностойких сталей различных классов (аустенитных, аустенито-ферритных, мартенсито-ферритных) и др. [16, 17]. Производство легированных сталей на этом стане включено в проектный марочный сортамент, т.е. при проектировании оборудования стана учтена возможность производства катанки с повышенным сопротивлением металла деформации.

При небольших объемах заказов на катанку из высокопрочных сталей и сплавов (быстрорежущие, жаропрочные, нихромы и др.) их производство организуют на параллельных линиях сортопроволочных станов.

Марочный сортамент на реконструируемых проволочных станах выбирают исходя из прочностных резервов оборудования, увеличения общего объема производства проката, в том числе проката из легированных марок сталей, определяемых требованиями рынка. Важным показателем являются затраты на реконструкцию, которые, с одной стороны, должны быть минимальными и, с другой — обеспечить производство катанки расширенного марочного сортамента, включая легированные стали. При этом качество катанки должно соответствовать или превышать требования заказчиков для увеличения ее спроса на мировом рынке. Обычно на первом этапе реконструируют хвостовую часть стана, начиная от чистовых блоков.

Структура и механические свойства катанки определяются температурно-деформационным и скоростным режимами прокатки и режимом последующего охлаждения на линиях Стелмор. Как правило, производство проката на современных станах стараются реализовать таким образом, чтобы совместить пластическую и термическую обработку металла, т.е. использовать эффект влияния дефектов строения нагретой и деформированной

стали на ее структуру и свойства после охлаждения и дальнейшей термической обработки [18]. Важнейшими условиями, повышающими эффективность температурно-деформационного воздействия на свойства, определяемые структурой стали, являются возможность регулирования температуры металла в процессе прокатки и температуры конца прокатки, а также параметры дальнейшей последеформационной обработки проката в линии стана и диапазон возможных скоростей охлаждения.

Управление структурой и свойствами металла можно осуществить путем изменения температуры конца прокатки. Это используется на многих сортовых станах мира. По принятой в мировой практике классификации используют три вида горячей деформационной обработки:

- высокотемпературная деформация (температура конца прокатки на 200–250 °С превышает температуру начала структурных превращений  $T_{Ar3}$ );
- нормализующая прокатка (температура конца прокатки на 70–80 °С превышает температуру  $T_{Ar3}$ );
- термомеханическая обработка, когда температура конца прокатки находится в двухфазной области в интервале температур  $T_{Ar3} - T_{Ar1}$ .

Процессы структурообразования при горячей и нормализующей прокатке и термомеханической обработке рассмотрены во многих источниках [19–22]. Показано, что применение нормализующей прокатки и особенно термомеханической обработки совместно с последующим ускоренным или замедленным регулируемым охлаждением дает возможность сократить длительность или исключить ряд операций термообработки в метизном и сталепроволочном переделах.

Для получения требуемых структуры и специального типа строения субструктуры и упрочняющих фаз, определяющих одновременное увеличение прочности и вязкости металла или получение специальных свойств готового проката, стан должен иметь возможность изменения температуры конца прокатки в пределах 750–800 – 1100 °С. Регулирование размера аустенитного зерна на выходе из стана за счет изменения скорости рекристаллизации является важнейшим условием улучшения свойств готового проката. Обычно стремятся уменьшить размер зерна на выходе из последней клетки.

На современных высокоскоростных проволочных станах возможности управления величиной аустенитного зерна путем изменения температурно-деформационных режимов прокатки ограничены. Деформационные режимы довольно жестко заданы калибровкой и настройкой клеток стана, а температура прокатки распределена неравномерно по длине стана. Этому способствуют использование заготовок большого поперечного сечения,

большое количество клеток и высокие скорости прокатки. Температура прокатки распределена неравномерно и по сечению раската, температура центральной части раската на выходе из клетки вследствие разогрева за счет тепла пластической деформации на 300–500 °С выше температуры поверхности, охлаждаемой валками. Среднеинтегральная по сечению температура раската сначала понижается при прокатке в черновой группе клеток, а затем повышается, особенно при прокатке в чистовом блоке. Поэтому на типовых проволочных станах (с непрерывными группами клеток, принудительным водяным охлаждением и десятиклетьевым чистовым блоком), получивших широкое распространение во всех странах мира, невозможно понизить температуру конца прокатки менее 1000 °С. Это исключает возможность осуществления нормализующей прокатки и термомеханической обработки на таких станах даже при производстве низкоуглеродистой катанки, имеющей наиболее высокую температуру  $T_{Ar3}$ . В настоящее время фирмы-изготовители оборудования ведут интенсивные разработки по изменению схемы расположения и состава оборудования хвостовой части современных высокоскоростных станов с целью получения возможности управления свойствами катанки широкого марочного и размерного сортамента за счет изменения температуры конца прокатки в пределах 750–1100 °С.

Одним из первых вариантов новой компоновки была установка после основного десятиклетьевого блока и линии водяного охлаждения двухклетьевого низкотемпературного блока, рассчитанного на минимальную температуру конца прокатки 750 °С. Такая схема расположения применена на стане 150 Макеевского металлургического комбината фирмой СКЭТ. Расстояние между основным и низкотемпературным блоком составляет 21 м, на этом участке установлено семь секций водяного охлаждения. В результате несколько улучшились механические свойства низко- и высокоуглеродистой катанки [23].

В последние годы на некоторых станах стали применять разделенные десятиклетьевого блока на 2–3 блока с меньшим количеством клеток (мини-блока). Это уменьшает разогрев металла в процессе высокоскоростной пластической деформации. Между миниблоками устанавливают секции водяного охлаждения раската [24].

Последними решениями по понижению температуры конца прокатки являются использование после восьмиклетьевого блока и секций водяного охлаждения редуционно-калибрующих блоков, состоящих из четырех двухвалковых клеток с общим приводом. Первые две клетки являются редуцирующими, предназначены для уменьшения диаметра, задаваемого в редуционно-калибрующий блок раската. Степень деформации металла в них соответствует применяемой в ос-

новном блоке (коэффициент вытяжки составляет 1,23–1,27). Две последние клетки редуцирующего блока служат для повышения точности катанки. Степень деформации в них в несколько раз меньше, чем в редуцирующих клетях.

После 2002 г. редуционно-калибрующие блоки применены фирмой СМС–Деаг при реконструкции современного высокоскоростного проволочного стана фирмы "Maanshan Iron and Steel" (Китай) и на новом стане фирмы "Acominas Gerais S.A.", "Ouro Branco" (Бразилия) [25]. Станы производят катанку и круглый прокат диаметром 5–22 мм, который охлаждается на линиях Стелмор. Основной блок состоит из восьми клетей, затем прокатка производится в редуционно-калибрующем блоке. Основной блок используется при прокатке катанки диаметром до 11 мм. Прокат больших диаметров подается из промежуточной группы в редуционно-калибрующий блок, минуя основной. Максимальная скорость прокатки – 140 м/с.

Особенностью этих станов является применение трех петель с изменением направления движения раската на 360°. Петли имеют длину более 100 м и предназначены для понижения температуры раската в секциях водяного охлаждения перед основным и редуционно-калибрующим блоками и последующего выравнивания температуры по сечению раската. По данным фирмы СМС–Деаг, температурный градиент по сечению раската на входе в редуционно-калибрующий блок не превышает 50 °С, а минимальная температура составляет 750 °С. После редуционно-калибрующего блока осуществляются водяное охлаждение готового проката и окончательное охлаждение витков на транспортере Стелмор.

Такая схема расположения и состав оборудования дают возможность осуществить термомеханическую обработку катанки из углеродистых и легированных сталей различных диаметров. На примере катанки из легированных сталей, предназначенной для холодной высадки, показано, что применение термомеханической обработки существенно улучшило микроструктуру металла и механические свойства катанки. Это позволило исключить в дальнейшем переделье смягчающий отжиг для марганцево-борных марок стали и на 50% сократить длительность смягчающего отжига для хромистых, хромисто-борных и молибденовых сталей за счет улучшенной сфероидизации.

Измерения размеров катанки диаметром 6,5 мм и менее, проведенные фирмой, показали, что применение калибрующих клетей при соблюдении температурного режима прокатки позволяет получить катанку с допусками  $\pm 0,03$ – $0,05$  мм, а для всего размерного сортамента станов –  $\pm 0,09$  мм.

Недостатком схемы расположения оборудования, примененной на станах в Китае и Бразилии, является наличие длинных петель. Это увеличивает габариты стана, массу установленного оборудования, капитальные и эксплуатационные затраты. На этих станах не предусмотрено производство катанки диаметром менее 5 мм, пользующейся повышенным спросом у потребителей. В связи с этим данную схему расположения оборудования проволочного стана нельзя считать оптимальной. Поэтому фирмы-изготовители проволочных станов продолжают поиск рациональных решений по расположению и составу оборудования современного проволочного стана, рассчитанного на скорость прокатки до 150 м/с и пониженную до 750 °С температуру конца прокатки.

Так, фирма "Даниели – Моргардсхаммер" разработала двухмодульный агрегат, состоящий из последовательно расположенных двух дельтообразных блоков, и усовершенствовала оборудование для направления и смотки катанки диаметром 4–27 мм. Минимальная температура конца прокатки – 750 °С, скорость прокатки – 40 м/с [15].

Для управления процессами высокоскоростной прокатки и регулируемого охлаждения на современных станах применяют автоматические системы по контролю и поддержанию в заданных пределах температурного режима прокатки по длине мотков и в партии металла, а также системы, контролирующие качество готового проката. Системы построены на математических моделях, разработанных различными фирмами и институтами Германии, Австрии и других стран, при этом используется новейшая компьютерная техника. Такой подход реализован на высокоскоростных проволочных и сортопроволочных станах, построенных в последние годы.

### Литература

1. Дмитриев В.Д. Производство калиброванного металла и проволоки // Итоги науки и техники. Прокатное и волочильное производство. М.: Металлургия. 1990. Т. 16. С. 62–104.
2. Повышение эффективности производства метизов и калиброванного металла / В.И. Орничев, А.М. Павлов, М.П. Яранцев и др. // Черная металлургия. 1985. № 8. С. 39–52.
3. Род К., Аммерлинг В.-Ю. Гибкое экономичное производство высококачественной катанки и сортового проката // Новости черной металлургии за рубежом. 2004. № 4. С. 46–48.
4. Сокращение длительности технологического цикла в результате исключения термической обработки при производстве катанки и прутков / Й.Баль, И.Клеменс, Р.Эль и др. // Черные металлы. 1997. С. 23–31.
5. Теоретические и технологические основы высокоскоростной прокатки катанки / А.А. Горбанев, С.М. Жучков, В.В. Филиппов и др. Мн.: Вышэйш. шк., 2003.
6. Контролируемая прокатка и охлаждение качественных и высококачественных сталей / А.Браман, К.П. Эркель, В.Ленерт и др. // Черные металлы. 1997. № 8. С. 31–39.
7. Ринт Б., Аппель М. Ориентированный на перспективу сортовой стан для прокатки специальных качественных и легированных сталей // Металлургический завод и технология. 2004. С. 60–76.

8. Аммерлинг В.Ю., Шнель Г. Новые направления при прокатке на сортовых и проволочных станах // Металлургическая и горнорудная промышленность. 2006. № 2. С. 43–47.
9. Modernization of Posco's № 2 wire rod mill for high quality wire rod and bar in coils / I.-T. Joo, Y.-K. Cho, S.-D. Choi et al // MPT International. 2000. N. 1. P. 76–78, 80, 82.
10. Вольрахт К. Производство круглого проката с использованием трехвалковых станов // Черные металлы. 2004. С. 23–24.
11. Чижигов Ю.М. Процессы обработки давлением легированных сталей и сплавов. М.: Металлургия. 1965.
12. Хогг Дж. Преимущества и современные решения процесса бесконечной прокатки катанки // Сталь. 2004. № 8. С. 45–47.
13. Currie N.I., Foley I. Charter Steel modernization: Prefinishing mill and high-speed rod // Iron and Steel Ing. 1998. Vol. 75. N. 1. P. 37–38.
14. Lestany M. The versatile rolling mill at Bangkok Steel // Steel Times International. 1998. N. 1. P. 44–45.
15. Lestany M., Salrader G., Bordignon G. New technologies to increas output and quality of coiled war rod and bundied bar // MPT international. 2000. N.I. P. 66–68, 70, 72, 76.
16. Пат. СССР 4883553/27.
17. Новая технология двухстадийного охлаждения проката на стане 150 после реконструкции / А.А. Горбанев, Б.Н. Колосов, Е.А. Евтеев и др. // Сталь. 1997. №10. С. 56–59.
18. Проблемы совмещения горячей деформации и термической обработки / А.А. Баранов, А.А. Минаев, А.Л. Геллер и др. М.: Металлургия, 1984.
19. Бернштейн М.Л., Займовский В.В., Капустин Л.М. Термомеханическая обработка стали. М.: Металлургия, 1983.
20. Термомеханическая обработка высококачественной сортовой стали / Р.Кольман, К.И.Кремер, Ф.Раковски и др. // Черные металлы. 1991. № 4. С. 48–56.
21. Simulation der Austenitkornfeinung beim Walzen / W.Lehnert, N.Cuong, H.Wehege, R.Werners // Stahl und Eisen. 1993. N. 6. S. 103–109.
22. Lehnert W., Chabbi L. Gefügausbildung bei der Umformung im Zweiphasengebiet // L.Metalic. 1997. N.2.S.147–151.
23. Исследование качества катанки, прокатанной на стане 150 с использованием низкотемпературного блока клетей / А.А.Горбанев, А.М.Юнаков, Й.Шарф и др. // Производство проката. 2000. № 2. С. 20–27.
24. Риксхэм Б., Шор Т.М. Предчистовые и чистовые миниблоки для проволочных и сортовых станов // Металлургический завод и технология. 2000. С. 50–57.
25. Лимпер Х.-Г. Новые технологии производства катанки // VI конгресс прокатчиков. ОАО "Новолипецкий металлургический комбинат". Липецк. 17–20 октября 2005.