ISSN 2308-6440

PASSDESIGN.RU

ЭЛЕКТРОННЫЙ ЖУРНАЛ КАЛИБРОВОЧНОЕ БЮРО

ВЫПУСК 2

«КАЛИБРОВОЧНОЕ БЮРО» Электронный научный журнал. Выпуск 2

Дата опубликования: 13.12.2013.

Издается в авторской редакции

УЧРЕДИТЕЛЬ И ИЗДАТЕЛЬ: Кинзин Дмитрий Иванович.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор:

Д.И. Кинзин – кандидат технических наук, доцент.

Технический редактор:

С.А. Левандовский – кандидат технических наук, доцент.

Адрес редакции: 455000, г.Магнитогорск, ул. Ломоносова, 34, 8.

Адрес в Интернет: www.passdesign.ru.

Издание зарегистрировано в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций и входит в базу данных Российского индекса научного цитирования (РИНЦ)

Свидетельство о регистрации ЭЛ № ФС 77–51759 от 23.11.2012

ISSN 2308-6440

© Кинзин Дмитрий Иванович

СОДЕРЖАНИЕ

Сортопрокатное производство …… 5

И.В. Копылов, К.В. Волков, А.Ю. Ромадин

Особенности способов продольного разделения раската при прокатке арматурных профилей …… 5

Д.И. Кинзин, О.Н. Тулупов, С.А. Левандовский, Е.Н. Ишметьев, Р.В. Новицкий

Автоматизированная информационная система управления валковым хозяйством сортопрокатного цеха ……. 15

О.С. Каледина, А.С. Лимарев

Совершенствование технологии раскроя проката на сортовых станах …… 41

С.Ю. Саранча, А.Б. Моллер, Р.В. Новицкий

Немерная длина в сортопрокатном производстве и способы ее устранения 48

О.Н. Тулупов, А.Н. Луценко, А.Б. Моллер, Д.И. Кинзин, А.И. Трайно

Современные научно-технические подходы для повышения эффективности процессов сортовой прокатки на технологических комплексах Danieli …… 56

С.С. Рычков, Д.И. Кинзин

Сравнительный анализ технологических параметров двух вариантов калибровки валков черновой группы клетей стана 370 ОАО «ММК» ……. 77

Листопрокатное производство ……... 91

М.И. Румянцев

Развитие методики синтеза режима обжатий при прокатке крупногабаритных листов на толстолистовых станах ……. 91

Волочильное производство ……... 101

Н.Н. Огарков, Е.С. Шеметова

Определение упругой контактной деформации волоки с аппроксимацией рабочей поверхности гиперболической зависимостью ……... 101

Научно-популярная рубрика ……... 109

Д.И. Кинзин

Занимательные технологические задачи. Решение первой задачи и условие второй ……. 109

Сведения об авторах …….. 111

И.В. Копылов, К.В. Волков, А.Ю. Ромадин
ОАО «ЕВРАЗ Объединенный Западно-Сибирский
металлургический комбинат»

ОСОБЕННОСТИ СПОСОБОВ ПРОДОЛЬНОГО РАЗДЕЛЕНИЯ РАСКАТА ПРИ ПРОКАТКЕ АРМАТУРНЫХ ПРОФИЛЕЙ

Увеличение доли мелких профилей (№10, 12) в сортаменте мелкосортного стана «250-1» ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК» вызвало необходимость освоения и внедрения технологии прокатки этих профилей с разделением.

За период освоения были разработаны и опробованы различные схемы калибровки валков для формирования ослабленного сечения и способов разделения раската.

Способы формирования ослабленного сечения в значительной степени зависят от последовательности расположения прокатных клетей, что существенно ограничивает реализацию процесса. Применяемые способы формирования ослабленной перемычки в ходе освоения технологии подробно изложены в работах [1, 2].

В настоящей работе рассмотрен окончательный этап деления раската непосредственно в калибрах и с применением специальных устройств.

Первые эксперименты прокатки с разделением производили с применением делительной выводной арматуры. Но ввиду недостаточного количества этих устройств, их сложной конструкции, затрудняющей её обслуживание, а также низкой стойкости разрезных роликов было принято решение применить схему двухручьевой прокатки арматурных профилей с делением раската непосредственно в валках. Использование этой схемы существенно упрощает конструкцию выводных проводок, однако при этом были выявлены некоторые особенности, которые, если их не учитывать, могут практически остановить весь процесс производства. В настоящее время с приобретением в достаточном количестве делительных устройств, имеющих легкую в обслуживании конст-

рукцию, и применением роликов из износостойких материалов в настоящее время освоена и внедрена в производство технология «слиттинг-процесса» для арматурного проката №8, 10, 12, 14 со специальными устройствами деления раскатов.

Реализацию процесса продольного разделения раската контролируемым разрывом в валках осуществляли путем создания в зоне перемычки растягивающих напряжений под действием осевых сил со стороны боковых поверхностей гребней разрезного калибра, внедряемых в металл (рис. 1).

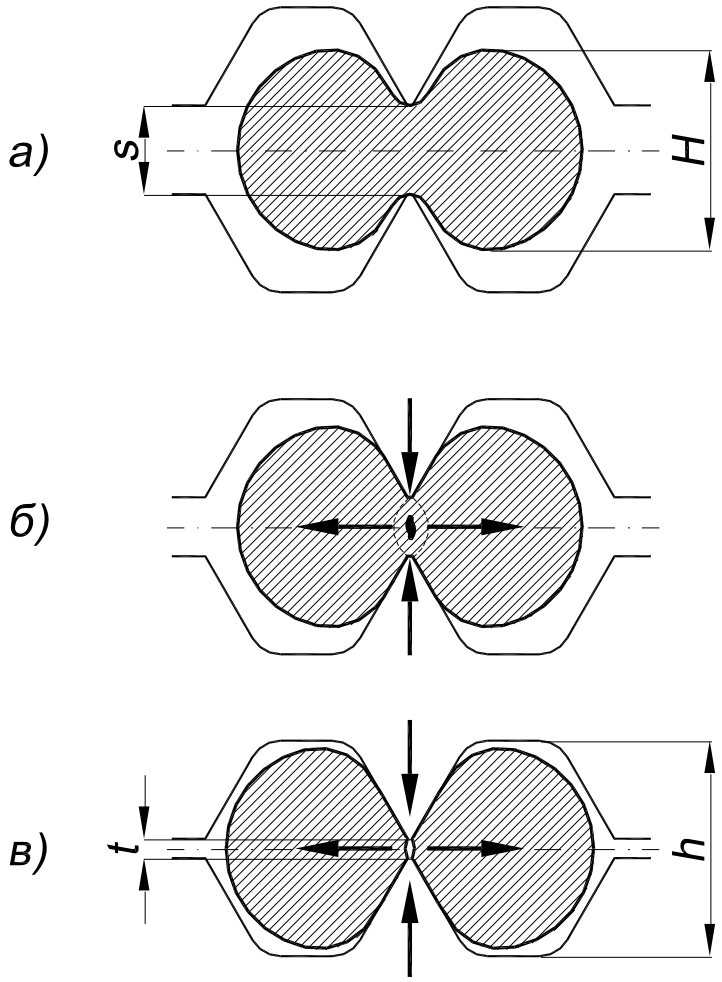


Рис. 1. Схема продольного разделения двухниточного раската контролируемым разрывом: а – момент захвата раската валками; б – внедрение разрезных гребней и зарождающейся трещины в очаге деформации; в – разделенные профили при выходе из очага деформации

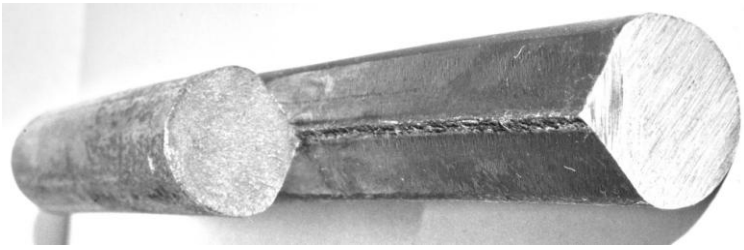
Для этого разрезной калибр спроектирован таким образом, чтобы во время разрезки перемычки отсутствовал контакт металла с дном и боковыми гранями калибра ($h > H$) либо имелся минимальный контакт с незначительным обжатием по высоте ($h \leq H$). В момент захвата валками (рис. 1а) и в период установившегося процесса прокатки осуществляется контакт металла и валков только по всей ширине внутренних гребней калибра.

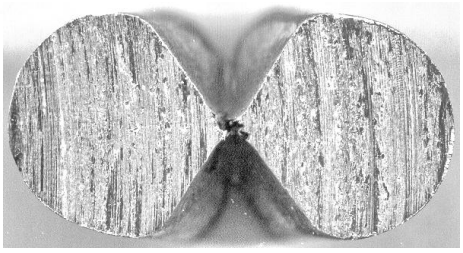
В связи с тем, что осевые силы меньше суммы сил пластического изгиба профилей и силы сопротивления перемычки растяжению ($Q < (G + F)$, где Q – осевые силы; G – сила пластического изгиба; F – сила сопротивления перемычки растяжению), в начале очага деформации имеет место пластическая деформация раската с незначительным обжатием перемычки – гребнями калибра. По мере утонения перемычки уменьшается сила сопротивления перемычки растяжению и с момента $Q > (G + F)$ начинается растяжение перемычки, сопровождаемое взаимным перемещением разделенных профилей в поперечном направлении. Под действием растягивающих сил увеличивается интенсивность напряжений в перемычке и повышается вероятность появления первой трещины на оси симметрии полосы. После этого под расклинивающим действием гребней валков она распространяется к вершинам гребней до разрушения перемычки. Так как трещина зарождается на оси симметрии, то при ее разрастании к вершинам гребней разрезного калибра наблюдаются вогнутые внутрь полосы поверхности разделения. Схема формирования таких поверхностей показана на рисунках 1б и 1в.

Приведенные рассуждения подтверждаются полученными темплетами разделённых профилей (рис. 2а и 2б). Происходит рваное вскрытие зернистой структуры металла в месте разделения заготовок, которое остается заметным после обжатия в последующем овальном калибре (рис. 2в).

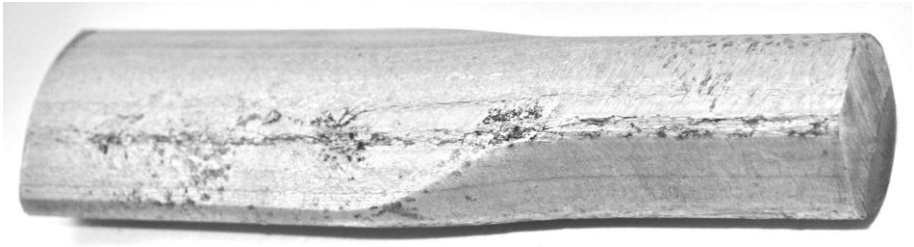
Для уменьшения влияния места разделения на качество готового профиля необходимо сводить к минимуму ширину дорожки разрыва со вскрытой зернистой структурой. Для этого следует уменьшать толщину перемычки задаваемо-

го раската в разрезной калибр и зазор между разрезными гребнями в этом калибре. Минимальный зазор между разрезными гребнями (с учетом «пружины» валков и их регулировки) должен составлять не менее 0,5 мм на новых калибрах. От износа калибра эта величина быстро увеличивается до 1,0 мм. Поэтому главная роль в обеспечении гарантированного деления отводится выдерживанию определённой толщины перемычки на подкате. Опыт проведенных прокаток показал, что изменение отношения величины зазора между разделяющими гребнями разрезного калибра к толщине перемычки на подкате меняет не только условия разделения раската, но и радиус кривизны передних концов разделенных профилей на выходе из валков.





а б

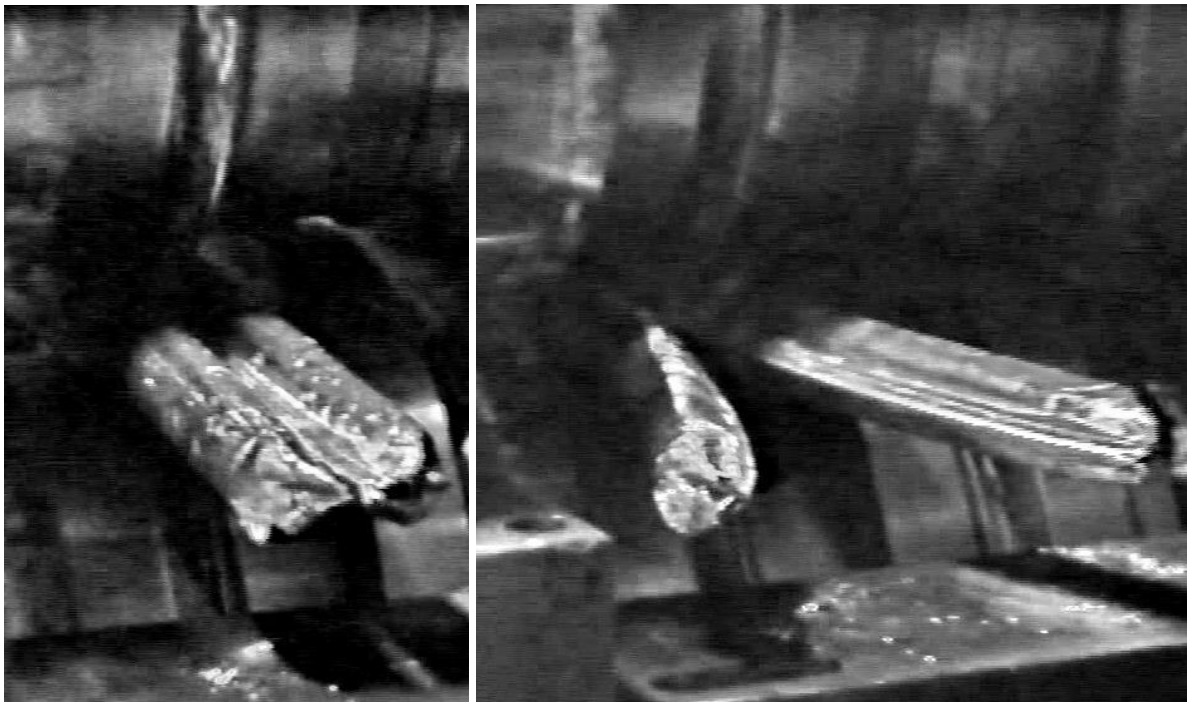


в

Рис. 2. Темплеты очагов деформации:
а – рваная дорожка разрыва после разделения; б – поперечное сечение очага деформации в месте разрыва перемычки; в – вид дорожки разрыва после обжатия в овальном калибре

С целью получения аналитических зависимостей, определяющих процесс продольного разделения двухниточного раската контролируемым разрывом, были проведены экспериментальные исследования на лабораторном прокатном стане 120. Выявлено, что при отношении значений зазора между разрезными

гребнями t к толщине задаваемой перемычки s равном 0,25, разделение профилей проходит неустойчиво только на переднем конце (рис. 3а). С уменьшением величины отношения наблюдается уверенное разделение с большим радиусом кривизны изгиба вплоть до прямолинейного выхода разделенных заготовок. При дальнейшем уменьшении величины отношения $(t/s = 0{,}15)$ происходит уменьшение радиуса изгиба разделенных профилей на выходе из калибра с разбросом передних концов в противоположные стороны (рис. 3б).



а б

Рис. 3. Разделение профилей: а – разрыв не произошел;
б – разрыв с изгибом разделённых профилей

При двух крайних величинах отношения t/s происходит либо дорывание перемычки о внутреннюю перегородку выводной проводки с образованием наварки металла ($t/s \geq 0{,}25$), либо передние концы заготовок упираются в боковые стенки выводной проводки с образованием «крючка», способствующего застреванию раскатов во вводной проводке последующей клети или неправильному захвату в калибре ($t/s \leq 0{,}15$).

Полученные зависимости были использованы при конструировании калибров, что позволило на новых калибрах получать минимальную ширину дорожки разрыва при прямолинейном выходе разделённых профилей. От износа калибров в процессе прокатки оба компонента этих зависимостей постепенно увеличиваются, тем самым величина отношения меняется незначительно и процесс деления не нарушается, но при этом увеличивается ширина рваной дорожки с зернистой структурой. Уменьшение зазора разрезного калибра без корректировки зазоров предшествующих калибров приводило к изгибу передних концов полосы и последующему «забуриванию» в процессе прокатки.

Реализация процесса продольного разделения раската разрезным устройством («слиттинг-процесс») состоит из двух операций: подготовка раската к разделению и само разделение. Продольное разделение раската, состоящего из двух круглых или другой формы профилей, соединённых тонкой перемычкой, осуществляется разрывом перемычки специальным устройством, устанавливаемым на выходе из валков, под действием выталкивающей силы, создаваемой прокатными валками. Устройство для разделения содержит одну или две пары горизонтальных роликов с гребнями посередине бочки.

Для реализации этого процесса калибр, формирующий тонкую перемычку порядка 0,8-1,0 мм, спроектирован так, чтобы у обжимаемой в нём полосы не происходило деление. В начале очага деформации (рис. 4а) осуществляется контакт металла с валками только по всей ширине внутренних гребней калибра. По мере утонения перемычки гребнями валков уменьшается сила F сопротивления перемычки растяжению и с момента, когда $Q > (G + F)$, начинается растяжение перемычки, сопровождаемое взаимным перемещением профилей в поперечном направлении. Под действием растягивающих сил увеличивается интенсивность напряжения в перемычке, что способствует зарождению трещины на оси симметрии полосы (рис. 4б). Далее по ходу очага деформации начинается обжатие профиля дном калибра и боковыми стенками, тем самым уравновешиваются растягивающие напряжения, прекращается зарождение трещины в

очаге деформации (рис. 4в). На выходе из очага деформации профиль обжимается по всему контуру и разрыва перемычки не происходит (рис. 4г).

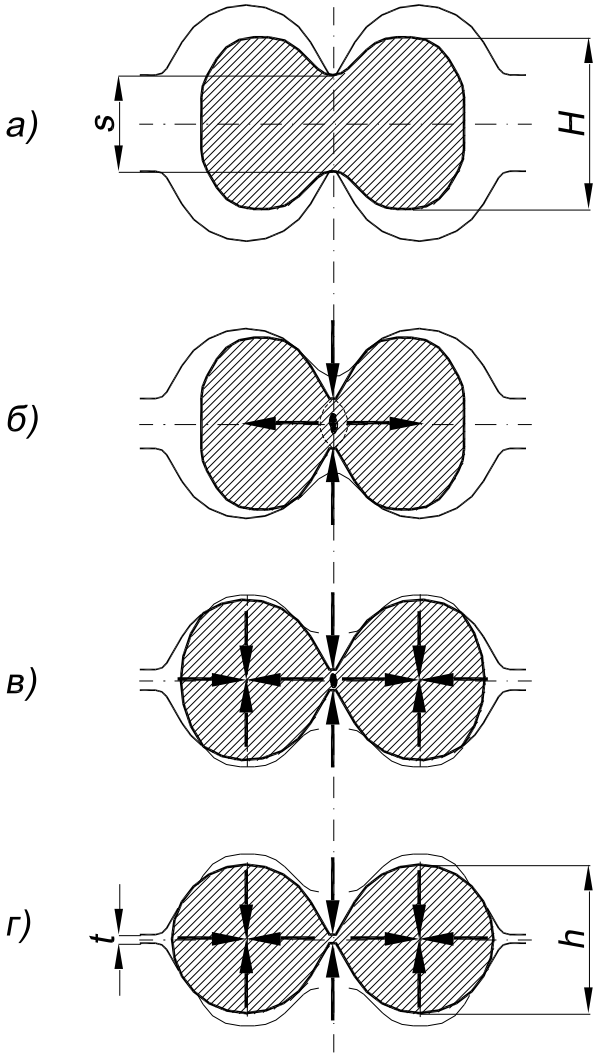
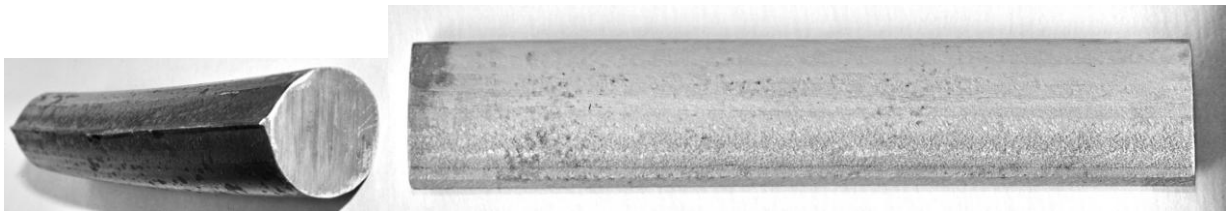


Рис. 4. Схема продольного разделения двухниточного раската при «слиттинг-процессе»: а – момент захвата раската валками; б – внедрение разрезных гребней до контакта по дну и боковым граням калибра, начало зарождения трещины в очаге деформации; в – внедрение разрезных гребней в момент контакта с дном и боковыми гранями калибра, прекращение зарождения трещины в очаге деформации; г – профиль двух половинок, соединенный тонкой перемычкой при выходе из очага деформации

Продольное разделение завершается в клиновидных роликах делительного устройства. Увеличенный угол клиновидных роликов (относительно угла

сформированной канавки профиля) обеспечивает взаимное смещение соединённых половинок. Под действием осевых сил происходит растяжение и разрыв перемычки. Вид места разделения показан на рис. 5а. Конструкция калибров и форма разрезных роликов делительного устройства позволяет на новых калибрах получать минимальную величину шейки разрыва. При обжатии такой полосы в овальном калибре происходит растяжение острой кромки в поперечном направлении без образования заката (рис. 5б). При значительном износе разрезных гребней калибра клиновидные ролики начинают выполнять работу не только взаимного смещения половинок профиля, но и дорезания перемычки. В этом случае величина шейки разрыва увеличивается и появляется вероятность образования заката.



а б

Рис. 5. Темплеты очагов деформации:
а – дорожка разделения; б – вид дорожки разделения после обжатия
в овальном калибре на «просветленном» темплете

При реализации «слиттинг-процесса» большое значение имеют два фактора: точная задача раската в калибр и положение выводного делительного устройства относительно калибра. Выполнение этих факторов значительно затрудняет настройку процесса. Однако в отличие от деления полосы контролируемым разрывом непосредственно в валках наличие делительного устройства обеспечивает выполнение заданных параметров при осуществлении процесса разделения раската. При выкрашивании разрезного гребня в калибре клинообразные ролики разрезного устройства дорезают дефектный участок. В таком режиме продолжать прокатку не рекомендовано, но появляется возможность до

обнаружения сколов, не получая «бурений» и несоответствия требованиям к готовой продукции, докатать находящиеся в линии стана заготовки.

Преимущества процесса продольного разделения раската контролируемым разрывом:

– упрощение настройки валков в случае деления раската при больших зазорах между разрезными гребнями;

– отсутствие шейки разрыва в месте разделения заготовок;

– надежное самоцентрирование раската в двухручьевом калибре;

– повышение срока службы валков в результате возможности увеличения угла до 90° у вершин гребней двухручьевого калибра;

– простота конструкции выводной валковой арматуры.

К недостаткам продольного разделения раската следует отнести:

– вскрытие зернистой структуры металла в месте разделения заготовок;

– необходимость осуществлять разделение раската в узком диапазоне соотношения значений зазора между разрезными гребнями и толщины перемычки, влияющей на радиус кривизны передних концов разделенных профилей на выходе из валков.

Преимущества технологии «слиттинг-процесса»:

– ровная поверхность шейки разрыва, растягивающаяся от обжатия в овальном калибре без оставления видимых следов;

– наличие делительного устройства, подстраховывающего протекание процесса разделения, дорезая дефектный участок от выкрошенных гребней калибра.

К недостаткам технологии «слиттинг-процесса» следует отнести:

– разделение в делительном устройстве полосы, полученной в калибре со значительным износом разрезных гребней, увеличивает шейку разрыва и появляется вероятность образования заката;

– необходимость в формировании на раскате очень тонкой (порядка 0,8-1,0 мм) перемычки снижает срок службы валков (низкая стойкость формирующего калибра);

– наличие разделяющего устройства сложной конструкции требует квалифицированного обслуживания;

Выводы. Рассмотрены особенности, преимущества и недостатки продольного разделения раската в калибрах и разделения раската с применением специальных устройств при прокатке арматурных профилей. Выявлены отличия способа продольного разделения контролируемым разрывом от «слиттинг-процесса».

Библиографический список

1. Освоение производства арматурной стали способом прокатки с разделением / А.И.Погорелов, И.В.Копылов., О.Ю.Ефимов и др. // Сталь. 2004. №5. С. 63-66.

2. Использование технологии прокатки-разделения на стане 250-1 / О.Ю.Ефимов, В.Я.Чинокалов, И.В.Копылов и др. // Сталь. 2008. № 8. С. 78-80.

Д.И. Кинзин, О.Н. Тулупов, С.А. Левандовский
ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова»
Е.Н. Ишметьев
ЗАО «КонсОМ СКС»
Р.В. Новицкий
ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат»

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ВАЛКОВЫМ ХОЗЯЙСТВОМ СОРТОПРОКАТНОГО ЦЕХА

В статье разработана схема жизненного цикла валка, которая является фундаментальной основой для создания автоматизированной информационной системы управления валковым хозяйством сортопрокатного цеха. Показаны существующие проблемы валкового хозяйства на примере сортопрокатного цеха ОАО «ММК» и пути их решения.

Ключевые слова: учет валков, валковое хозяйство, жизненный цикл валка, автоматизированная информационная система.

1. Введение

Эффективность работы прокатного стана в значительной мере определяется качеством и культурой эксплуатации основного рабочего инструмента – прокатных валков. Для широкого сортамента станов необходим значительный эксплуатационный парк валков и складских площадей, что требует больших затрат. В то же время расход валков занимает существенную долю в себестоимости прокатной продукции. Состояние и стойкость валков оказывают влияние на качество проката и производительность стана. Очевидно, что повышение качества валков, улучшение их эксплуатации и рациональная организация валково-

го хозяйства обеспечат увеличение производительности, улучшение качества и снижение себестоимости продукции сортового цеха.

Основой рациональной организации валкового хозяйства является учет прокатных валков. Валковое хозяйство, стоимость которого может составлять сотни миллионов рублей, требует точного учета для расчета парка валков, статистического определения расхода валков, правильного списания валков на себестоимость прокатной продукции, анализа поломок валков и т.д. При этом старые методы учета не отвечают требованиям времени и являются тормозом развития. В настоящее время существуют более эффективные информационные технологии, которые открывают новые возможности и могут стать основой конкурентного преимущества.

Рассмотрим проблемы и способы их решения при организации валкового хозяйства на примере сортопрокатного цеха ОАО «ММК» [1, 2].

2. Существующие проблемы валкового хозяйства и методы их решения

Среди валковых хозяйств всех прокатных цехов ОАО «ММК» самым сложным по своей структуре и количеству валков является валковое хозяйство сортового цеха. Общее количество сортовых валков составляет около 2500 штук на сумму порядка 500 млн рублей и в будущем эти показатели могут увеличиться в связи с освоением сортамента. Валки листовых станов гораздо массивнее и дороже, но из-за меньшего их количества управлять ими гораздо легче (для сравнения, в ЛПЦ №10 валков на порядок меньше, чем в сортовом цехе). Сложность состоит не только в количестве, но и в разнообразии размеров и материалов. Существует около 70 различных заготовок валков, использующихся для нарезки калибров, а с учетом калибровки насчитывается порядка 500 позиций, существенно отличающихся друг от друга.

Диапазон расхода валков на одну тонну прокатной продукции может существенно отличаться в зависимости от прокатываемого профиля [3, 4]. В сор-

товом цехе доля затрат на валки в 2006 г. составила около 15% от всех расходов по переделу, что не может не обращать на себя внимание. Структура расходов по переделу, показанная на рис. 1, является средней. Если мы рассчитаем расход валков на конкретные прокатные профили, сортамент которых в сортовом цехе насчитывает около пятисот профилеразмеров, то получим очень разнородную структуру.

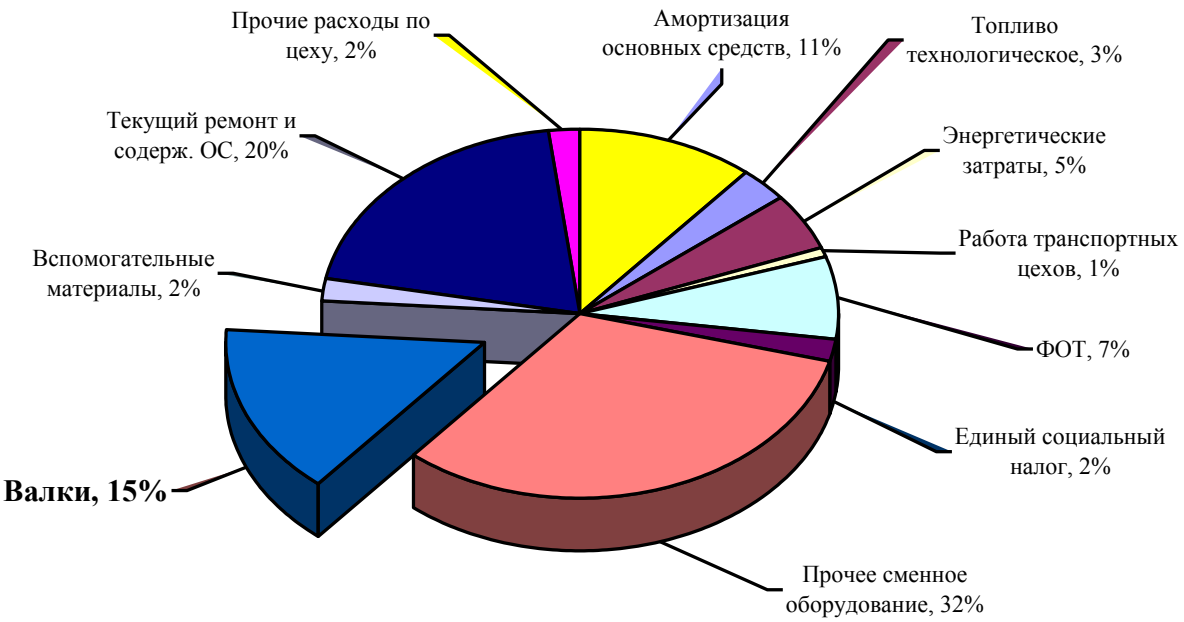


Рис. 1. Структура расходов по переделу в 2006 году

Расход валков при прокатке различных профилей может отличаться в десятки раз. Однако производится расчет только средней себестоимости несмотря на то, что различные профили могут приносить разную прибыль, а возможно отдельные виды продукции являются убыточными.

Расчет себестоимости в части распределения затрат на валки можно выполнять гораздо точнее. По крайней мере, распределить эти расходы по группам профилей вполне возможно, т.к. расходы на валки по своей природе являются прямыми и переменными [5].

Для решения поставленной задачи необходимо иметь точную информацию о том, сколько валков и на какие виды продукции израсходовано. Знание

расхода валков необходимо также для разработки рационального бюджета валков на следующий год работы станов.

Отсутствие необходимой информации делает невозможным решение и других актуальных проблем. В частности, невозможно провести анализ причин поломок валков, а, следовательно, и выработку обоснованных мероприятий по их сокращению. Крайне затруднительны экспериментальные работы по изменению калибровки и материала валков, так как подобных экспериментов проводится много и длятся они многие месяцы, поэтому результаты можно получить только в виде статистических показателей. Отсутствие такой информации вынуждает строить выводы на основе косвенных и субъективных источников.

Важной задачей является эффективное комбинирование калибров на валках. На значительной части валков нарезаются различные калибры. Если этого не делать, то сократится расход валков, но в несколько раз возрастет общее их количество, находящееся в эксплуатации. Налицо возникает задача оптимизации.

Большая сложность валкового хозяйства сортового цеха делает его трудно управляемым и порождает ошибки при работе с ним, которые ведут к снижению производства и качества проката.

Основой для решения описанных проблем может стать автоматизированная информационная система (АИС) учета и управления валковым хозяйством сортового цеха [6].

Современный этап развития характеризуется переходом к так называемому информационному обществу [7]. Ни одна организация не может осуществлять свою деятельность без информации. В процессе нормального функционирования организации, управления ею в различного рода информации нуждаются все ее работники – от простого рабочего или служащего до директора. При этом информационные процессы являются не самоцелью, они призваны в конечном итоге управлять материальными потоками и их взаимодействием. В связи с этим решение проблем рационального использования современных и перспективных методов и средств обработки информации в практической дея-

тельности приобретает первостепенное значение. Отечественный и зарубежный опыт убедительно доказывает, что развитие предприятий металлургического комплекса, решение проблем качества и конкурентоспособности металлопродукции на мировом рынке требуют коренного совершенствования систем сбора, хранения, обработки, передачи и использования информации [8]. Это единственный путь значительного повышения эффективности профессиональной деятельности.

Применение новых информационных технологий заставляет по-новому осуществлять оценку эффективности деятельности предприятия [9].

Информационные технологии также находятся в основе успеха применения логистики и новых подходов к организации бизнес-процессов [10].

Однако самое главное преимущество автоматизированной системы учета заключается в том, что руководство в любой момент может увидеть объективную картину своего бизнеса и сразу же ее проанализировать. На компьютере будет видна текущая ситуация и история процесса. Это позволяет контролировать все аспекты деятельности и увидеть то, что раньше ускользало от нашего внимания.

Фирмой DANIELI была предоставлена программа для учета валков, однако она имеет ряд недостатков. Программа локализована на главных постах станов и как предполагалось, учет должны вести операторы. Но операторы главных постов являются носителями лишь части информации, связанной с валками, и физически не могут обеспечить полноценного учета. А потеря части информации сводит на нет все усилия. Кроме того, программа не позволяет правильно учитывать валки с комбинированной калибровкой, т.к. рассчитана для станов с гораздо меньшим сортаментом. Функции программы ограничены только учетом, что существенно сокращает тот эффект, который можно от нее ожидать при другом подходе к делу.

Необходима система, которая будет учитывать специфику работы и сортамента станов. При этом нагрузка по вводу информации должна равномерно

распределяться среди сотрудников, являющихся носителями данной информации.

Далее предлагаются базовые положения АИС управления валковым хозяйством сортового цеха. Такая система должна стать информационным фундаментом управленческой деятельности, а не ограничиваться только учетом. Внедрение такой системы направлено на сокращение расходов по переделу, совершенствование электронного документооборота, постоянную оценку и анализ результатов деятельности, повышение управляемости цеха.

3. Разработка базовых положений АИС управления валковым хозяйством

Рассмотрев общепринятую классификацию АИС [11], мы придем к выводу, что наша АИС, с одной стороны, должна быть автоматизированной системой управления, а с другой, – автоматизированной информационно-справочной системой.

Автоматизированная система управления предназначена для автоматизации всех или большинства задач управления, а автоматизированная информационно-справочная система (АИС) предназначена для сбора, хранения, поиска и выдачи в требуемом виде потребителям информации справочного характера.

Такие АИС создаются с использованием технологии баз данных, достаточно хорошо разработанной и получившей широкое распространение. Для создания таких систем не требуется высокопроизводительная вычислительная техника.

3.1. Построение АИС на основе схемы событий

С каждым валком с момента приобретения и до момента списания происходят различные события. При этом каждый валок может иметь свою уникальную историю таких событий. Несмотря на разнообразие, «жизненный путь»

любого валка можно уложить в общую схему. В блок-схеме возможных событий (рис. 2) прямоугольниками обозначены собственно события, а ромбами – этапы принятия решения.

Тогда главным принципом, который позволит знать историю каждого валка, будет обязательное отражение всех событий в АИС.

Рассмотрим каждое событие более подробно.

- **Поступление валков на склад**

Данное событие отчасти уже реализовано в корпоративной информационной системе (КИС) ОАО «ММК» [12, 13]. В модуле «Запасы» можно увидеть количество и типоразмеры тех валков, которые находятся на складах.

Нас в первую очередь интересует количество валков той или иной позиции. Можно узнать эту информацию из модуля «Запасы», но делать это придется вручную, что неудобно из-за того, что валки одной позиции могут находиться на разных складах. Неудобство также состоит в представлении информации. Чтобы не вносить изменения в КИС, лучше сделать АИС самостоятельным модулем КИС. Модуль будет автоматически получать, обрабатывать и представлять в необходимом виде информацию по складу валков. Таким образом, мы интегрируем нашу систему в КИС как самостоятельный блок, что значительно упрощает процесс его разработки и внедрения.

- **Формирование пары**

При вводе валков в эксплуатацию необходимо вести учет каждого валка. Все валки имеют уникальную маркировку, которая и будет в дальнейшем идентификатором валка. Кроме того, необходим покомплектный учет валков, т.к. валки в сортовом цехе всегда работают в паре (комплекте). Каждая пара, как и отдельный валок, должна иметь уникальный идентификационный номер.

Исходя из этого, процесс формирования пары будет состоять в том, что номеру пары будут поставлены в соответствие два номера валков, а также дата ее формирования. Фактически это будет означать заполнение трех полей в базе данных АИС, что не является сложной задачей.

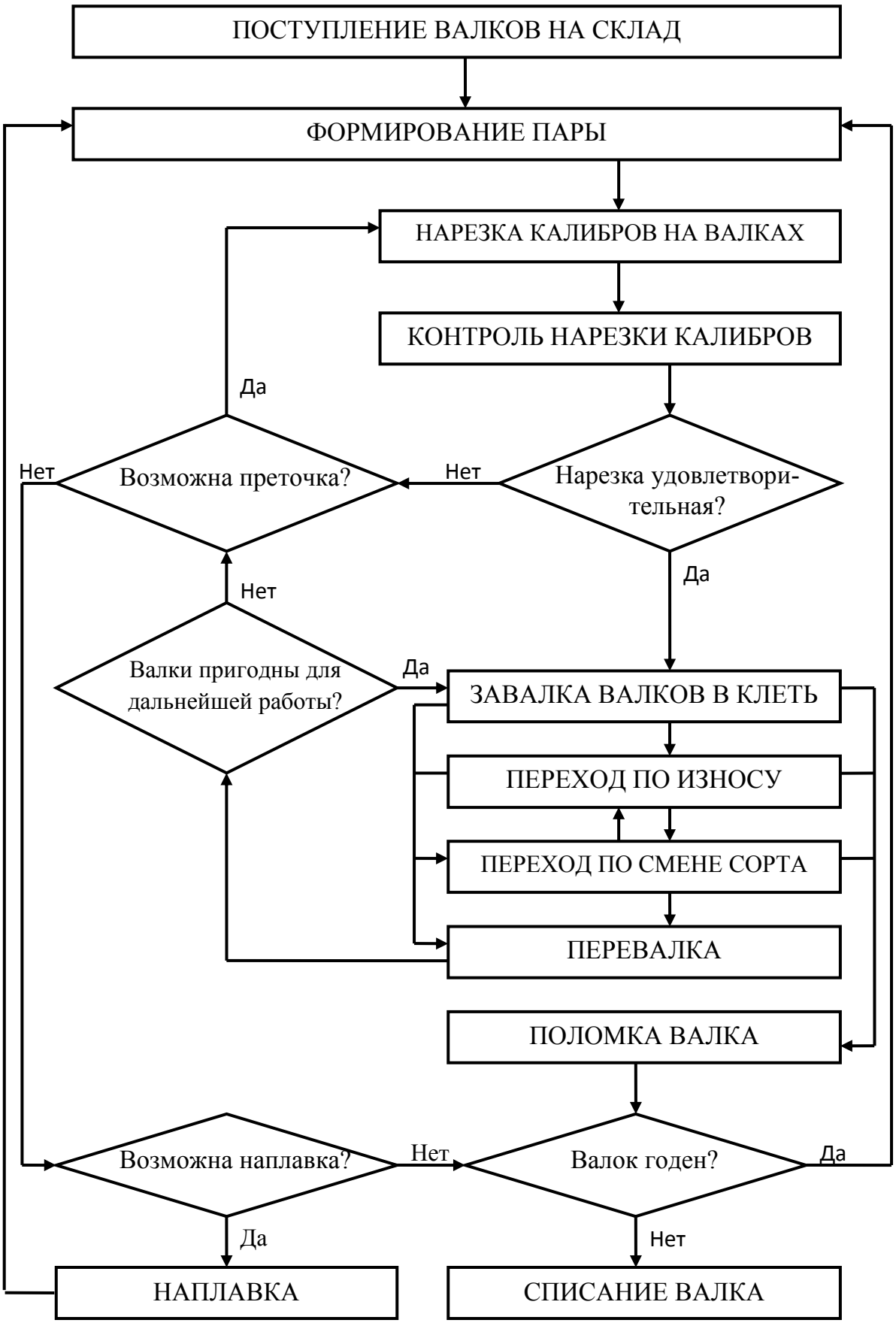


Рис. 2. Блок-схема событий

- **Нарезка калибров на валках**

Почти все валки являются калиброванными. Нарезку калибров на валках производят на вальцетокарных станках ЗАО «МРК» [14] по чертежам калибровочного бюро.

Ввиду того, что чертежей валков в настоящее время существует около 650 штук, причем постоянно появляются новые чертежи и устаревают действующие, имеет хождение множество бумажных версий. Такая ситуация неизбежно приводит к задержкам и появлению ошибок в работе (невозможно найти нужный чертеж или нарезка калибров производится по устаревшему чертежу).

Разрешить данную ситуацию возможно путем создания электронного альбома чертежей валков, который должен всегда поддерживаться в актуальном состоянии.

Такой альбом освободит от необходимости иметь множество бумажных комплектов чертежей, уследить за которыми невозможно, что избавит от многих ошибок и упростит работу технологическому персоналу станов, мастеру по валкам, калибровочному бюро и вальцетокарному участку ЗАО «МРК».

Нарезка калибров на валках найдет свое отражение в АИС в виде номера чертежа, поставленного в соответствие номеру комплекта, и диаметров валков после нарезки калибров. Используя такую систему, вполне возможно автоматизировать процесс оформления заявки на нарезку калибров.

- **Контроль нарезки калибров**

Контроль нарезки калибров представляет собой процесс проверки на соответствие размеров и формы нарезанных калибров чертежу. Проверка производится с помощью шаблона – металлической пластины, повторяющей контур кольцевого выреза на валке. Шаблон прикладывают к валку, что позволяет оценить степень совпадения калибра и шаблона.

Для обеспечения проверки калибров необходимо иметь полный набор шаблонов, что составляет около 1000 штук.

С осуществлением данной функции имеются проблемы. Контроль производится не систематично, что приводит к ошибкам в работе (прокатка на неправильно нарезанных калибрах или калибрах, предназначенных для других профилей), снижению качества проката и простоям станов. Единственным решением проблемы представляется создание в сортовом цехе шаблонного отделения. И хотя в цехе имеется некоторый набор шаблонов (далеко не полный), можно с уверенностью утверждать, что шаблонного отделения нет из-за полного отсутствия системы работы.

Для создания действительно полноценного шаблонного отделения и полноценного контроля нарезки калибров на валках необходимо разработать инструкцию по эксплуатации шаблонов, которая должна определять изготовление, хранение, ремонт, проверку и эксплуатацию шаблонов, а также устанавливать ответственность за осуществление данных функций.

Как и для валков, необходим электронный альбом чертежей калибров и шаблонов для них.

- **Завалка валков в клеть**

В случае удовлетворительных результатов проверки качества нарезки калибров валки заваливают в клеть и устанавливают привалковую арматуру на соответствующий калибр.

В АИС в данном случае необходимо отразить номер клети, прокатываемый профиль и положение калибра на бочке валка.

- **Переход по износу**

После завалки валков в клеть и начала прокатки может наступить любое из четырех событий: переход по износу, переход по смене сорта, перевалка или поломка валка.

При переходе по износу валки остаются в клети, а привалковая арматура переставляется на точно такой же калибр. В АИС отмечается положение нового калибра и количество металла, прокатанного на предыдущем.

- **Переход по смене сорта**

Данный переход отличается от перехода по износу тем, что при смене калибра происходит смена прокатываемого профиля, а это дополнительно необходимо отразить в системе.

- **Перевалка**

Под перевалкой здесь понимается смена клетей в стане, поэтому нас будет интересовать только количество металла, прокатанного с момента наступления предыдущего события.

- **Поломка валка**

Ни один прокатный стан не обходится без поломок валков, но их частота зависит от качества и размера валков, усилия прокатки, прокатываемого профиля, режима охлаждения и т.д. Для каких-то профилей проката и станов поломка валка является исключительным событием, в других случаях – это закономерность. Например, при прокатке швеллера 16У в феврале 2007 года на стане 450 было сломано четыре валка.

Чтобы провести полноценный анализ причин поломок, необходима статистическая информация за достаточно длительный период времени. Поэтому важно вести систематический учет всех поломок.

В качестве информационного сопровождения поломки валка могут послужить: место поломки, вид излома, результаты анализа материала валка, предполагаемые причины поломки.

- **Наплавка**

После выработки валком своего ресурса в некоторых случаях возможно его восстановление путем наплавки.

- **Списание валка**

После того, как валок заканчивает свой «жизненный» путь, вся информация о нем записывается в архив.

3.2. Ключевые показатели и система отчетов

Для оценки эффективности функционирования валкового хозяйства необходимо иметь ряд ключевых показателей, отражающих основные характеристики системы.

В качестве таких показателей можно предложить следующие:

– расход валков в единицу времени (текущий запас валков);
– страховой запас валков;
– количество валков, находящихся в эксплуатации;
– количество валков на складах;
– парк валков (общее количество валков);
– расход валков на 1 тонну проката;
– ресурс валков;
– коэффициент использования валка;
– неликвидный запас валков;
– оборот валков.

Все описанные показатели должны вычисляться автоматически и также автоматически представляться в виде ежемесячных и ежегодных отчетов. Кроме того, отчеты должны включать контрольные суммы, что покажет достоверность представленной информации, например, количество прокатанного металла по данным АИС и фактическое количество за тот же период.

Наряду с автоматически формируемыми отчетами система должна допускать формирование отчета по запросу пользователя для получения необходимой информации в удобной форме.

3.3. Базовые положения АИС

Для получения от АИС учета и управления валковым хозяйством наибольшего эффекта необходимо придерживаться некоторых базовых положений при ее создании и эксплуатации.

В качестве базовых положений можно выделить следующие.

АИС должна быть интегрирована в КИС в качестве самостоятельного модуля. При этом система должна быть полностью совместима с действующими системами автоматизации и обеспечивать информационный обмен с ERP-системой предприятия [15].

Схема событий (рис. 2) является основой для построения АИС, при этом каждое событие в обязательном порядке должно находить свое отражение в системе.

Ответственность за занесение информации о событии в АИС необходимо возложить на ее изначальных носителей.

Необходима электронная база данных по калибровке валков, которая будет состоять из альбомов чертежей валков, калибров и шаблонов, а также содержать технологические режимы прокатки.

Расчет усредненных ключевых показателей и формирование отчетов необходимо осуществлять автоматически. Возможность получать более подробную информацию должна быть реализована при помощи системы запросов и фильтров.

Система должна предотвращать ввод заведомо неправильной информации (недопустимая последовательность событий, неправильное сочетание калибров, валков и прокатываемого профиля и т.д.), что позволяет избежать многих ошибок.

Соблюдение этих принципов является залогом успеха, а отступление от них может свести на нет все усилия.

4. Управление на основе АИС

Сущность любой теории или целенаправленной деятельности, в том числе управленческой, проявляется в их функциях, то есть в совокупности задач, которые они призваны решать [16]. Рассмотрим, что дает внедрение АИС для реализации основных функций управления и достижения ее целей.

4.1. Планирование

Главной функцией менеджмента считается планирование, рассматриваемое в широком смысле слова. Реализуя ее, управляющий на основе глубокого и всестороннего анализа ситуации, в которой в настоящий момент находится организация, и ее перспектив формулирует цели и задачи на предстоящий период, разрабатывает стратегию действий и, наконец, составляет необходимые планы и программы для их реализации. Образно говоря, речь здесь идет о том, чтобы определить, «где мы находимся в настоящее время, куда хотим двигаться и как собираемся это делать». Планирование – это прежде всего процесс принятия решений, позволяющих обеспечить эффективное функционирование и развитие системы в будущем, уменьшить неопределенность. Решения, которые принято относить к плановым, могут быть связаны с постановкой целей и задач, выработкой стратегии, распределением и перераспределением ресурсов, определением стандартов, в соответствии с которыми необходимо действовать в предстоящем периоде. В принятии таких решений состоит процесс планирования.

Предлагаемая АИС позволяет определить ситуацию, сложившуюся на сегодняшний момент. Она является объективным отражением интересующей нас части реальности. Таким образом, мы можем сказать, где находимся в настоящий момент времени.

Без знания текущей ситуации планирование представляется бесполезным занятием, т.к. мы не сможем принять правильных решений, которые приведут нас в заданное состояние, а также не сможем определить достигли ли мы его.

Положительная роль АИС может проявляться как при оперативном, так и при стратегическом планировании.

Оперативное управление сводится к принятию решений в конкретной, сложившейся в данный момент ситуации.

Имея месячную производственную программу и реальную информацию о состоянии валков, не составит большого труда определить программу действий. Мы легко и быстро узнаем, какие валки у нас имеются для прокатки того или

иного профиля, насколько они выработали свой ресурс, хватит ли имеющегося ресурса для выполнения программы, какие валки необходимо отремонтировать, а какие нарезать новые, какой запас валков необходим с учетом статистики поломок для обеспечения выполнения заказов. Ошибки в данных вопросах приводят к срывам кампании, невыполнению заказов и выпуску беззаказной продукции.

Накопление опытных данных может стать фундаментом для разработки экономически обоснованных норм расхода валков, стойкости калибров и необходимого запаса валков. Наличие обобщенных опытных данных и установленных норм позволит применять экспериментальные и нормативные методы планирования.

На уровне ключевых показателей АИС может быть реализована функция стратегического планирования.

Выработка стратегии невозможна без обладания широкой информацией о наиболее существенных моментах, влияющих на принятие решений. Ключевые показатели, представляющие собой результат обработки, группировки и анализа первичных сведений, в данном смысле являются базой стратегических данных. Анализ собранной стратегической информации позволяет сделать выводы о тенденциях развития и будущем состоянии объекта управления.

Установление желаемых значений ключевых показателей будет определять стратегическую цель. Проведя анализ накопленной информации, возможно выявить основные причины, определяющие существующие значения показателей, а, следовательно, можно разработать программу последовательных мероприятий, выполнение которых обеспечит достижение заданных значений.

4.2. Организация

Практическое воплощение замыслов, содержащихся в планах, программах, стратегиях. берет на себя организационная функция. Она реализуется через создание самой организации, формирование ее структуры, системы управ-

ления, обеспечение ее деятельности необходимой документацией. С помощью организационных методов создаются необходимые условия функционирования организации: ее деятельность нормируется, регламентируется и обеспечивается необходимыми инструкциями, фиксирующими расстановку персонала, его права, обязанности, специфику поведения в различных ситуациях. Эти методы создают своего рода рамки, направляющие будущее функционирование и развитие организации.

Внедрение системы учета и управления валковым хозяйством должно сыграть сильную детерминирующую роль, а потому АИС будет мощным организационным фактором.

В качестве организационных мероприятий можно предложить следующие:

– разработка инструкции по эксплуатации АИС, в которой будет описан порядок работы и определена ответственность за осуществление тех или иных функций;

– разработка инструкции по эксплуатации, проверке, ремонту и хранению шаблонов калибров.

4.3. Мотивация

Как мы знаем, ни одна задача не будет успешно решена с должным качеством и минимальными затратами, если работники – руководители и исполнители – не будут в этом заинтересованы. Отсюда вытекает еще одна важнейшая функция менеджмента – мотивационная.

Мотивация представляет собой процесс создания системы условий или мотивов, оказывающих воздействие на поведение человека, направляющих его в нужную для организации сторону, регулирующих его интенсивность, границы, побуждающих проявлять добросовестность, настойчивость, старательность в деле достижения целей.

Схема вознаграждения по результатам деятельности реализуется следующим образом. На первом этапе, исходя из стратегии организации, руководство определяет цели и задачи, которые должны быть достигнуты сотрудником. Разрабатывается система ключевых показателей эффективности деятельности (KPI – Key Performance Indicators), количественно и качественно описывающих эти цели и задачи. Во многих компаниях сегодня эта система представлена в виде сбалансированной системы показателей (BSC – Balanced Scorecard).

Предлагаемые ключевые показатели эффективности деятельности валкового хозяйства могут хорошо вписаться в существующую систему.

Однако хорошо известны и недостатки экономических методов мотивации. Реализация этой схемы премирования дает хорошие результаты лишь в краткосрочном периоде. В долгосрочной перспективе в компании начинают накапливаться проблемы. Они выражаются в смещении фокуса:

– в сторону количественных показателей, которые легко измерить, и, как следствие, нивелирование или игнорирование вопросов качества;

– с задачи в целом на ее отдельные характеристики;

– с интереса к работе на интерес к деньгам;

– на индивидуальный результат с общекомандного;

– на краткосрочные, легкорешаемые задачи с задач более комплексных и долгосрочных, чей результат всегда менее очевиден и в большей степени может быть подвержен влиянию неопределенных факторов;

– с творческого, инициативного подхода к работе на более осторожный и консервативный в связи с риском потерять деньги из-за неизбежных при инициативе ошибках.

Внедрение АИС также может способствовать развитию неэкономических способов мотивации, что позволит, например, лучше соответствовать критериям мотивирующей организации труда, предлагаемым немецкими учеными В.Зигертом и Л.Лангом.

– появится свободный и быстрый доступ сотрудников ко всей необходимой информации;

– ключевые показатели предоставят информацию о качестве труда и позволят осуществлять самоконтроль;

– внедрение АИС вскроет те проблемы, которые раньше ускользали от нашего внимания, что должно стать сильным стимулом для решения данных проблем;

– в достижении цели, которую работник себе поставил или в формулировании которой принял участие, он проявит больше энергии;

– решение новых задач будет способствовать приобретению новых знаний и опыта.

4.4. Контроль

Результаты деятельности цеха и его сотрудников необходимо время от времени проверять, оценивать и корректировать. Это составляет содержание контрольной функции менеджмента. Контроль призван заблаговременно выявлять надвигающиеся опасности, обнаруживать ошибки, отклонения от существующих стандартов и тем самым создавать основу для совершенствования работы. Безусловно, по его результатам могут делаться и «оргвыводы», связанные с поощрением или наказанием исполнителей, однако поиск «мальчиков для битья» не является его задачей.

Деятельность организации требует, чтобы контроль, как и планирование, с которым он теснейшим образом связан, был непрерывным процессом. Без надежной системы контроля в настоящее время не может успешно функционировать ни одна организация, в системе управления которой он решает несколько задач.

Во-первых, с помощью контроля можно заранее обнаружить факторы, которые могут оказать существенное влияние на деятельность цеха и, подготовившись необходимым образом, своевременно на них отреагировать. Кроме то-

го, с помощью контроля отслеживаются недостаточно четко выраженные тенденции в развитии, их направление и глубина, что позволяет создавать более обоснованные и надежные планы деятельности, особенно на перспективу.

Во-вторых, контроль помогает своевременно обнаружить неизбежные нарушения, ошибки, промахи и оперативно принять необходимые меры для их устранения.

В-третьих, результаты контроля служат основой оценки работы организации и ее персонала за определенный период, эффективности и надежности системы управления ею.

В результате контроль позволяет избежать в будущем неудовлетворительных результатов деятельности и создать необходимые предпосылки для стимулирования персонала.

Роль АИС в осуществлении функции контроля достаточно очевидна. Как и в случае планирования, АИС позволяет осуществлять контроль в стратегической и оперативной форме. Стратегический контроль имеет в качестве основного объекта эффективность использования ресурсов (в нашем случае валков) с точки зрения достижения конечных целей организации. Оперативный контроль ориентирован на текущую производственную деятельность: нарезка калибров на валках; соблюдение производственного графика; наличие запаса валков и т.д.

АИС хорошо согласуется с принципами контроля, без соблюдения которых нельзя достичь цели.

АИС охватывает все сферы валкового хозяйства, что позволяет получать достаточно полную и объективную картину. Хотя контроль осуществляется не ради выявления проблем, какими бы интересными они ни были, а для их успешного решения и достижения конкретных результатов. Поэтому информация, не нужная для корректировки деятельности, бесполезна и собирать ее не стоит. В то же время необходимо точно знать степень отклонения основных процессов от научно обоснованных стандартов, чтобы иметь возможность про-

вести точный анализ причин и последствий и сформулировать адекватные решения.

Контроль может осуществлять не одно лицо или небольшая группа людей, а весь персонал, ибо лучший контроль – это самоконтроль заинтересованных в результатах своего труда исполнителей. Поэтому, чтобы получить надежный контроль, от него нужно отказаться, «отпустить поводья», максимально расширить полномочия людей в процессе выполнения своих обязанностей и проверять лишь самое важное – результаты.

Система контроля, построенная на ключевых показателях, имеет стратегическую направленность, заданную основными приоритетами развития организации в целом.

В то же время АИС позволит достичь главную цель контроля – предотвращение ошибок, а не исправление, что значительно дешевле. Поэтому контроль представляет собой неотъемлемый элемент процесса планирования на всех его стадиях.

5. Пути снижения затрат и экономический эффект от внедрения АИС

АИС учета и управления валковым хозяйством сортового цеха открывает новые возможности на пути снижения производственных затрат.

Одним из путей снижения затрат на прокатные валки является повышение коэффициента их использования. Валки ни когда не вырабатывают свой ресурс на 100%. Это вызвано следующими причинами:

– поломкой валков;
– ошибками при нарезке калибров;
– комбинированием калибров на бочке валка;
– отправлением валка на переточку с неиспользованными калибрами.

Полностью устранить данные причины вряд ли удастся, но уменьшить их воздействие благодаря более точной системе учета возможно.

В частности, наличие электронной базы данных по калибровке валков избавит от необходимости иметь бумажные чертежи. Так как калибровка постоянно меняется по различным причинам, то имеет место хождение множества версий чертежей, отследить которые невозможно. Это также позволит поднять производительность труда, так как освободит от многих ненужных действий.

Калибровочное бюро, как разработчик чертежей, должно будет поддерживать базу в актуальном состоянии, что не удается сделать с множеством бумажных копий. Кроме того, база могла бы содержать режимы прокатки для операторов и вальцовщиков станов. Наличие единственной, правильной, актуальной и доступной для всех версии калибровки валков будет способствовать порядку и сокращению ошибок.

Целью комбинирования различных калибров на валках является сокращение парка валков и количества перевалок, так как на одних и тех же валках можно прокатывать различные профили. Однако месячные кампании прокатки отличаются друг от друга и составом профилей, и объемами заказов. Это приводит к тому, что не все калибры используются в данной кампании, а оставлять их до следующей нерационально.

Отказаться от комбинирования калибров не представляется возможным из-за того, что это приведет к увеличению парка валков в несколько раз. Но можно сделать его более рациональным при наличии полной информации об использовании калибров.

Другой, возможно наиболее значительный, путь снижения затрат находится в сфере управления запасами валков [10, 17].

Использование научных методов управления запасами позволяет выявить скрытые внутренние ресурсы предприятия, что представляет собой серьезный резерв повышения рентабельности хозяйственной деятельности предприятия. Большинство систем управления запасами базируется на статистическом изучении закономерностей потребления, его размера и структуры. Эти методы дают возможность подсчитать экономически целесообразный объем партии по-

ставки и уровень запаса, т.е. определить, при какой их величине спрос будет удовлетворен, а совокупные издержки будут минимальны.

Управлять производственным запасом значит всегда быть в состоянии удовлетворять требования производства. Если управление запасами осуществляется с учетом этого требования, то его реализация возможна исключительно на основе определенного уровня запасов. Чем больше запасов, тем легче удовлетворять спрос на них. Но это условие отвлекает в запасы значительные объемы оборотных средств и снижает их оборачиваемость, т.е. снижает эффективность использования средств производства. Но и малое их количество приводит к потерям.

Методы регулирования запасов, как правило, тем эффективней, чем больше имеется информации о спросе. Использование рекомендаций теории управления запасами требует научного подхода к изучению закономерностей спроса.

В нашем случае, а мы говорим об управлении запасами валков, потребителем будет являться прокатный стан. Информация о потреблении прокатных валков должна концентрироваться в АИС, что послужит основанием для определения экономически обоснованных норм предельного уровня запаса валков.

Отличительной особенностью валкового хозяйства сортового цеха ОАО «ММК» является то, что страховой запас валков значительно превосходит текущий запас. Это связано с широтой сортамента, выпускаемой продукции, а также с высокой инертностью производственного процесса, непрерывность которого крайне важна.

Поэтому наибольший эффект можно ожидать именно от сокращения страхового запаса. Однако методология их обоснования, в отличие от текущих запасов, разработана не столь хорошо.

При формировании запаса валков мы до сих пор руководствуемся принципом – чем больше, тем лучше. И при этом ссылаемся на советские нормы [18], которые явно устарели. Применять данные нормы нельзя еще и потому, что современные станы имеют валки, ресурс которых значительно выше. При-

обретенный опыт за время работы новых станов свидетельствует о том, что имеющиеся запасы валков не оптимальны. Реальная стойкость калибров оказалась выше, чем это предполагалось при строительстве станов.

Особый интерес представляет неликвидный запас валков – это валки, на которых нарезаны калибры, но они не используются. Это связано с тем, что в сортаменте цеха есть очень редкие профили проката, которые могут прокатываться один раз в несколько лет. Как правило, объем заказов на такой прокат не превышает 120 тонн. Поэтому срок службы валков для данных профилей может составлять сотни лет. С точки зрения функционально-стоимостного анализа не рационально иметь валки, срок службы которых превосходит срок службы стана. Более того, несколько лет – это слишком большой срок, за который может многое поменяться (исчезнет потребитель проката или у него изменится технология и отпадет потребность в данном профиле).

Исходя из сказанного, более рациональным было бы перетачивать такие валки на другие профили. Другой путь – нарезать калибры редких профилей на валках, которые выработали часть своего ресурса, а не консервировать их ресурс на многие годы. Могут быть и другие решения. В любом случае необходимо рассматривать каждый конкретный случай индивидуально, а без полноценной информации это невозможно.

Анализ той незначительной информации, которая имеется на сегодняшний день, позволяет рассчитывать, что после внедрения АИС можно будет сократить парк валков. Это возможно за счет белее точного определения стойкости калибров и расхода валков, а, значит, и меньшей переоценки риска образования дефицита валков [19, 20], сокращения количества ошибок и более рационального комбинирования калибров.

6. Заключение

В современном мире информация по своей важности не уступает другим ресурсам, а информационные технологии – наиболее динамично развивающая-

ся сфера жизни. Очевидно, что без развития данной сферы у крупного предприятия нет будущего.

Показано, как достаточно простая в разработке и эксплуатации автоматизированная система управления может повлиять на производственный процесс. При правильном подходе к делу информационные системы могут предоставить серьезное конкурентное преимущество.

Предлагаемая система учета и управления в валковом хозяйстве сортового цеха является лишь частным примером. Подобные системы возможно и необходимо использовать в других производственных сферах как сортового, так и других цехов комбината.

Обилие информации, которое предоставляют АИС, позволяет использовать статистические методы анализа.

Предлагаемая система управления валковым хозяйством в будущем позволит также внедрять логистические методы оптимизации. В прикладном значении логистика предприятия все в большей степени рассматривается как интегрированный процесс, а интеграция без общей информационной среды невозможна.

Управление тесно связанно с понятием обратной связи. Информационные технологии выводят эту связь на новый уровень, а, следовательно, на новый уровень выходит и сам процесс управления.

Библиографический список

1. Гарбер Э.А. Анализ оборотного парка рабочих валков и разработка методов его оптимизации // Станы холодной прокатки (теория, оборудование, технология). М., Череповец: ОАО "Черметинформация", ГОУ ВПУ ЧГУ, 2004. С. 344-362.

2. Дубинский Ф.С., Чубаев А.И., Соседкова М.А. Автоматизированная система планирования и контроля работы парка валков // Труды Шестого кон-

гресса прокатчиков (г. Липецк, 18-21 октября 2005 г.). Т.1. М., 2005. С. 508-511.

3. Третьяков А.В. Валки обжимных, сортовых и листовых станов. М.: СП ИНТЕРМЕТ ИНЖИНИРИНГ, 1999. 80 с.

4. Суяров Д.И. Профилировка и шлифовка листопрокатных валков. М.: Металлургиздат, 1958. 60 с.

5. Фейгин Г.Д. Организация валкового хозяйства. М.: Металлургиздат, 1961. 118 с.

6. Система учета и оптимизации эксплуатации валкового хозяйства ЛПЦ-10 ОАО «ММК» / Г.С.Сеничев, Е.В.Карпов, А.В.Кушнарев, С.А.Мурзиков // Фазовые и структурные превращения в сталях: сб. науч. тр. Вып. 2 / Под ред. Урцева В.Н. Магнитогорск, 2002. С. 352-360.

7. Карпенков С.Х. Концепции современного естествознания: Учебник для вузов. М.: Культура и спорт, ЮНИТИ, 1997. 520 с.

8. Справочник директора предприятия / Под ред. М.Г. Лапусты. Изд. 2-е, испр. и доп. М.: ИНФРА-М, 1998. 784 с.

9. Гапоненко А. Информационные технологии управления предприятиями. Способы повышения их эффективности // Консультант директора. 2004. №21. С. 16-20.

10. Сафронова М.А., Быков С.В. Логистические решения в области управления запасами // Тезисы докладов Международной научно-технической конференции молодых специалистов ОАО "ММК". Магнитогорск, 2006. С. 207-208.

11. Информационные системы в металлургии: Учебник для вузов / Под ред. Спирина Н.А. Екатеринбург: Уральский государственный технический университет – УПИ, 2001. 617 с.

12. Катасонов С.В. Мониторинг производства ОАО "ММК" – Информационная система руководителя // Создание и внедрение корпоративных информационных систем (КИС) на промышленных предприятиях РФ: сб.

тр. Всерос. науч.-технч. конференции (25-26 октября 2005 г.). Вып. 1. / Под ред. Девятова Д.Х. Магнитогорск: МГТУ, 2005. С. 27-32.

13. Иванов К.А., Каплан Д.С., Кулагин С.Н. Информационно-аналитическая система «АРМ руководителя» // Информационные технологии в науке, промышленности и образовании: сб. науч. тр. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2006. С. 154-163.

14. Писанко В.А. Механическая обработка прокатных валков. М.: Металлургиздат, 1947. 156 с.

15. Система управления производством и качеством продукции электросталеплавильного и сортопрокатного цехов (ОАО "ММК") / Г.С.Сеничев, И.В.Виер, Д.С.Каплан, В.Н.Урцев, Ф.В.Капцан, А.В.Фомичев // Сталь. 2006. №7. С. 95-98.

16. Мескон М.Х., Альберт М., Ходоури Ф. Основы менеджмента: пер. с англ. М.: Дело, 2006. 720 с.

17. Зеваков А.М., Петров В.В. Логистика производственных и товарных запасов: Учебник. СПб.: Изд-во Михайлова В.А., 2002. 320 с.

18. Технологическая инструкция ТИ 101–П–СПШ–198–87. Производство горячекатаных сортовых профилей на стане 250-1. Магнитогорск, 1988. 105 с.

19. Линдерс Р. Майкл., Фирон Е. Харольд. Управление снабжением и запасами. Логистика / Пер. с англ. СПб.: Полигон, 1999. 768 с.

20. Моделирование технологических возможностей стана 300-3 ОАО "ММК" и рационального использования валковых шайб при прокатке катанки из широкого марочного сортамента сталей / О.Н.Тулупов, Моллер А.Б., Д.И.Кинзин, Д.В Колясов., А.А.Завьялов, Ю.В.Симаков // Моделирование и развитие процессов обработки металлов давлением: межрегион. сб. науч. тр. Магнитогорск: МГТУ, 2002. С. 208-213.

О.С. Каледина, А.С. Лимарев
ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова»

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ РАСКРОЯ ПРОКАТА НА СОРТОВЫХ СТАНАХ

В статье рассмотрены причины образования немерной продукции на сортовых станах. Проанализированы факторы, оказывающие влияние на длину готового проката. А также функционально выражена взаимосвязь этих параметров и длины конечной продукции.

Ключевые слова: сортопрокатное производство, немерная продукция, ресурсосберегающие технологии, резка металла.

Качество продукции – один из важнейших факторов обеспечивающих успешную конкуренцию металлургических предприятий как на отечественных, так и на зарубежных рынках металлопродукции. Интенсивное увеличение объемов строительства жилой и коммерческой недвижимости в последнее время поддерживает на высоком уровне внутреннее потребление сортового проката на отечественном рынке. Развитие строительства потребовало новых производственных мощностей, оснащенных современными оборудованием и технологиями, что повысило актуальность научного направления, решающего вопросы повышения качества, производительности и эффективности работы сортовых станов [1].

В настоящее время перспективным направлением улучшения технико-экономических показателей сортовых станов является внедрение ресурсосберегающих технологий в производство, к которым можно отнести [2]:

– экономичную технологию раскроя;
– увеличение выхода годного мерного проката;

– снижение брака в результате уменьшения "бурежек" между группами клетей прокатных станов;

– уменьшение отходов благодаря обрезке минимальной длины захоложенных концов раскатов;

– получение требуемого качества торцов проката при резке и расширение сортамента качественно разрезаемых профилей с помощью ножей совершенных конструкций;

– уменьшение потребления электроэнергии летучими ножницами и пилами за счет применения режима запуска на рез вместо режима непрерывного равномерного вращения и использования усовершенствованных типов ножниц с уменьшенными моментами инерции исполнительных механизмов.

Каждая из перечисленных составляющих вносит свой вклад в общую долю отходов при производстве проката. При этом следует также учитывать, что основные потребители сортовой стали требуют выполнения своих запросов по длине, поэтому наличие немерной продукции существенно снижает эффективность сортопрокатных станов. Сортовой прокат поставляется потребителю мерной (строго регламентированной) и немерной длины. Поскольку цена на немерный прокат значительно ниже, чем на мерный, это обуславливает снижение экономических показателей работы станов. Поэтому уменьшение выпуска немерного проката остро стоит при производстве сортовых профилей [3]. Среди факторов, оказывающих существенное влияние на образование немерной продукции, можно выделить следующие:

– неправильная настройка оборудования, участвующего в резке металла;

– нарушение технологического режима нагрева заготовки и прокатки металла;

– отсутствие на прокатном стане эффективных адаптивных автоматизированных систем управления процессом резки.

Неправильная установка упора, несвоевременное отключение рольганга, а также состояние всего оборудования резки приводят к образованию немерной

продукции. Также существенное влияние на качество продукции оказывают конструктивные и технические особенности оборудования, участвующего в резке, неудовлетворительное состояние которого может привести к образованию трещин на поверхности проката. Это приводит к необходимости обрезки дефектных концов, а соответственно, к снижению производительности и уменьшению выхода годного [4]. Поэтому необходим тщательный контроль всех технических параметров оборудования, задействованного в процессе холодной резки проката.

Нарушение технологического режима нагрева заготовки и прокатки металла приводит к существенному изменению параметров формоизменения, что сказывается на геометрических характеристиках проката, в том числе и на длине. Все это создает объективные условия для образования немерной продукции. Поэтому при производстве сортового проката необходимо соблюдение основных технологических параметров в допустимых диапазонах возможных отклонений [5]. В свою очередь, полное выполнение всех необходимых контрольных операций за состоянием оборудования, несмотря на высокий уровень автоматизации современных сортовых станов, все еще сильно зависит от квалификации рабочего персонала. Внедрение эффективных методик оценки, подбора и подготовки персонала на ответственных производственных участках позволит существенно снизить выпуск несоответствующей продукции и повысить эффективность производства [6].

Существующие системы управления процессом резки на сортовых станах не позволяют реализовать рациональный раскрой проката, исключающий немерную продукцию. Следует учитывать, что в прокатном цехе осуществляют раскрой на кратные мерные длины с немерными отрезками не менее одного метра и до 10% массы всей партии. Использование этого проката приводит к образованию отходов в большом количестве [7]. Причиной этому является отсутствие в алгоритмах резки металла моделей, учитывающих изменение технологических параметров при сортопрокатном производстве. Кроме того, геометрические параметры заготовок могут также варьироваться в заданных пределах.

Отсутствие возможности учета этих факторов на действующем производстве приводит к тому, что одни и те же технологические режимы резки используются для проката различной длины. Результатом этого является наличие непрогнозируемой немерной продукции на сортовых станах.

Разработка модели оптимизации раскроя проката с учетом изменяющихся технологических факторов и внедрение в автоматическую систему управления технологическим процессом резки обеспечат раскрой проката, который практически исключит обрезь, не предусмотренную технологической документацией. Среди факторов, влияющих на длину конечного проката, которая в итоге определяет характеристики раскроя, можно выделить следующие:

- геометрические параметры заготовки и готовой продукции;
- технологические режимы нагрева и прокатки металла;
- технические характеристики основного и вспомогательного оборудования;
- механические свойства стали.

При выборе параметров раскроя металла необходимо знать полную длину конечного проката. Это позволит правильно определить параметры раскроя на этапах предварительной резки, что в итоге обеспечит резку металла без остатков на окончательном этапе. В общем случае функциональную взаимосвязь этих параметров и длины конечного проката можно выразить следующей формулой:

$$L = f(K, G, T, S, M),$$

где K – геометрические параметры заготовки;

G – геометрические параметры готовой продукции;

T – параметры, характеризующие технологические режимы при производстве сортового проката;

S – параметры, характеризующие технические характеристики оборудования;

M – параметры, характеризующие механические свойства и химический состав прокатываемой стали.

Основными геометрическими параметрами, определяющими длину конечной продукции, являются ширина, длина и высота заготовки. Поскольку параметры заготовок могут изменяться в заданных пределах, то знание этих параметров позволяет прогнозировать длину конечной продукции в широких пределах. Более точное определение этих параметров до начала прокатки существенно повысит точность прогнозируемой длины продукции на выходе из последней клети.

Знание геометрических параметров конечной продукции определяет необходимое количество резов на всех этапах резки. При необходимости небольшое изменение технологически параметров на предшествующих этапах дает возможность оптимизировать длину раскроя, что уменьшит вероятность возникновения немерного проката.

Влияние технологических факторов на длину проката неоднозначно, поскольку даже незначительные изменения температурно-скоростных режимов прокатки совместно с параметрами, характеризующими механические свойства стали, приводят к существенному изменению формоизменения. В связи с этим целесообразно при определении параметров раскроя использовать достаточно точную и быструю модель формоизменения. В некоторых случаях это представляется затруднительным, что может быть значительно упрощено за счет использования поправочных коэффициентов. Наряду с этим более важное значение имеет наличие технологической обрези между клетями. Использование этого ресурса обеспечивает возможность варьирования длины конечного проката в широком диапазоне, что, в свою очередь, позволяет более рационально определять параметры раскроя проката.

При определении параметров раскроя необходимо учитывать характеристики оборудования, которые могут стать ограничивающими факторами при выборе значений параметров раскроя. Это связано в первую очередь с ограниченной длиной и шириной холодильника, участка резки. Соответственно длина

проката после предварительной резки не должна превышать заданных пределов. Поскольку эти параметры являются неизменными, то они существенно ограничивают возможности по оптимизации технологических режимов раскроя металла после прокатки.

Таким образом, разработка математической модели оптимизации технологии резки сортового проката и внедрение ее в автоматизированную систему управления технологическим процессом раскроя металла на сортовых станах позволит существенно снизить количество немерной продукции, что приведет к повышению производительности и сокращению экономических потерь при производстве сортового проката.

Библиографический список

1. Концепция построения современных моделей прокатки на сортовых станах / А.Б.Моллер, О.Н.Тулупов, А.С.Лимарев, Д.В.Назаров // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2007. №1. С.64-67.

2. Сумский С.Н. Металлосберегающие технологии раскроя проката // Сталь. 2003. №6. С. 55-60.

3. Кузьменко А.Г. Создание новых технологических процессов и оборудования непрерывных мелкосортных станов, обеспечивающих повышение эффективности их работы: Дис. в виде науч. докл. ... д-ра техн. наук. Москва, 1997. 50 с.

4. Лимарев А.С., Шаймарданова Ю.А. Улучшение качества реза полосового проката для автомобильных рессор [электронное издание]. «Калибровочное бюро» Электронный научный журнал. Вып. 1. 2013. С. 50-55.

5. Разработка и применение баз данных технологических параметров с целью освоения и совершенствования сортопрокатных станов / С.А.Левандовский, Д.В.Назаров, А.С.Лимарев, А.Б.Моллер, О.Н.Тулупов //

Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2005. №4. С. 36-40.

6. Моллер А.Б., Лимарев А.С., Логинова И.В. Квалиметрическая оценка компетентности персонала металлургического предприятия // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2011. № 1. С. 55.

7. Производство проката из рессорно-пружинистой стали / В.Т.Жадан, Н.М.Воронцов, Ю.Е.Кулак и др. М.: Металлургия, 1984. 216 с.

С.Ю. Саранча, А.Б. Моллер
ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова»
Р.В. Новицкий
ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат»

НЕМЕРНАЯ ДЛИНА В СОРТОПРОКАТНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ И СПОСОБЫ ЕЕ УСТРАНЕНИЯ

Одним из главных вопросов металлургического производства является сокращение количества брака и увеличение выхода годного. В сортопрокатных цехах металлургического производства существует задача, связанная со сдачей проката по мерным длинам. В процессе производства продукции мерной длины по причине необходимости раскроя образуется также продукция немерной длины, которая не является товарной. Существуют различные методы для устранения немерной длины, которые будут рассмотрены в данной статье.

Ключевые слова: незаказная длина, немера, немерный остаток, мерная длина, раскрой.

Одним из главных вопросов металлургического производства является сокращение количества брака и увеличение выхода годного. Если же посмотреть на коэффициент выхода годного в сортопрокатном переделе, который равняется в среднем около 98-99%, то, на первый взгляд, вопрос выхода годного конкретно к сортопрокатном переделу не относится. Если же рассматривать этот вопрос более детально, то видно, что при пересчете в денежное выражение каждая десятая часть процента выливается в миллионы рублей в год. Приведем пример.

Возьмем крупно-средне-сортный стан с годовой производительностью 500 000 тонн [1]. При выходе годного в 99-99,4% [1] это дает 3000-5000 тонн

нетоварной продукции или 60-100 млн рублей (при стоимости одной тонны прутковой сортопрокатной продукции 20000 рублей) [2]. То есть каждая десятая часть процента несет в себе около 10 млн рублей в год. Таким образом, экономически целесообразно сокращение даже одной десятой процента.

Стоит заметить, что решаемая задача воспринимается двояко, так как затрагивает и выход годного, и количество брака. Здесь следует провести границу между понятиями: если расходы несет прокатный цех, то немерная длина в производстве – это снижение выхода годного, если же расходы ложатся на предприятие – это брак. В любом случае, вопрос немерной длины остается актуальным как для прокатного цеха, так и для предприятия в целом.

Углубляясь дальше в вопрос брака, а именно в процентное распределение видов брака, обнаруживаем, что более половины имеющегося брака образуется по причине неправильного раскроя. Если построить диаграмму Парето (рис. 1), то становится ясно, что решение вопроса правильного раскроя снизит количество брака почти на 50%, то есть большую часть причин, вызывающих брак.

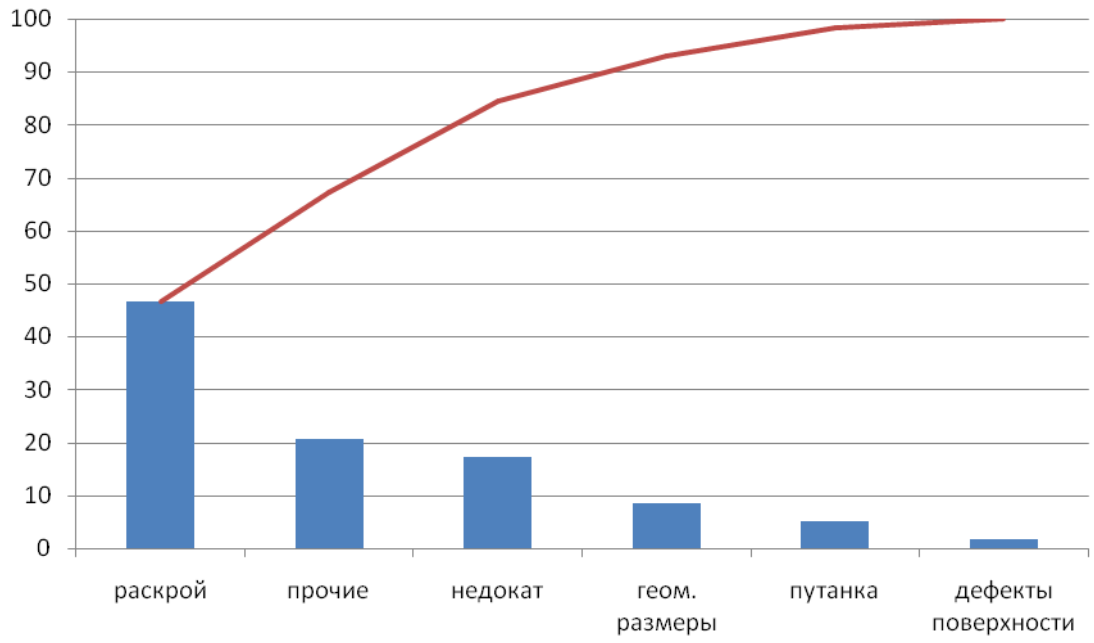


Рис. 1. Диаграмма Парето

Таким образом, при неправильном раскрое в сортовом производстве появляется продукция, не соответствующая требованиям заказа по длине. Такая

продукция является браком в производстве и называется «незаказная» или немерная длина.

Сокращение потерь металла в виде немерной длины в прокатном переделе, а значит, повышение коэффициента выхода годного является достойным способом повышения эффективности и рентабельности производства.

Данная задача раскроя имеет как минимум 6 способов решения:

– бесконечная прокатка: технология непрерывного литья заготовок [3];
– бесконечная прокатка: технология сварки заготовок [3-5];
– варьирование длины заготовки;
– варьирование длины технологической обрези в пределах допустимых значений;
– варьирование площади поперечного сечения заготовки;
– варьирование площади поперечного сечения готовой продукции [6] в пределах допустимых значений.

Бесконечная прокатка (технология непрерывного литья заготовок) – это устраняющее проблему решение вопроса правильного раскроя и немерной длины. Положительной стороной такого подхода является непрерывное производство продукции без дефекта «немерная длина». Отрицательная сторона – сложность реализации и дороговизна. В рамках опытно-промышленного производства данная технология используется [3].

Технология сварки заготовок при бесконечной прокатке – весьма распространенный способ производства. Положительной стороной данного подхода является возможность получения «бесконечной» заготовки. Отрицательной же стороной является дороговизна, необходимость закупки стыкосварочных агрегатов. Основной же проблемой технологии сварки является изменение свойств металла в зоне сварного шва, что ограничивает сортамент прокатного цеха, так как сварной шов в процессе прокатки раскатывается на большую длину и не обеспечивает равномерности ни химического состава, ни стабильности механических свойств. По факту, для установки стыкосварочного оборудования необ-

ходима практически полная реорганизация прокатного цеха, а это большие финансовые и временные затраты.

Варьирование длины заготовки не требует каких-либо кардинальных изменений технологии производства, но требует колоссальной реорганизации управления производством и стратегии предприятия в целом, так как при таком подходе производство непрерывнолитых заготовок должно исходить из имеющихся заказов с настройкой параметров литья под конкретный профиль. Выбор заготовки идет из расчета получения наименьшего немерного остатка. Таким образом, варьируя длину заготовки, можно сократить выход немерной продукции.

Метод варьирования длины технологической обрези в пределах допустимых значений интересен тем, что фактически не требует закупки нового оборудования. Для его реализации необходим лишь он-лайн контроль обрези. Но так как диапазон допустимых значений обрези невелик, то можно лишь незначительно сократить выход немерной продукции.

Метод варьирования площади поперечного сечения заготовки весьма интересен, но регулировать площадь поперечного сечения в МНЛЗ можно лишь сменой кристаллизатора, что, в свою очередь, и затратно, и трудоемко.

Технология варьирования площади поперечного сечения готовой продукции в пределах допустимых значений не требует какого-либо глубокого вмешательства в технологию производства. Варьирование площади идет в пределах допустимых значений. Тем самым, варьируя межвалковый зазор [7], а значит, и площадь поперечного сечения готовой продукции в большую или меньшую сторону, можно управлять длиной немерного остатка, сводя его к минимуму. Соответственно, увеличение площади поперечного сечения готовой продукции выгодно при отгрузке продукции по фактической массе, а уменьшение площади поперечного сечения позволит увеличить количество прутков, что выгодно при отгрузке по теоретическому весу и количеству прутков.

Наиболее подробно рассмотрим метод варьирования площади поперечного сечения готовой продукции в пределах допустимых значений (далее Метод),

так как это наиболее простой и недорогой способ, который не требует много времени и ресурсов на внедрение.

При ближайшем рассмотрении метода становится ясно, что плюсовые и минусовые допуски позволяют варьировать площадь поперечного сечения готовой продукции в достаточно широком диапазоне, при этом удовлетворяя требования заказчика (рис. 2).

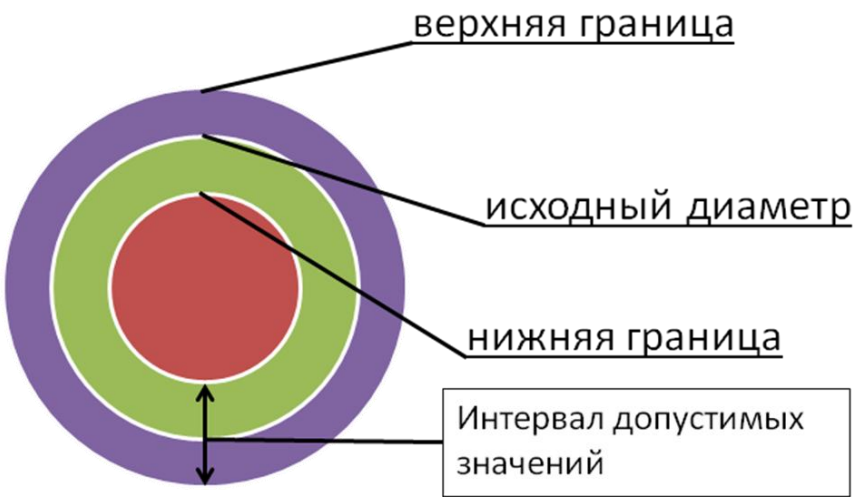


Рис. 2. Варьирование площади поперечного сечения готовой продукции на примере круглого профиля

С учетом металла, уходящего в угар, в обрезь после черновой и чистовой групп клетей, можно принять, что масса готовой продукции и масса заготовки равны, т.е. можно сказать, масса остается постоянной, следовательно, изменяя площадь поперечного сечения готовой продукции, будем изменять и общую длину раската.

Если известны геометрические размеры заготовки, масса заготовки, вид профиля, размеры готовой продукции, длина прутка, то через закон постоянства объемов нам известна и общая длина готовой продукции. А через общую длину продукции, зная заказную длину, известна кратность (количество прутков). Тем самым задача сводится к тому, чтобы найти такую площадь, при которой или количество прутков было бы максимальным и выражалось целым

числом, а продукция находилась в пределах допусков, или немерный остаток был сведен к минимуму при отгрузке продукции по фактической массе.

Исходя из этого, можно составить алгоритм, показанный на рис. 3.

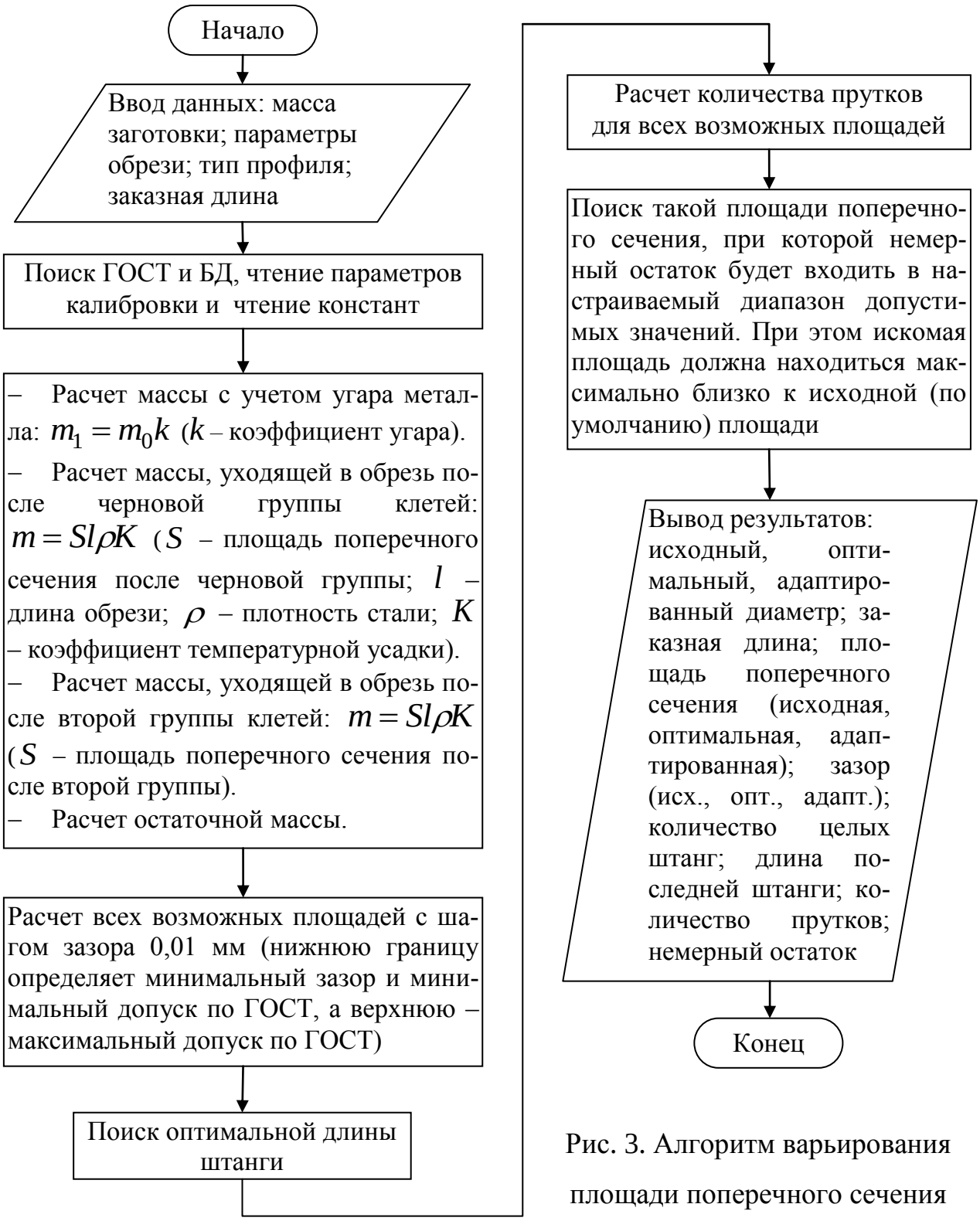


Рис. 3. Алгоритм варьирования площади поперечного сечения готовой продукции

Таким образом, на входе в алгоритм стоят следующие данные: масса или геометрические размеры заготовки, тип профиля, класс точности, размер профиля, длина профиля (заказная длина), а также опционально: длина обрези после холодильника, длина обрези после черновой группы клетей.

Выходные данные: общая длина готовой продукции, кратность раскроя по минимальным допускам, максимальным допускам и по умолчанию, длина профиля на холодильник, оптимальный размер профиля (диаметр, ширина полки, высота и так далее), масса годного, коэффициент выхода годного.

На основе представленного алгоритма было создано программное обеспечение "Раскрой продукции сортопрокатных станов", получившее свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ номер №2013619897, авторами которого являются Саранча С.Ю., Моллер А.Б., Кинзин Д.И. и Новицкий Р.В.

Метод варьирования площади поперечного сечения готовой продукции является одним из резервов повышения эффективности и рентабельности производства, при этом не требующий значительных вложений и времени.

Что касается применимости Метода, то в данный момент программное обеспечение поддерживает такие профили, как круг и арматура. Опытные испытания в сортопрокатном производстве показывают положительные результаты – а это значит, модель работает.

С экономической точки зрения сокращение немеры даже на 50% повлечет за собой экономию в размере 15-25 млн рублей в год на среднекруносортном стане с объемом выпуска 500 тыс. т в год. Авторы же считают, что Модель и соответственно программный продукт позволят сократить немеру на 80-90%, что обеспечит еще больший экономический эффект. Также стоит заметить, что внедрение Метода в производство не несет каких-либо больших материальных затрат.

Практическое применение данного подхода позволяет сделать вывод, что наиболее выгодно применять данный метод на фасонных профилях крупных размеров (например, равнополочный уголок 125х125 или швеллер 18У).

На данный момент ПО "Раскрой продукции сортопрокатных станов" активно развивается и уже сменило несколько версий – поддержка фасонных профилей находится в процессе реализации со сроком выхода альфа-версии в 2014 году.

Библиографический список

1. Освоение производства проката на новом сортовом стане 370 ОАО «ММК» / А.В.Титов, В.Л.Носов, А.В.Гасилин и др. // Производство проката. 2007. №5. С. 33-37.

2. http://www.mmk.ru/for_buyers/marketplace/enter/.

3. Тенденции развития технологии и оборудования для реализации процесса бесконечной сортовой прокатки / С.М.Жучков, А.П.Лохматов, Л.В.Кулаков и др. // Сб. науч. тр. ИЧМ «ФППЧМ№. Вып. 6. К.: Наукова думка, 2003. С. 152-161.

4. Аустен Т.Х. EBROS – система бесконечной прокатки сортовых профилей // ОАО «Черметинформация»: Новости черной металлургии за рубежом, 2004. Вып. 2. С. 40-42.

5. Зиновьев А.В. Поточное соединение заготовок – главный технический прием при бесконечной горячей прокатке // ОАО «Черметинформация»: Новости черной металлургии за рубежом, 2003. Вып. 1. С. 52-53.

6. Концепция построения современных моделей прокатки на сортовых станах / А.Б.Моллер, О.Н.Тулупов, А.С.Лимарев, И.В.Логинова // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им.Г.И. Носова. 2007. № 1. С. 64-67.

7. Моллер А.Б., Тулупов О.Н., Зайцев А.А. Модель настройки сортопрокатного стана при матричном описании формоизменения в калибрах простой формы // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 1999. №10. С. 15.

О.Н. Тулупов
ООО «МЕТАЛЛУРГМАШ Инжиниринг»
А.Н. Луценко
ОАО «Северсталь»
А.Б. Моллер, Д.И. Кинзин
ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова»
А.И. Трайно
Институт металлургии и материаловедения им. А. А. Байкова РАН

СОВРЕМЕННЫЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССОВ СОРТОВОЙ ПРОКАТКИ НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСАХ DANIELI

Большинство авторов этой статьи сотрудничают с компанией Danieli и ее специалистами уже более 10 лет как в области науки и технологии, так и в области совместной международной подготовки кадров. Адаптивные программы подготовки кадров для пусковых объектов Danieli в России, а также для работы в самой компании Danieli стали одним из наиболее успешных проектов МГТУ им. Г.И.Носова и Danieli под эгидой Международного Союза «Металлургмаш» и «МЕТАЛЛУРГМАШ Инжиниринг».

Компания Danieli стала первой крупной международной компанией, которая системно заинтересовалась структурно-матричными моделями процессов сортовой прокатки, разработанными при определяющем участии авторов этой статьи. Перевод и изучение специалистами Danieli ведущих трудов по структурно-матричным моделям сортовой прокатки и калибровки, обсуждение их на совместных совещаниях, а также пуск ряда сортопрокатных мощностей в России определило приоритетность использования структурно-матричных моделей применительно к развитию станов Danieli и максимальному использованию их

технологических возможностей в условиях российских металлургических предприятий.

В материалах представленной статьи показаны основы структурно-матричных моделей и их приложений, а также примеры решений, полученных в результате моделирования. Многие результаты моделирования и оптимизации оказались реализуемы благодаря выдающимся технологическим возможностям станов Danieli, их адаптивности и заложенным в них технологическим резервам.

Опыт работы с Danieli в течение последнего десятилетия, соединившего инновации и дух вековой истории компании, показывает, что всегда открытые для новых научно-технических идей руководители и инженеры Danieli с их стремлением к партнерству в инновационном развитии оборудования, технологии и кадров – это стратегический потенциал развития, объединенный в лозунге компании “INNOVACTION – Innovation in action”.

Рассмотрим возможности моделирования процессов сортовой прокатки для выявления и использования технологических резервов станов Danieli через призму современного состояния технологии и оборудования для сортовой прокатки.

С начала этого десятилетия в сортопрокатном производстве достаточно явно прослеживается ряд тенденций, связанных с повышением эффективности производства, снижением текущих издержек и инвестиционных затрат на совершенствование действующих и строительство новых технологических комплексов.

Прежде всего следует выделить факторы и факты, связанные с тенденциями выбора оборудования для сортопрокатного производства.

Во-первых, продолжается тенденция строительства металлургических мини-заводов по производству сортовых профилей и арматурного проката в различных регионах России и мира. При этом существенно возрос интерес к компактным комплексам с объемом производства до 150-200 тыс. тонн в год типа MIDA компании Danieli. Новые решения с горячим посадом заготовки и

минимизацией холодильника позволяют снизить инвестиционные затраты и себестоимость продукции. В связи с этим в разной степени проработки и реализации находится несколько независимых проектов мини-заводов.

Однако следует отметить, что новые мини-заводы, запуск которых осуществляется в 2013 г., являются проектами крупных металлургических холдингов ОАО «Северсталь» (Сортовой завод Балаково) и «УГМК-Сталь» (мини-завод в Тюмени). Оба упомянутых производственных комплекса основаны на технологических решениях и оборудовании Danieli.

Во-вторых, крупные металлургические предприятия продолжают модернизацию сортопрокатного передела. Наиболее масштабным примером последних лет является комплекс нового рельсобалочного стана на ЧМК (Мечел), также основанный на технологии и оборудовании Danieli.

Следует учесть также тенденцию переоснащения сортопрокатных производств на заводах спецметаллургии. Так, например, объявлены планы поэтапной модернизации листопрокатного и сортопрокатного производства ВМЗ «Красный Октябрь», которые также ориентированы на технологические комплексы Danieli.

В-третьих, возрос интерес частных инвесторов к современным недорогим компактным и гибким сортопрокатным комплексам с небольшой производительностью для производства небольших партий арматуры, круглого, квадратного и фасонного проката.

Кроме этого целесообразно выделить тенденции, связанные с технологическими решениями, включая калибровку валков:

во-первых, в качестве новых решений в сортопрокатном производстве крупных металлургических предприятий рассматриваются высокопроизводительные непрерывные комбинированные станы, позволяющие осуществлять прокатку широкого сортамента профилей с совмещением в одном стане двух или более технологических линий;

во-вторых, для небольших по объему производств характерно стремление к компактности с минимизацией оборудования и применением реверсивной

черновой прокатки, а также возвращением к использованию черновых клетей трио;

в-третьих, для развития технологических режимов характерно стремление к снижению себестоимости проката за счет снижения энергозатрат на деформацию, использования тепла заготовок при горячем посаде, оптимизации парка валков и повышения ресурса их использования;

в-четвертых, в калибровке валков сортовых станов как в мире, так теперь и в России прослеживается уменьшение количества профессиональных калибровщиков на металлургических заводах и, как следствие, потребность в развитии системы аутсорсинга (разработка и совершенствование калибровки внешними специалистами и компаниями).

Вышеизложенное позволяет сделать два принципиальных вывода:

– принимая во внимание названные проекты, а также другие сортопрокатные объекты Danieli в России и СНГ, следует признать, что среди современных комплексов по производству сортового проката на постсоветском пространстве наиболее существенным является семейство сортовых и проволочных станов Danieli;

– необходимы универсальные адаптивные модели, позволяющие решать вопросы адаптации к конкретным условиям расширения и корректировки сортамента, развития технологии (включая калибровку валков) на станах Danieli, максимально эффективно используя возможности этого семейства станов.

Современное моделирование процессов обработки металлов давлением, в частности решение фундаментальных задач методом конечных элементов с применением современной вычислительной техники, показало, что в управлении качеством прокатной продукции и решении ряда технологических задач (прежде всего, задач оптимизации калибровки валков) высока эффективность более простых матричных методов моделирования. Принципы этого подхода к моделированию сортовой прокатки, повышению эффективности технологических процессов деформации сортовых профилей сформулированы в работах основоположников научной школы матричного моделирования процессов сор-

товой прокатки С.А.Тулупова, и О.Н.Тулупова [1, 2] и в дальнейшем были успешно развиты А.Б.Моллером, А.Н.Луценко, Д.И.Кинзиным, А.А.Зайцевым и другими представителями указанной научной школы. В работах С.А.Тулупова и В.Н.Заверюхи [3] предложен подход к описанию формы контуров калибров простой формы в виде многомерного вектора, компонентами которого являются длины базисных радиус-векторов, проведенных из центра симметрии контура.

Таким образом, основным принципом описания параметров формоизменения при прокатке в калибрах является принцип, который можно назвать "контур в контур". Эффективность решения современных задач совершенствования производства сортового проката во многом определяется наличием простого, универсального и информативного подхода к описанию контуров сечений различной сложности, в том числе нетиповых.

Одной из основных целей определения параметров формоизменения при сортовой прокатке является расчет схемы калибровки валков. Корректно рассчитанная калибровка позволяет получить необходимый уровень качества проката.

Существует достаточное количество инженерных (эмпирических) и аналитических методов расчета параметров традиционных калибровок валков. Большинство из этих методов построено на принципе "контур в контур", но при этом не дает возможности управлять процессом формоизменения, не учитывает влияние варьирования элементов калибров и других технологических факторов на формоизменение. Другими словами, основой современного подхода к калибровке валков является решение задач, связанных с управлением эффективности работы калибровки за счет ее анализа и совершенствования с целью повышения качества продукции.

Комплексное многолетнее развитие авторами данной статьи структурно-матричного подхода в направлении адаптивного моделирования формоизменения и расчета параметров калибровки с использованием векторного описания [4, 5] контура калибра является наиболее рациональным для решения задач по-

вышения качества продукции сортопрокатных технологических систем. Решающим фактором в пользу названных подходов является большой и обязательный набор разнообразных параметров, всесторонне характеризующих напряженно-деформированное состояние прокатываемого металла для их применения в решении задачи управления качеством продукции с использованием метода конечных элементов. Как правило, сбор информации в необходимом объеме в производственных условиях затруднителен.

Геометрическими размерами, чаще всего подвергающимися контролю при прокатке в двухвалковых калибрах, являются высота (размер профиля по вершинам калибров) и ширина (размер профиля в разъеме калибра). Точность размера в общем случае определяется соответствием фактически полученного размера номинальному, регламентированному схемой калибровки.

Несоответствие форм инструмента и обрабатываемого проката вызывает существенную неравномерность деформации при прокатке, отрицательно влияющую на геометрические размеры металлопроката.

При сортовой прокатке превышение допустимого предела неравномерности деформации отрицательно сказывается на качестве готовой продукции – приводит к появлению поверхностных дефектов: рванин, трещин, плён. Следовательно, для снижения количества дефектов и повышения качества прокатной продукции необходимо обеспечивать как можно меньший уровень неравномерности деформации.

Несовершенство схем калибровок валков приводит к уменьшению степени гомотетичности форм деформируемого проката и инструмента. Повышение степени подобия этих форм может снизить неравномерность деформации, но одновременно привести к уменьшению вытяжной способности калибровки. Рациональное сочетание названных характеристик калибровки может быть найдено в рамках использования структурно-матричного подхода к управлению качеством продукции сортопрокатных станов.

Учитывая разнообразие действующих прокатных станов, высокую эффективность информационных технологий в управлении производственными

процессами и в профессиональном тренинге специалистов, наиболее приемлемыми подходами в предметной области настоящих исследований являются:

– матричный способ описания формоизменения в калибрах и моделирования технологических процессов с применением структурных матриц;

– структурно-матричный подход к разработке адаптивных моделей оптимизации технологических процессов и схем калибровки для снижения энергоемкости процессов и стабилизации геометрии и свойств сортового проката [6].

Предлагаемый подход к моделированию базируется на следующих основных положениях.

Во-первых, с целью создания математического аппарата для решения технологических задач анализа и управления технологическими схемами получения профилей различной сложности, отвечающего единым принципам представления, хранения и обработки информации, предлагается каждой технологической операции и результату воздействия технологической операции ставить в соответствие математический объект – матрицу сложной структуры, состоящую из отдельных блоков (клеток). Результаты воздействия отождествляются с этапом процесса, а сама технологическая операция – с технологическим изменением.

Структурно-матричное описание отдельного этапа процесса $[A]$ включает блоки, содержащие однотипную информацию по факторам и параметрам процесса.

Для описания процесса в его динамике предлагается учитывать связи между отдельными технологическими состояниями в матричном виде – матрицами технологических изменений $[И]_{i=1,\ldots,n}$. Тогда i-й технологический этап процесса опишется матричным уравнением:

$$[A]_{i-1} \times [C]_i \rightarrow [A]_i, \tag{1}$$

а сам процесс – системой из n матричных уравнений:

$$\begin{cases} [A]_0 \quad \times [C]_1 \to [A]_i \\ [A]_{n-1} \times [C]_i \to [A]_i \\ [A]_{n-1} \times [C]_n \to [A]_n \end{cases}, \qquad (2)$$

где $[A]_0, [A]_n$ – матрицы, описывающие исходное и конечное технологические состояния соответственно;

$[И]_1, [И]_n$ – матрицы, описывающие первую и заключительную технологические операции.

Такая форма представления процесса наиболее приемлема для обработки данных и моделирования на ЭВМ. Матрицы описания изменений технологических состояний $[И]_i$, как и матрицы технологических состояний $[A]_i$, – сложные структурные матрицы, состоящие из некоторого конечного числа блоков (клеток).

Во-вторых, структура и содержание внутренних блоков определяется назначением модели и типом решаемой задачи. В общем случае это блок описания формы $[Ф]$, блок описания свойств $[C]$ (блок описания механических свойств), блок описания технологических параметров $[П]$. Данные блоки, в свою очередь, также могут являться блочными матрицами, состоящими из отдельных клеток.

Информация о форме профиля любой сложности представляется в блоке формы $[Ф]_i$. Для этого любое сложное сечение разбивается на конечное число элементов k, которые можно описать по принципу векторного представления простых профилей. Для связности и однозначности описания вводится матрица центров $[Ц]$, содержащая информацию о расположении центров описания элементов относительно общего центра описания. Для определения связи между локальным и общим центрами описания вводятся две величины: расстояние между ними и величина угла от вертикали до линии, соединяющей их. Количе-

ство значимых векторов $[\Phi]_i$ будет зависеть от сложности профиля и величину k можно использовать как показатель сложности профиля.

Механические характеристики раската содержатся в блоке описания свойств – $[C]$. Каждая матрица $[C]_i$ состоит из набора векторов – $C_i = 1,..., p$, определяющих положение изолиний механических характеристик. Выбор p – количества разбиений плоскости сечения на изотропные области механических характеристик – определяется конкретными условиями задачи описания, требуемой точностью учета распределения механических характеристик по сечению профиля. Вместе с этим, величина p зависит от сложности процесса изменения свойств и может являться показателем сложности процесса. В случаях, когда механические свойства достаточно определять усредненными величинами, предлагается блок описания свойств рассматривать как вырожденную матрицу, а показатели механических характеристик – как значения σ_T, δ для данных условий.

Блок описания параметров $[\Pi]$ может включать подблоки: $[T]$ – матрицу описания температурных условий; $[V]$ – матрицу описания скоростных условий; $[\varepsilon]$ – матрицу описания условий на контакте обрабатываемого материала с рабочим инструментом; $[Ин]$ – матрицу описания состояния рабочего инструмента (износ и т.д.); $[Д]$ – матрицу, характеризующую рабочий инструмент. Отдельные матрицы технологических параметров представляют собой набор конечного числа элементарных блоков. Принцип представления информации аналогичен блоку формы – значения конкретного параметра определяют в точках пересечения базовых радиус-векторов с контуром сечения и заносят в матрицу описания данного параметра, что может быть использовано при заполнении информацией матриц.

При решении задач, когда необходимо знать значения параметра в любой точке сечения (например, температурное поле), принцип представления ин-

формации в таких блоках (например $[T]$) идентичен принципу описания блока $[C]$.

В-третьих, матрицы технологических изменений имеют структуру блоков и размерность, соответствующую матрицам технологических состояний. Блоки матрицы $[И]_i$ могут содержать информацию векторного типа (упорядоченный по определенному закону набор чисел, например, матрица изменения формы – $[ИФ]_i$), аналитические или эмпирические зависимости (модели). В любом случае независимо от способа представления информации все клетки включаются в общую матричную модель.

Структурная матрица i-го технологического изменения $[И]_i$ включает блоки $[ИФ]_i$, $[ИС]_i$, $[ИП]_i$ – изменения формы профиля, свойств и технологических параметров соответственно: $[ИФ]_i = [Ф]_i / [Ф]_{i-1}$, $[ИС]_i = [C]_i / [C]_{i-1}$, $[ИП]_i = [П]_i / [П]_{i-1}$, где $i = 1,..., m$.

Согласно данному подходу формоизменение описывается блоками формоизменения, представляющими отношение матриц формы после и до формоизменения. Блок формоизменения является диагональной матрицей. Ее ранг определяется размерностью блока описания формы. Достоинством такого представления формоизменения является возможность машинной обработки процесса калибровки.

В-четвертых, связи между технологическими параметрами на каждом этапе процесса получения сортовых профилей записываются в матрице технологического изменения в виде ее боковых компонентов (блоков). Причем в таких блоках могут содержаться как числовые коэффициенты, полученные эмпирическим путем (например, связь между количеством прокатанных в калибре тонн профиля и компонентами матрицы, характеризующей профиль износа контура калибра), так и целые математические модели, устанавливающие связь между отдельными параметрами (например, между температурно-скоростными

условиями деформации, прочностными свойствами стали и уширением в калибре).

$$\begin{bmatrix} C_1' \\ C_2' \\ \vdots \\ C_m' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} [И_1] & З_{12} & \cdots & З_{1m} \\ З_{21} & [И_2] & \cdots & З_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ З_{m1} & З_{m2} & \cdots & [И_2] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C_1 \\ C_2 \\ \vdots \\ C_m \end{bmatrix}, \qquad (3)$$

где $[C_m]$ – матрица, описывающая начальное состояние одного из свойств объекта;

$[C_m']$ – матрица, описывающая конечное состояние одного из свойств объекта;

$[И_m]$ – матрица изменения состояния;

$З$ – зависимости между различными матрицами изменения (например, связь между формоизменением и температурой).

Это является важным достоинством структурно-матричных моделей [5, 6], поскольку позволяет увязать в рамках единого комплексного подхода возможности других эффективных моделей. Такой подход следует признать наиболее перспективным при создании методами объектного программирования современных систем анализа и управления технологическими процессами.

Таким образом, предложенный подход к моделированию процессов обработки металлов давлением и, в частности, сортовой прокатки профилей различной сложности, обеспечивает:

– комплексный учет факторов, оказывающих влияние на процесс формоизменения, и влияния самого формоизменения на составляющие технологического процесса;

– универсальность (единый способ представления информации, удобный для машинной обработки);

– адаптивность к процессам ОМД (возможность описывать процессы различной сложности, протекающие на различных технологических объектах, без изменения структуры описания);

– адаптивность к решаемым задачам анализа и управления технологическими схемами;

– возможность эффективно включить в единую информационную структуру отдельные модели, связывающие различные технологические параметры процесса прокатки;

– соответствие современным объектным подходам к созданию компьютерных систем проектирования и управления технологическими процессами.

Важно отметить соответствие описанных принципов моделирования задачам управления качеством. Методологическая интеграция схемы Каору Исикава «причина – следствие» и структурно-матричного подхода с использованием баз данных и информационных технологий обеспечивает научно обоснованное и эффективное решение поставленных задач [7].

Построение сквозной адаптивной и интегрированной системы управления качеством сопряжено с разработкой новых критериев оценки эффективности технологической схемы, непосредственно связанных с показателями качества прокатной продукции. При этом повышение степени осмысленности воздействия персонала на технологический объект управления реализуется путем создания и применения моделей-имитаторов (тренажеров) на примерах действующих прокатных станов [8].

Контроль качества продукции прокатного стана включает сбор, архивацию и хранение инженерных характеристик процесса в базе данных. Эти данные широко применяют при определении причины снижения качества продукции и в целях совершенствования процесса. Названные обстоятельства определяют требования к современным и перспективным моделям управления качеством: 1) в основе должен лежать научно обоснованный, апробированный, широко применяемый, "простой" инструмент обеспечения качества; 2) структура

должна отвечать принципам декомпозиции и иерархического упорядочивания с сохранением единства математического аппарата [9].

Разработанная на основе структурно-матричного подхода модель настройки стана [6, 7] позволяет определять параметры настройки за время протекания процесса или даже опережая реальный масштаб времени, что подтверждает целесообразность применения автоматизированной системы управления настройкой стана на базе этой модели.

Система настройки в режиме реального времени, т.е. задействованная непосредственно в комплексе систем управления, состоит из следующих элементов:

– программы управления базами данных, где происходит сбор и обработка информации, накопленной первоначально, а также поступающей в процессе работы системы;

– модели процесса настройки, причем модель обменивается информацией с базами данных, получая текущие входные параметры из системной шины;

– параметров настройки – зазоры по клетям или значения их коррекции и рекомендуемые скорости вращения электродвигателей главных приводов,– являющихся результатом функционирования модели повышения точности прокатки;

– адаптационной модели, цель которой – самоадаптация модели процесса к условиям конкретного сортопрокатного стана;

– интерфейса, который обеспечивает передачу информации от модели процесса на исполнительные устройства объекта управления и от автоматизированной системы слежения за технологическим процессом к модели;

– объекта управления (сортопрокатного стана) с исполнительными устройствами (нажимные механизмы и электропривод клетей).

Режим «управления с возможностью принятия решения оператором» является переходным от «режима советчика» к полноценному «режиму автоматического управления». «Управление с возможностью принятия решения опера-

тором» также характеризуется наличием обратной связи между объектом управления (сортопрокатный стан) и автоматическим управляющим устройством (модель процесса, базы данных, адаптационная модель), обеспечивающим самоадаптацию модели процесса. Параметры настройки, вырабатываемые моделью процесса, не поступают на исполнительные устройства стана непосредственно через интерфейс, минуя технологический персонал, а носят рекомендательный характер. Таким образом, "петля" получается незамкнутой. На этапе внедрения АСУ в производство этот момент дает ряд плюсов, обеспечивая:

– проверку устойчивости работы АСУ в целом и ее отдельных составляющих;

– проверку соответствия работы математического обеспечения в комплексе с адаптационной моделью реальному процессу прокатки и настройки;

– в случае необходимости доводку отдельных блоков системы и внесение корректив в функционирование самой модели без каких-либо производственных издержек.

Указанные выше варианты АСУ настройки стана повышают эффективность работы технологического персонала (страховка от случайных ошибок) и технологического оборудования, являясь взаимосвязанными этапами внедрения системы настройки в производство.

Для повышения эффективности схем калибровки предложен и использован критерий оценки и сопоставления эффективности альтернативных вариантов калибровки профилей различной сложности (коэффициент неравномерности деформации $K_{нер}$) [6, 10].

Снижение неравномерности деформации раската при заданных условиях сводится к отысканию уменьшающих значение $K_{нер}$ изменений величин радиус-векторов, характеризующих контур калибра. В качестве ограничений подбора контура калибра использованы нормальное заполнение, номинальная нагрузка на оборудование и минимальное изменение коэффициента вытяжки в калибре.

Модель и методики снижения энергозатрат при прокатке в калибрах были проверены на примере черновой группы действующего стана 350 Череповецкого металлургического комбината [11]. Так, при прокатке круглого проката диаметром 36 мм в трех черновых клетях удалось снизить нагрузки на клети на 1,75%. При этом следует отметить, что калибровки действующих станов обладают ограниченными технологическими резервами в связи с параметрами оборудования и технологическими возможностями.

Исследования, проведенные при помощи комплекса описанных моделей, показывают высокую приспособленность станов Danieli к планомерному совершенствованию технологии и адаптации к меняющимся технологическим условиям:

– станы Danieli позволяют эффективно использовать резервы оборудования при освоении нового сортамента;

– в компоновках станов заложены технологические резервы для оптимизации энергозатрат при прокатке;

– калибровка позволяет адаптировать стан к условиям меняющегося сортамента и его структуры без существенных изменений ее схем;

– калибровки обладают высокой степенью приспособленности к внесению изменений при оптимизации контуров калибров.

Эти факторы делают возможным при использовании описанных моделей, поступательное повышение эффективности работы станов Danieli, что, в особенности в России, является существенным технологическим преимуществом сортопрокатных комплексов Danieli.

Приведем примеры.

Использование технологических резервов станов Danieli для калибровок профилей простой формы.

Вышеописанная математическая модель для решения задачи совершенствования калибровок по критерию $K_{нер}$ позволила сопоставить усилия в клетях до и после проведенной по модели целенаправленной оптимизации формы калибров на станах 170, 370 и 450 производства Danieli.

В результате оптимизации калибровок для профилей простой формы усилие прокатки снизилось в среднем на 8% (табл. 1).

Таблица 1

Технологические резервы оптимизации калибровок и возможности снижения неравномерности деформации на различных станах Danieli

Стан	Профилеразмер	Сумма нагрузок, т			Изменение $K_{нер}$, %
		до оптимизации	после оптимизации	изменение, %	
Мелкосортно-проволочный 170	Круг 6,5	4252,18	3759,61	-11,58	-17,1
	Круг 12	1944,91	1831,61	-5,83	-21,65
Среднесортно-мелкосортный 370	Круг 36	910,03	808,8	-11,12	-13,79
	Квадрат 22	1117,52	1023,6	-8,4	-12,62
Крупносортно-среднесортный 450	Круг 22	995,38	937,54	-5,81	-17,51
	Круг 60	1026,3	976,28	-4,87	-6,79

Использование технологических резервов станов Danieli для калибровок фасонных профилей.

В последние годы увеличивается спрос на прокат с повышенными эксплуатационными свойствами. На непрерывных высокоскоростных станах затруднено стабильное получение высоких прочностных свойств при прокатке швеллеров из низколегированных сталей, в частности швеллеров из стали марки 09Г2С по ГОСТ 19281-89.

Возможными ресурсами повышения прочностных свойств во время прокатки могут явиться дифференцированное охлаждение фасонных профилей после прокатки и изменение температур нагрева и прокатки металла. Реализация идеи охлаждения сопряжена с затратами на оборудование и соответствующую ему технологию. Таким образом, наиболее гибким и малозатратным инструментом для формирования комплекса требуемых механических свойств является изменение температурного режима прокатки.

При понижении температуры нагрева заготовки на непрерывных станах уменьшается потеря тепла металлом в клетях черновой группы, что свидетельствует о рациональности снижения температуры при нагреве. При этом увеличение расхода электроэнергии на деформацию заготовки в черновых клетях

значительно перекрывается снижением расхода топлива на нагрев заготовки и общая экономия энергии составляет не менее 15%. Кроме того, уменьшается угар металла в печи, т.е. повышается выход годного.

Понижение температуры металла на стане неизбежно приводит к увеличению сопротивления металла пластической деформации и к повышению нагрузок на оборудование главных линий клетей. Для проведения прокатки при пониженной температуре необходимо иметь запас по энергосиловым параметрам, чтобы он вновь был задействован при прокатке с пониженной температурой. Формирование этого запаса происходит через распределение деформации, что при прокатке швеллера во многом обусловлено схемой калибровки. В связи с этим поиск путей целенаправленного перераспределения деформации металла при прокатке швеллеров является актуальной задачей.

Основными задачами оценки эффективности калибровки швеллеров с позиций структурно-матричного подхода являются следующие:

– создание методики совершенствования калибровки с рациональным распределением формоизменения, позволяющей провести прокатку при пониженной температуре с целью повышения эксплуатационных свойств швеллера;

– совершенствование калибровки швеллера на непрерывном сортопрокатном стане.

Наличие единого центра описания профиля сложной формы (рис. 1) дает возможность применения критериев оценки эффективности формоизменения на основе ранее полученного опыта использования коэффициентов технологичности и неравномерности формоизменения простых профилей [6].

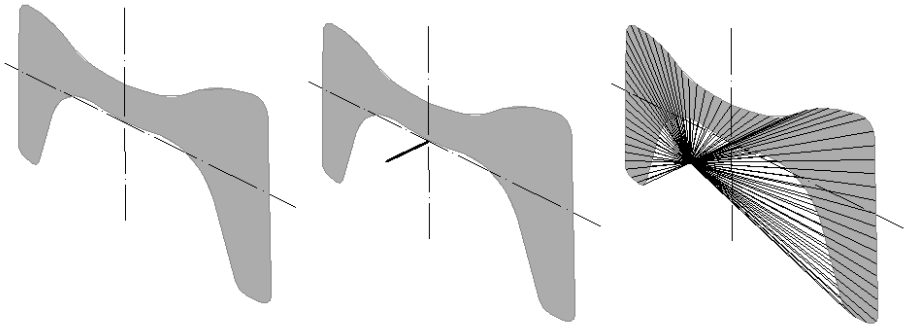


Рис. 1. Применяемый в матричном подходе способ описания сечения

Оптимизированная калибровка затрагивает чистовую группу клетей. В процессе оптимизации калибровки изменена форма второго и третьего против хода прокатки калибров, чтобы обеспечить прирост ширины стенки, так как естественное уширение стенки не обеспечивает такого прироста. Таким образом, в верхнем ручье ширина раската получается меньше ширины калибра и полоса имеет, по крайней мере, одну степень свободы для перемещения в калибре. Иными словами, калибр неустойчиво держит раскат. Центрирование раската в калибре происходит за счет удерживания полок. Результаты расчета значений усилия прокатки, коэффициента вытяжки и коэффициента неравномерности деформации приведены далее (табл. 3).

Таблица 3

Сравнительный анализ расчётных значений усилия прокатки для различных вариантов калибровки чистовой группы стана 450 Danieli

Калибровка	Усилие в чистовой группе клетей, кН					
	9	11	12	13	14	15
Исходная калибровка	2103,27	1688,30	1367,27	1046,25	1233,30	920,61
Оптимизация калибровки. Вариант 1	1796,51	1448,75	1574,61	1233,75	881,31	1020,55
Оптимизация калибровки. Вариант 2	1796,51	1448,75	1574,61	1030,01	722,31	961,18

Основные отличия разработанной калибровки от действующей:

– увеличен радиус изгиба стенки;

– увеличено обжатие стенки в клети 13 на 4%;

– уменьшено обжатие стенки в клети 14 на 3%;

– уменьшен угол между полками за счет изменения радиуса изгиба стенки. Схема калибровки более приближена к традиционной, рассчитанной на уширение стенки;

– улучшены условия входа раската в контрольный калибр за счет увеличения высоты полки (в критически нагруженной клети №14).

Получив рациональное распределение неравномерности формоизменения, можно сказать, что образовался «резерв» по усилию прокатки. Таким обра-

зом, возможно допустить снижение температуры металла, что приведет к повышению усилий при его прокатке, однако это усилие не станет избыточным и опасным за счет использования образовавшегося «резерва».

На примере технологии прокатки швеллера в условиях крупносортно-среднесортного стана 450 Danieli определена взаимосвязь $K_{нер}$ и уровня загрузки клети. Оптимизация калибровки (вариант 2) позволила снизить нагрузку на клеть (см. табл. 3) и создать запас для снижения температуры нагрева заготовки в печи на 30^0С. Это обеспечило выполнение класса прочности 345 Н/мм^2 из стали марки 09Г2С по ГОСТ 19281-89 [12].

Заключение

1. Показано, что Danieli занимает передовые позиции в мировом металлургическом машиностроении как разработчик и поставщик современных высокоавтоматизированных комплексов в производстве стального сортового проката для перспективных отраслей экономики.

2. Разработанная под руководством и при определяющем участии авторов статьи структурно-матричная модель формоизменения при прокатке сортовых профилей обеспечивает возможность оптимизации технологического процесса по наиболее актуальному критерию – снижению энергозатрат.

3. Многолетний опыт применения структурно-матричной модели при решении технологических задач, включая задачи оптимизации калибровки для сортовых станов Danieli, показал ряд дополнительных достоинств оборудования и технологии этой компании, заключающихся в высокой адаптивности к изменяющемуся сортаменту и большому запасу технологических резервов, позволяющих поэтапно повышать эффективность производства в меняющихся производственно-экономических условиях.

Библиографический список

1. Тулупов С.А. Матричный способ представления процесса формоизменения при прокатке в калибрах простой формы. Сообщение 2 // Известия вузов. Черная металлургия. 1990. № 2. С. 48-50.

2. Тулупов С.А., Тулупов О.Н. Матрично-статистическая модель формоизменения / Магнитогорск. горно-металлург. ин-т. Магнитогорск, 1988. Деп. в ин-те Черметинформация. №3/Д-1412.

3. Тулупов С.А., Заверюха В.Н. Матричный способ представления профилей и формоизменения металла в процессах обработки металлов давлением // Известия вузов. Черная металлургия. 1989. № 9. С. 62-65.

4. Новые решения в моделировании процессов сортовой прокатки на основе структурно-матричного подхода и его приложений / О.Н.Тулупов, А.Б.Моллер, М.Г.Поляков, А.В.Логинов, Ю.В.Симаков, Д.В.Колясов, С.А.Левандовский // Производство проката. 2004. № 7. С. 19-25.

5. Tulupov O.N., Rashnikov S.F. Matrix mathematical modelling of roll pass design // Modelling of Metal Rolling Processes 3. Conference Papers. IOM, Chameleon Press Ltd, London, 1999. P. 458-467.

6. Тулупов О.Н. Структурно-матричные модели для повышения эффективности процессов сортовой прокатки: монография. Магнитогорск: МГТУ, 2002. 224 с.

7. Управление качеством сортового проката путем использования рациональных предупреждающих действий при настройке станов / О.Н.Тулупов, Н.А.Ручинская, А.Б.Моллер, А.С.Лимарев, А.Н.Луценко // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2007. № 4. С. 73-80.

8. Тулупов О.Н., Лимарев А.С., Моллер А.Б. Повышение конкурентоспособности производства посредством эффективного управления качеством подготовки кадров // Сталь. 2009. №3. С. 84-85.

9. Моллер А.Б. Повышение эффективности сортопрокатных технологических систем на основе структурирования и развития элементов менеджмента качества // Извести вузов. Черная металлургия. 2011. № 7. С. 6-9.

10. Improved grooving when rolling round profiles and reinforcement. Asanov V.N., Steblov A.B., Tulupov O.N., Lenartovich D.V. Steel in Translation. 2008. T. 38. № 11. P. 929-931.

11. Совершенствование технологии прокатки профилей простой формы при пониженных температурах нагрева заготовки / А.Н.Луценко, В.А.Монид, О.Н.Тулупов, А.С.Лимарев, А.Б.Моллер, А.И.Трайно, Д.В.Назаров // Труды седьмого конгресса прокатчиков (г. Москва, 15-18 октября 2007 г.). Т. 1. М., 2007. С. 208-212.

12. Assessing channel rolling on a 450 mill / D.V.Nazarov, E.A.Zakharov, S.V.Denisov, A.B.Moller, K.A.Zav'yalov // Steel in Translation. 2009. T. 39. № 10. P. 901-905.

С.С. Рычков
ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат»
Д.И. Кинзин
ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ДВУХ ВАРИАНТОВ КАЛИБРОВКИ ВАЛКОВ ЧЕРНОВОЙ ГРУППЫ КЛЕТЕЙ СТАНА 370 ОАО «ММК»

Проведен анализ двух вариантов калибровки десяти черновых клетей стана 370 ОАО «ММК». Использование калибров новой формы позволит добиться более высокой стойкости валков. Меньший расход валков позволит сэкономить до 800 тыс. руб. в год. Более равномерное распределение нагрузок по клетям снизит вероятность поломок оборудования главных линий клетей из-за скачков момента в наиболее загруженных неравноосных клетях стана. Лучшие условия захвата и большая стабильность раската на входе в равноосные калибры уменьшит число застреваний. Кроме этого, изменившаяся схема деформации – с более высоким коэффициентом эффективности калибровки – повысит выкатываемость дефектов литейного производства.

Ключевые слова: метод конечных элементов, износ валков, калибровка валков, степень использования запаса пластичности.

Введение

Изменение калибровки валков может улучшить условия прокатки на стане – повысить механические свойства проката, качество поверхности, точность прокатки, снизить энергозатраты, парк и расход валков и т.д. [1-5]. Причем особый интерес представляют такие подходы, которые способны улучшить сразу несколько параметров производства. На кафедре обработки металлов давле-

нием Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова на протяжении длительного времени разрабатывают и совершенствуют методику расчета калибровки валков в рамках структурно-матричного подхода, которая демонстрирует универсальность и способность положительно влиять на производственные показатели [4, 6-8].

Данная работа представляет собой продолжение начатого ранее исследования влияния различных геометрических соотношений в неравноосных калибрах на износ валков и степень использования запаса пластичности металла на выходе из равноосных калибров.

Цель работы: проанализировать влияние измененной формы неравноосных калибров на технологические параметры по итогам моделирования прокатки металла в используемых и предлагаемых калибрах черновой группы клетей стана 370 ОАО «ММК».

Задачи работы:

– определить условия моделирования;

– сравнить износ калибров, стойкость валков, степень использования запаса пластичности (СИЗП) раската на выходе из четных калибров двух калибровок; оценить энергосиловые параметры и параметры очагов деформации;

– критически оценить полученные качественные и количественные результаты. Выявить достоинства и недостатки предлагаемой калибровки;

– оценить необходимость дальнейшего совершенствования калибровки валков черновой группы клетей стана 370 ОАО «ММК».

Параметры моделирования процесса в программе «Deform 3D»

Условия моделирования в целом соответствуют данным предыдущего исследования износа [9].

Процесс: симметричный (использование четвертой части поперечного сечения заготовки и валков); установившийся (произвольное Лагранж-Эйлерово поведение элементов ALE); неизотермический (расчет температурного профиля

заготовки и валков); конечные элементы – гексаэдры. Заготовка: температура перед клетью 1000^0С; 200 элементов в поперечном сечении; 72 слоя в продольном сечении; более плотное размещение элементов в окрестности очага деформации с коэффициентом отношения 6/1; длина заготовки составляет не менее семи длин геометрического очага деформации; показатель трения – 0,52; материал – сталь AISI 1015 (сталь 15).

Валки: абсолютно жесткие, несжимаемые; 100 элементов в продольном сечении; 90 слоев в радиальном направлении; температура 50^0С; твердость по Роквеллу соответствует данным технологической инструкции, по сечению постоянная, от изменения температуры не зависит; скорость вращения валков в соответствии с установленными режимами прокатки при максимальной производительности (табл. 1).

Таблица 1

Параметры моделирования

Параметр	Номер клети									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Твердость валков, HRC	42,0	42,0	45,0	45,0	47,0	47,0	50,0	50,0	53,0	55,0
Частота вращения валков, об/мин	7,6	10,0	13,0	20,6	28,0	36,6	62,7	83,5	112,2	177,8
Ширина профиля в четных клетях, мм		115,5		95,0		70,0		51,0		38,4

Результаты

Износ калибров и энергосиловые параметры прокатки. На рис. 1 представлены основные размеры неравноосных калибров используемой и предлагаемой калибровок, а также поперечные сечения раскатов, полученные в результате моделирования.

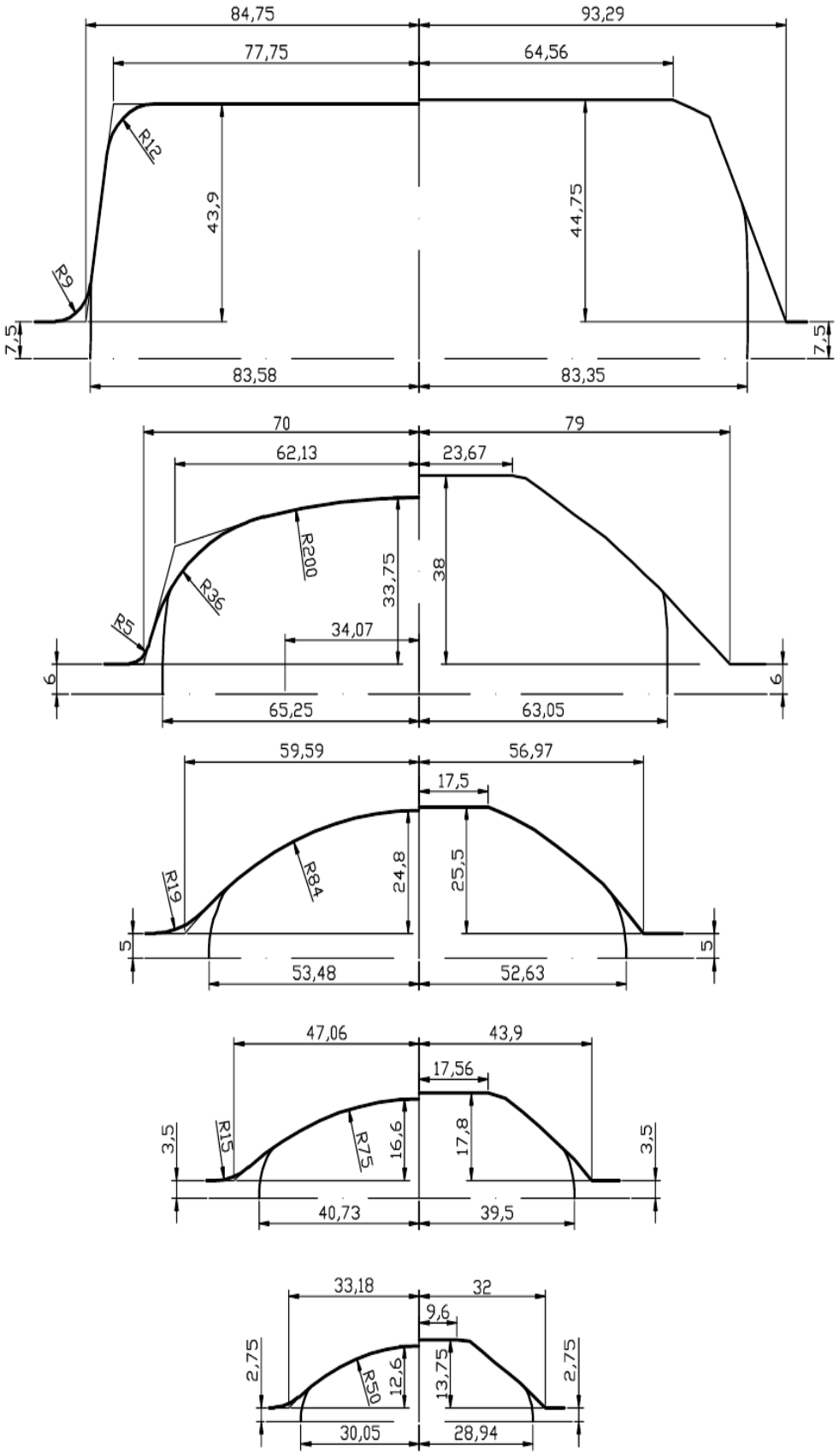


Рис. 1. Сравнение используемых (слева) и предлагаемых (справа) неравноосных калибров черновой группы клетей стана 370 ОАО «ММК»

Основная тенденция – использование более высоких калибров, причем все предлагаемые неравноосные калибры имеют плоское дно. Это позволит получить более толстый раскат, снизить уширение и отношение ширины к высоте Н раската. Таким образом, эффективность предлагаемых на стане систем калибров оказывается выше, чем у используемых на данный момент – растет вытяжная способность новых систем калибров [7].

На рис. 2 показано изменение коэффициента равномерности распределения усилий прокатки по клетям стана в зависимости от типа используемой калибровки:

$$K_{PY} = \frac{P_2}{P_1}, \qquad (1)$$

где P_1 – усилие прокатки в нечетной клети;

P_2 – усилие прокатки в четной клети.

В используемой калибровке указанное соотношение снижается по ходу прокатки и достигает значения 50% в паре калибров девятой и десятой клетей.

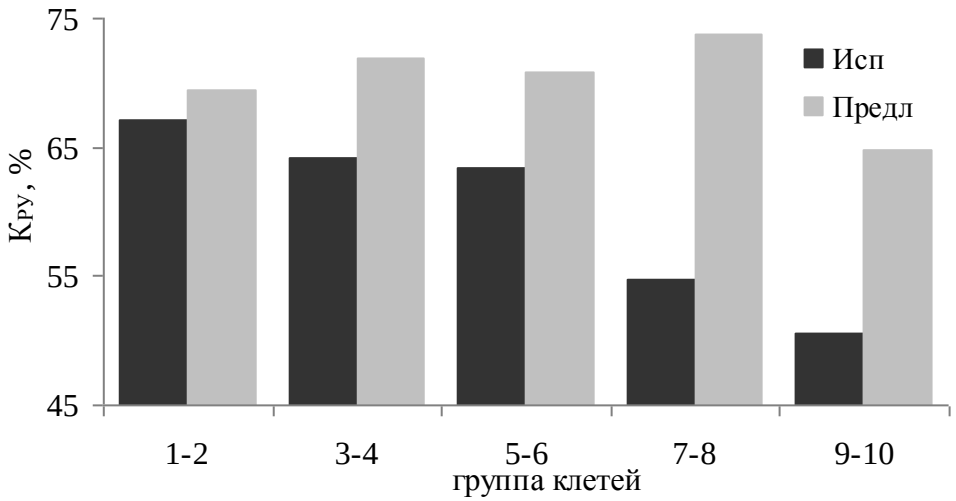


Рис. 2. Сравнение равномерности распределения усилий прокатки по клетям для двух вариантов калибровки

Изменение формы неравноосного калибра снизит усилия прокатки в нечетных клетях, а изменившаяся форма раската на входе в четные клети увеличит усилия в них за счет большей площади контакта металла и валков (табл. 2 и 3). Это выравняет усилия прокатки в парах неравноосный-равноосный калибр. Максимальная разница между усилиями новой калибровки не превышает 35% в последней паре клетей.

Таблица 2

Технологические параметры, полученные в результате моделирования прокатки в используемых на стане 370 ОАО «ММК» калибрах

Параметр	Номер клети									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Усилие прокатки, т	114	77	89	57	60	38	44	24	30	15
Момент прокатки, кНм	301	198	210	132	111	74	66	38	37	19
Длина очага деформации, мм	114	117	103	99	92	94	78	78	64	59
Площадь контакта, мм^2	9713	6331	6307	4117	3592	2318	2196	1226	1389	716
Угол захвата, град	37	38	32	31	33	35	34	34	27	31
Износ максимальный, мкм	598	735	980	1463	975	1092	1447	1790	1076	1440
Износ осевой, мкм	598	735	566	679	975	871	1282	1695	1040	1281

Таблица 3

Технологические параметры, полученные в результате моделирования прокатки в предлагаемых калибрах

Параметр	Номер клети									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Усилие прокатки, т	112	78	83	60	58	41	39	28	26	17
Момент прокатки, кНм	300	202	194	131	100	75	54	43	30	19
Длина очага деформации, мм	113	115	89	92	91	91	75	75	62	57
Площадь контакта, мм^2	9259	6631	5809	4595	3482	2750	2024	1715	1270	896
Угол захвата, град	36	38	28	29	33	33	32	33	26	30
Износ максимальный, мкм	681	706	2070	1370	903	1156	1228	1411	867	1148
Износ осевой, мкм	534	696	370	468	903	1141	1228	1277	867	1030

Неравноосные калибры с плоским дном обеспечивают снижение моментов прокатки от 5 до 11% со второй по пятую пары клетей (рис. 3). В первой паре клетей суммарный момент возрастает на 1%. Базовое значение параметров прокатки исходной калибровки составляет 100%.

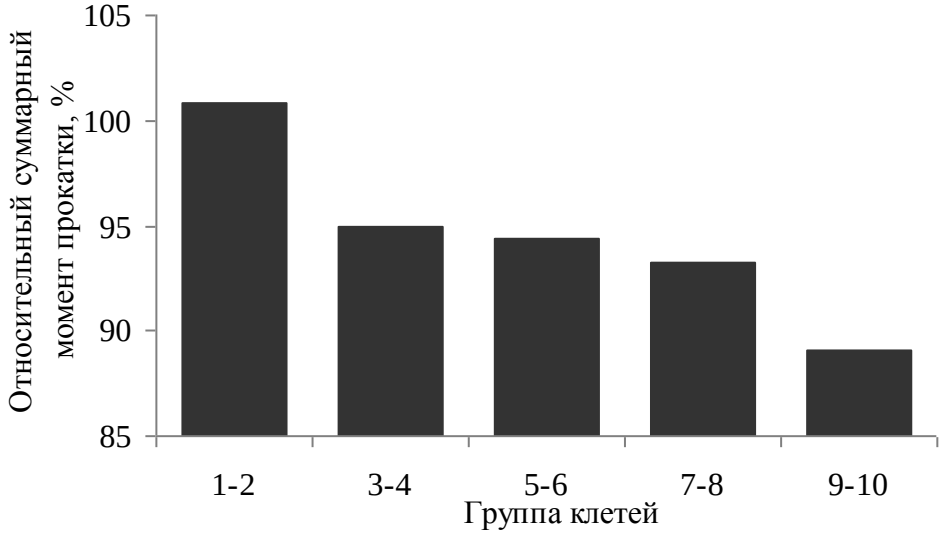


Рис. 3. Относительное изменение суммарного момента прокатки по группам клетей при изменении калибровки

Результаты моделирования показали, что калибры новой формы повысили равномерность распределения усилий прокатки на 3, 12, 12, 35 и 28% для соответствующих пар клетей по ходу прокатки. Это снизит вероятность поломок оборудования главных линий рабочих клетей черновой группы стана 370 ОАО «ММК».

Интенсивность износа предлагаемых калибров замерялась в двух точках: на вертикальной оси калибра и в плоскости максимального обжатия металла валками. Базовые значения износа исходных калибров составляют 100% (рис. 4).

В большинстве случаев интенсивность износа валков уменьшается за счет меньших обжатий и уширений как в равноосных, так и в неравноосных калибрах (раскаты на выходе из предлагаемых неравноосных клетей уже и толще исходных). Относительный осевой износ усиливается в круглом калибре шестой

клети, а в плоскости максимального обжатия – в первой, третьей и шестой клетях.

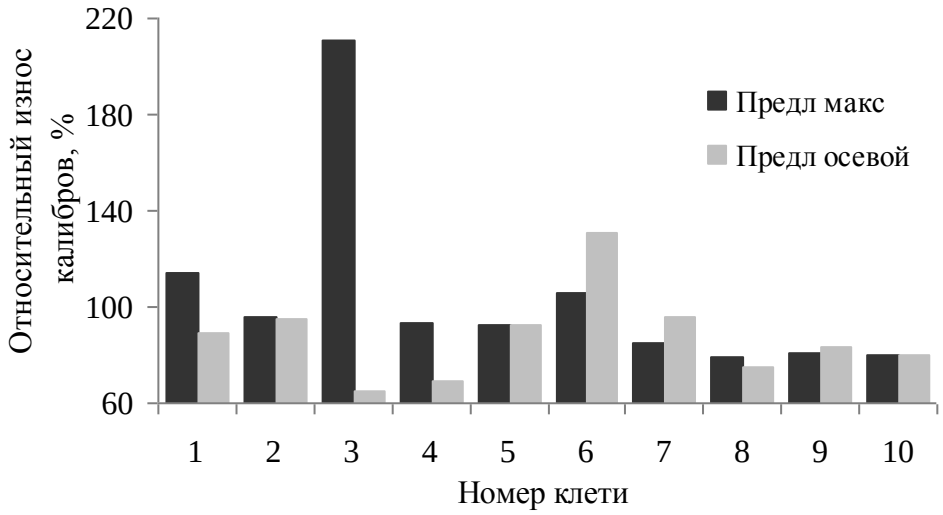


Рис. 4. Качественное сравнение износа предлагаемых калибров

Стойкость валков. Важным параметром, влияющим на экономическую эффективность производства, является стойкость валков сортового стана горячей прокатки.

Возьмем за основу данные технологической инструкции: допустимое уменьшение диаметров валков, количество возможных переточек, величину съема и число калибров на бочках валков (табл. 4). Стойкость используемых калибров соответствует данным журнала перевалок за второй квартал 2013 г.

На рис. 5 представлена схема для расчета числа возможных переточек на примере третьей клети. От исходной величины съема $R_{исх}$ определяется расстояние от выпуска калибра по нормали N. Затем, используя это значение, измеряется величина съема на предлагаемом калибре $R_{предл}$.

Число возможных переточек вырастет на 10 в первой и третьей клетях – в 2,67 и 2,43 раза соответственно, из-за значительного изменения углов выпуска калибров. При этом стойкость калибров снизится в 1,14 и 2,12 раза. Стойкость калибров других валков повысится за счет снижения интенсивности износа по вертикальной оси, в плоскости максимального обжатия по всей дуге калибра.

Таблица 4

Данные для анализа стойкости валков после изменения калибровки

Параметр эксплуатации валков	Номер клети									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Допустимое уменьшение диаметра валка, мм	100	100	100	85	85	85	70	70	70	55
Масса валка, т	2,85	2,85	2,85	1,99	1,99	1,99	1,43	1,43	1,43	0,78
Количество переточек, шт	6	6	7	8	8	8	8	8	11	9
	16	6	17	8	8	8	8	8	11	9
Выпуск, град.	9	10	18	30	49	30	55	30	52	30
	25	10	50	30	45	30	46	30	50	30
Съем, мм	16,7	16,7	14,3	10,6	10,6	10,6	8,8	8,8	6,4	6,1
	6,1	16,7	5,9	10,6	11,1	10,6	9,8	8,8	6,4	6,1
Калибров на бочке, шт	3	4	4	6	6	8	8	11	11	11
Стойкость калибра, тыс. т.	19,6	19,6	15,9	15,9	11,5	11,5	7,3	7,3	3,1	3,1
	17,2	20,4	7,5	17,0	12,5	10,9	8,6	9,3	3,9	3,9
Стойкость валка до переточки, тыс. т	58,9	78,5	63,6	95,4	69,3	92,4	58,8	80,8	34,5	34,5
	51,7	81,8	30,1	101,9	74,8	87,3	69,3	102,3	42,8	43,2
Годовой расход валков, шт	2,57	1,93	2,08	1,23	1,70	1,27	2,00	1,46	2,56	3,08
	1,18	1,85	1,96	1,16	1,63	1,35	1,88	1,15	2,07	2,45
Разница расхода валков	1,39	0,08	0,13	0,08	0,07	-0,07	0,13	0,31	0,49	0,62
Экономия валков, т	3,95	0,22	0,36	0,16	0,13	-0,15	0,18	0,44	0,70	0,49
Итого, т										6,47
Цветом выделены данные для предлагаемой калибровки; Годовой расход валков рассчитан при производстве 530 тыс. тонн в год.										

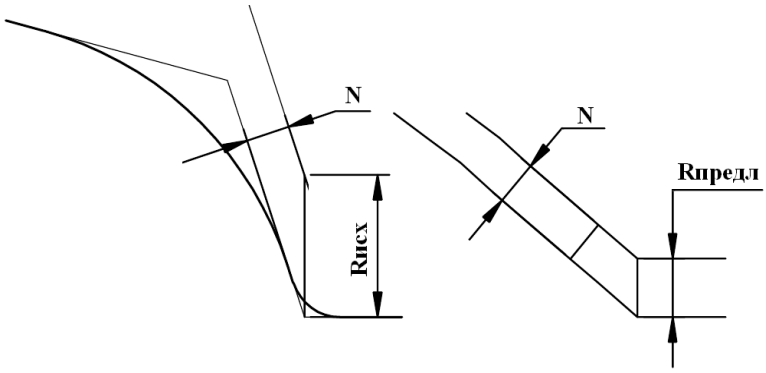


Рис. 5. Схема для расчета количества возможных переточек валков при использовании предлагаемых калибров

Предложенные изменения при уровне производства 530 тыс. тонн в год снизят расход валков на 6,5 тонн. При стоимости одной тонны валков 125 тыс. руб. ожидаемый годовой эффект составит более 800 тыс. руб.

Степень использования запаса пластичности. Мы провели качественное сравнение влияния калибров новой формы на СИЗП (табл. 3, 4), которая характеризует вероятность образования дефектов металла при прокатке под действием растягивающих напряжений. В «Deform 3D» СИЗП определяется критерием Кокрофта-Лэтема [10]. В калибрах с более стесненными условиями, меньшей неравномерностью деформации и пониженными абсолютными обжатиями вероятность образования дефектов ниже [11], что также подтвердилось в работах, посвященных исследованию поведения поверхностных трещин при прокатке сортовой заготовки и непрерывнолитых слябов [2, 12], а также поведения дефектов литейного производства [4, 5].

Значения СИЗП в процессе моделирования снимались на выходе из четных клетей, чтобы установить суммарный эффект в каждой из систем калибров. Моделирование провели в первой паре клетей, затем полученные значения СИЗП по сечению заготовки обнулялись и проводили моделирование в следующей паре клетей. Результаты (рис. 6) подтверждают установленные ранее закономерности.

В исходной калибровке абсолютные значения СИЗП достигают максимальных значений в паре клетей 7-8 и составляют 0,544. Минимальные значения в клетях 1-2 – 0,355. Это обусловлено тем, что суммарная относительная деформация в первой паре клетей равна 54%, а в четвертой паре клетей – 72%. Также в первой клети наименьшее отношение В/Н = 1,59, а в седьмой клети-наибольшее – 2,06. Системы калибров с минимальным отношением В/Н обладают наибольшей эффективностью, т.е. отношение объемов металла, смещенных в направлении прокатки, к объемам, смещенным по высоте, максимально.

В пяти парах клетей СИЗП по сечению раската снизилась. На выходе из четвертой и восьмой клетей новая форма калибров никак не повлияла на максимальные значения данной величины на свободной поверхности промежуточ-

ного раската. Во второй, шестой и десятой клетях снижение максимальных значений составило 3, 10 и 19% соответственно. Снижение средних значений от 2 до 15%. Высокие неравноосные калибры с малым В/Н и высокая эффективность новой калибровки в соответствии с опытом [4, 5] должна снизить объемы проката с литейными поверхностными дефектами.

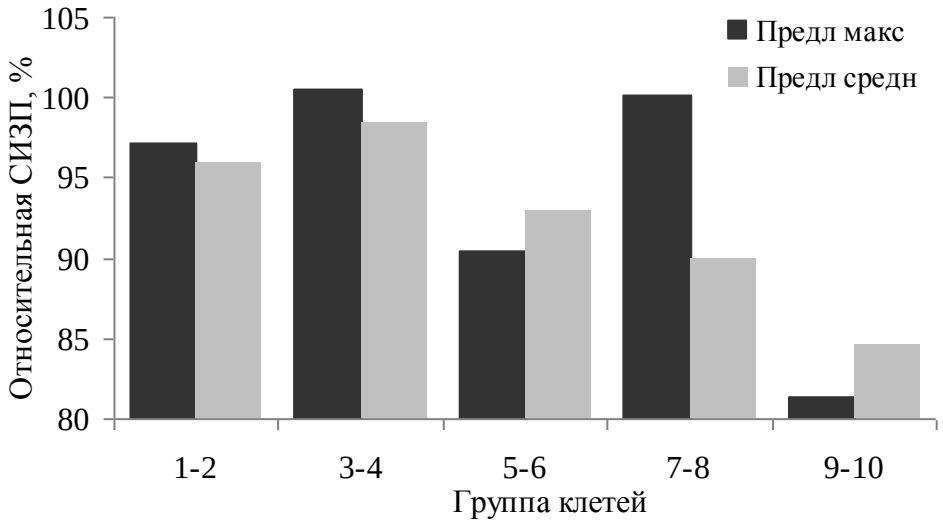


Рис. 6. Максимальные и средние значения СИЗП по сечению раскатов на выходе из четных клетей предлагаемой калибровки относительно значений используемой калибровки

Улучшение показателей СИЗП особенно актуально при производстве круглого проката в бунтах, так как к нему предъявляются жесткие требования по качеству поверхности и механическим свойствам, особенно при испытаниях на осадку в 66%.

Заключение

Разработанная калибровка валков обладает следующими преимуществами:

– снижены обжатия во всех десяти клетях;

- улучшены условия захвата металла валками (меньшие углы захвата и более интенсивная работа буртов на начальной стадии захвата металла);
- повышена стабильность раската на входе в равноосный калибр, т.к. получаемые плоские неравноосные раскаты проще удерживать роликами вводной арматуры, чем овальные раскаты;
- применение плоских роликов без калибров в конструкции привалковой арматуры;
- большая эффективность калибровки и пониженные затраты энергии на прокатку [6, 7];
- снижены значения СИЗП, что повысит выкатываемость дефектов литейного происхождения [2, 11];
- повышена стойкость валков за счет меньших обжатий и увеличения углов выпуска в первой и третьей клетях – повысится число возможных переточек валков – уменьшится расход валков во всех клетях, кроме шестой. Ожидаемый экономический эффект составит 800 тыс. руб. в год;
- за счет перераспределения вытяжек [7] удалось выравнять усилия и моменты между неравноосными и равноосными калибрами, что понизит вероятность поломок валков из-за скачков момента прокатки на наиболее загруженных неравноосных клетях;
- во всех парах калибров снизились либо остались на прежнем уровне максимальные и средние значения СИЗП металла.

Основной недостаток новой калибровки – необходимость более частых переходов и перевалок третьей клети из-за двукратного снижения стойкости калибров.

На данный момент согласована технология для проведения опытной прокатки с использованием калибра новой формы в пятой клети стана 370 ОАО «ММК». При необходимости по результатам опытной прокатки будут скорректированы условия моделирования и проведено уточнение износа с уче-

том изменения формы калибров в процессе прокатки металла на основе предыдущего исследования [9].

Библиографический список

1. Новые критерии технологичности при прокатке швеллеров на стане 450 / Д.В.Назаров, Е.А.Захаров, С.В.Денисов и др. // Сталь. 2009. №10. С. 40-44.

2. Мартьянов Ю.А. Совершенствование режимов прокатки и калибровки валков на основе исследований выкатываемости поверхностных дефектов с целью повышения качества сортового проката: Автореф. дис. … канд. техн. наук: Красноярск, 2013. 24 с.

3. Фастыковский А.Р., Перетятько В.Н. Оценка калибровок с учетом работоспособности валковой арматуры // Производство проката. 2002. № 11. С. 14-16.

4. Шубин И.Г., Тулупов С.А., Рашников В.Ф. Повышение качества поверхности сортовых заготовок путем совершенствования калибровки валков непрерывного заготовочного стана // Бюллетень научно-технической информации «Черная металлургия». 1991. №2. С. 50-51.

5. Моделирование калибровки валков для снижения дефектообразования при прокатке круглого профиля на стане 450 / С.Мроз, Х.Дыя, В.А.Трусов, А.В.Зиновьев // Производство проката. 2012. №8. С. 31-36.

6. Калугина О.Б, Кинзин Д.И., Рычков С.С. Комплексный подход к моделированию процесса формоизменения при прокатке с целью оптимизации параметров при прокатке // Материалы XIII Международной научно-технической конференции «ИТ-технологии: развитие и приложения». 14-15 декабря 2012 г. / Сев.-Кавказский горно-металлургич. ин-т (гос. техн. ун-т) СКГМИ (ГТУ); ин-т теоретической и прикладной информатики (ИТПИ) – Владикавказ: «Фламинго», 2012. С. 18-28.

7. Калугина О.Б. Оптимизация формы вытяжных калибров по критерию эффективности деформации с целью энергосбережения: автореф. дис. … канд. техн. наук: 05.16.05 Обработка металлов давлением. МГТУ им. Г.И. Носова, Магнитогорск. 2013. 20 с.

8. Совершенствование существующих технологических схем прокатки на основе оптимизации форм калибров с целью повышения качества сортовой продукции / С.А.Левандовский, А.Б.Моллер, Д.В.Назаров, А.А.Зайцев // Моделирование и развитие процессов обработки металлов давлением: сб. науч. тр. / Под ред. Салганика В.М. Магнитогорск: МГТУ, 2006. С. 129-136.

9. Рычков С.С., Кинзин Д.И. Моделирование износа валков методом конечных элементов при прокатке в калибрах простой формы // Электронный научный журнал «Калибровочное бюро».2013. Выпуск 1. passdesign.ru. С. 29-42.

10. Cockroft M.G., Latham D.J. Ductility and workability of metals // Journal of the Institute of Metals. Vol. 95. 1968. P. 33-39.

11. Кинзин Д.И, Рычков С.С. Исследование эффективности калибровки сортовых профилей с помощью программы DEFORM-3D // Труды международной научно-практической конференции «Инженерные системы – 2010». М.: РУДН, 2010. С. 133-135.

12. Песин А.М., Салганик В.М., Пустовойтов Д.О. Моделирование формоизменения поверхностных трещин непрерывнолитого сляба при черновой прокатке на широкополосном стане // Труды международной научно-практической конференции «Инженерные системы – 2010». М.: РУДН, 2010. С. 136-140.

М.И. Румянцев
ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»

РАЗВИТИЕ МЕТОДИКИ СИНТЕЗА РЕЖИМА ОБЖАТИЙ ПРИ ПРОКАТКЕ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ЛИСТОВ НА ТОЛСТОЛИСТОВЫХ СТАНАХ

Показаны преимущества синтеза режимов деформации при листовой прокатке с применением коэффициента обжатия. Получены зависимости, которые позволяют формализовать процедуры выбора толщины промежуточного раската, число проходов на черновой и чистовой стадиях, а также распределение частных обжатий по проходам при прокатке крупногабаритных листов на толстолистовых станах.

Ключевые слова: крупногабаритные листы, толстолистовой стан, черновая прокатка, чистовая прокатка, коэффициент обжатия, деформационный режим.

Как известно, прокатка крупногабаритных листов на толстолистовых станах (ТЛС), независимо от числа клетей подразделяется на черновую и чистовую стадии, на каждой из которых осуществляется N_R и N_F проходов соответственно. При известных толщинах сляба $H_{сл}$ и конечного раската $h_к$ для синтеза режима обжатий необходимо выбрать толщину промежуточного раската (после черновой стадии) h_p, определить число черновых и чистовых проходов, а также распределить по проходам частные обжатия.

Опыт разработки режимов горячей прокатки листовой стали разнообразного назначения на станах различных типов [1-3] показал преимущества синтеза режимов деформации при листовой прокатке с применением коэффициента обжатия, который использовал в своих работах Н.В.Литовченко [4]. Коэффици-

ент обжатия η представляет собой отношение толщин до (h_0) и после (h_1) деформации $(\eta = h_0/h_1)$. В отличие от коэффициента высотной деформации $(\gamma = h_1/h_0)$, который применяется при анализе сортовой прокатки, коэффициент обжатия больше единицы и с увеличением степени деформации возрастает. Традиционные для листовой прокатки характеристики деформации (относительное ε и абсолютное Δh обжатия) связаны с коэффициентом обжатия следующими соотношениями: $\varepsilon = 1 - 1/\eta$ и $\Delta h = h_0(1 - 1/\eta)$. Важным преимуществом коэффициента η является возможность его применения для выбора числа проходов при реверсивной прокатке. Для черновой стадии $N_R = ln\,\eta_{R\Sigma}/ln\,\overline{\eta}_R$, для чистовой $N_F = ln\,\eta_{F\Sigma}/ln\,\overline{\eta}_F$. Коэффициенты суммарного обжатия для соответствующих стадий: $\eta_{R\Sigma} = H_{сл}/h_p$ и $\eta_{F\Sigma} = h_p/h_к$.

При производстве крупногабаритных листов с применением контролируемой прокатки толщина промежуточного раската совпадает с толщиной после прокатки в области рекристаллизующегося аустенита и в соответствии с известными рекомендациями должна быть в 2,5-4,0 раза больше толщины готового листа, т.е. $\eta_{F\Sigma}$ = 2,5…4,0 [5]. Для выбора первого приближения толщины раската при обычной и нормализующей прокатке с учетом накопленного опыта разработки технологических режимов и результатов работы [6] множественным регрессионным анализом нами получена зависимость:

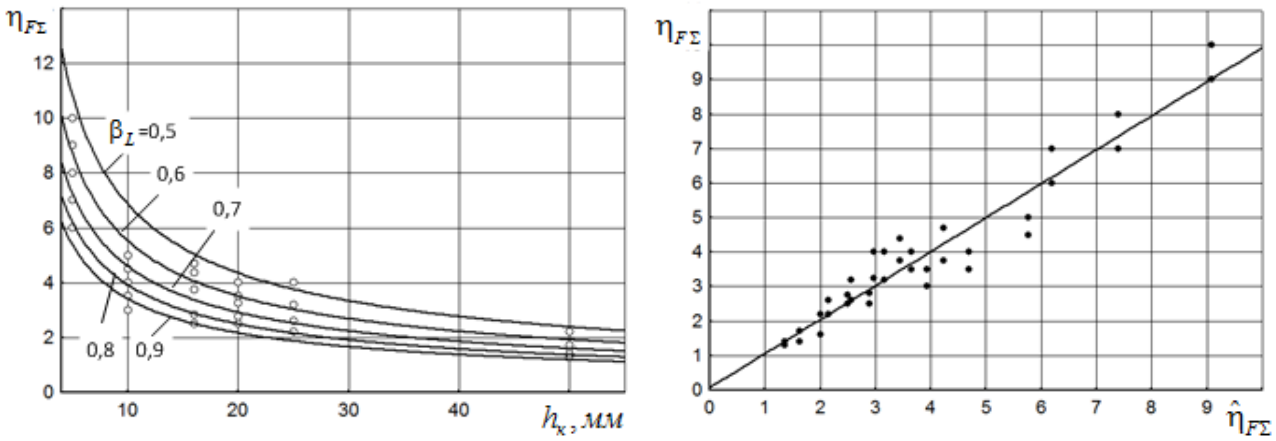
$$\eta_{F\Sigma} = 13{,}691 h_к^{-0{,}657} \beta_L^{-1{,}188}, \qquad (1)$$

$$(R^2 = 0{,}924;\ F_p = 200{,}6053;\ F_{95} = 3{,}2674),$$

где $\beta_L = b_к/L_p$ – коэффициент использования бочки рабочего валка длиной L_p.

Аппроксимация (1) является статистически надежным отображением исследуемой взаимосвязи с доверительной вероятностью 95% (рассчитанное чис-

ло Фишера F_p больше табличного F_{95}). При этом доля дисперсии отклика $\eta_{F\Sigma}$, объясняемая совместным влиянием факторов $h_к$ и β_L, составляет 92,4% ($R^2 =$ 0,924). Выводы подтверждаются так же диаграммой соответствия прогнозируемых и фактических значений (рис. 1,б).



а *б*

Рис. 1. Зависимость коэффициента суммарного обжатия на чистовой стадии прокатки крупногабаритных листов от толщины готового листа (а) и диаграмма соответствия прогнозируемых $(\hat{\eta}_{F\Sigma})$ и фактических значений (б)

Для расчета среднего коэффициента обжатия ранее [2] применяли зависимость

$$\overline{\eta}_j = 4{,}450 h_{j1}^{-0{,}061} \beta_L^{-0{,}049} \sigma_0^{-0{,}256},$$

где j – стадия прокатки (черновая или чистовая); h_{j1} – толщина раската после стадии j; σ_0 – предел текучести прокатываемого металла при стандартных условиях пластометрического испытания.

Однако накопленный опыт разработки технологических режимов показал, что величина $\overline{\eta}$ зависит также от коэффициента суммарного обжатия. Множественным регрессионным анализом получили следующие зависимости:

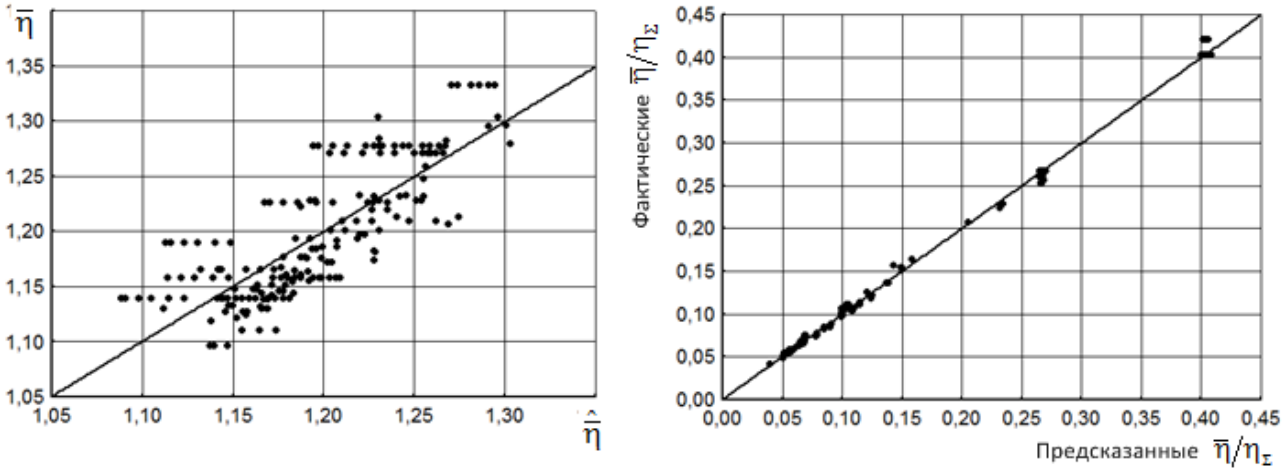
$$\overline{\eta} = 2{,}966 \sigma_0^{-0{,}232} \beta_L^{-0{,}053} \eta_\Sigma^{0{,}05}; \qquad (2)$$

$$(R^2 = 0{,}647;\ F_p = 69{,}6487;\ F_{95} = 2{,}6821);$$

$$\overline{\eta}/\eta_\Sigma = 1{,}3841\sigma_0^{-0{,}052}\beta_L^{-0{,}017}\eta_\Sigma^{-0.966}; \qquad (3)$$

$$(R^2 = 0{,}986;\ F_p = 2676{,}2857;\ F_{95} = 2{,}6821).$$

Обе аппроксимации статистически надежные с доверительной вероятностью 95%. Но если в зависимости (2) откликом является собственно средний коэффициент деформации $\overline{\eta}$ и доля объясненной дисперсии составляет 64,7%, то в зависимости (3) отклик представляет собой отношение среднего коэффициента к суммарному $\left(\overline{\eta}/\eta_\Sigma\right)$ и доля объясненной дисперсии возрастает до 98,6%. Диаграммы соответствия прогнозируемых и фактических значений отклика для обеих зависимостей приведены на рис. 2.



а ***б***

Рис 2. Диаграммы соответствия прогнозируемых и фактических значений: а – по уравнению (2); б – по уравнению (3)

Из сравнения показателей R^2 и диаграмм соответствия следует, что предпочтительно использовать зависимость (3). Преобразуя указанную зависимость, получили

$$\overline{\eta} = 1{,}3841\sigma_0^{-0{,}052}\beta_L^{-0{,}017}\eta_\Sigma^{0{,}034}. \qquad (4)$$

Выполненный нами ранее [1-2] анализ закономерностей режима обжатий при прокатке крупногабаритных листов на толстолистовых станах показал, что во всех случаях относительные обжатия сначала возрастают от величины ε_1 в первом проходе до некоторого значения $\varepsilon_{Rк}$ в последнем черновом, а затем снижаются до $\varepsilon_{Fк}$ в последнем чистовом (рис. 3). При протяжке и разбивке ширины интенсивность нарастания обжатия меньше, чем после окончания этих операций и даже может наблюдаться постоянство обжатий в данных проходах.

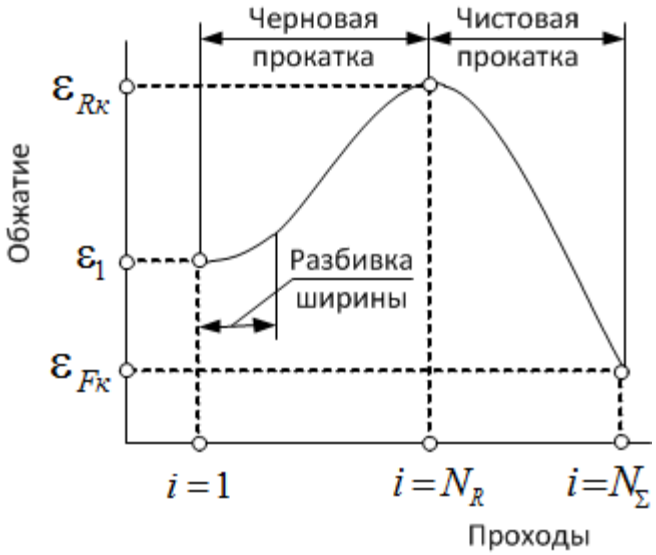


Рис. 3. Типовое распределение обжатий при прокатке крупногабаритных листов

Для выбора первого приближения обжатий ранее была выполнена формализация метода Н.В.Литовченко [7]. Из предположения линейного распределения частных коэффициентов обжатия $\eta_i = h_{i-1}/h_i$ по N_R черновым проходам получили

$$\eta_{Ri} = \eta_{R1} + 2(i-1)\frac{\sqrt[N_R]{H_{сл}/h_p} - \eta_{R1}}{N_R - 1}, \qquad (5)$$

где η_{R1} – коэффициент обжатия в первом черновом проходе, значение которого может быть выбрано, например, из условия захвата.

Из предположения линейного распределения частных коэффициентов обжатия по N_F чистовым проходам получили (при относительном обжатии в последнем чистовом проходе $\varepsilon_{F\,к}$ = 5%)

$$\eta_{F\,i} = 2{,}1 - \sqrt[N_F]{h_p/h_к} + (i-1)\frac{1{,}05 - \sqrt[N_F]{h_p/h_к}}{N_F - 1}. \qquad (6)$$

Выполненный впоследствии анализ прокатки крупногабаритных листов [9-10] показал, что реальные распределения обжатий наиболее точно отображаются показателем $\eta_{\Sigma\,i}/\eta_{\Sigma}$, где $\eta_{\Sigma\,i} = H/h_{1i}$ – коэффициент накопленного обжатия от начальной толщины до толщины h_{1i}. Для чистовой стадии $i = 1,...,N_F$ и $H = h_p$. Для черновой стадии необходимо учитывать схему прокатки. Например, если применяются схемы с разбивкой ширины, то $H = H_{сл}(1 - B_{сл}/b_к)$, где $B_{сл}$ и $b_к$ – ширина сляба и конечного раската. Если прокатка выполняется по схемам простая продольная и поперечная без разбивки ширины, то $H = H_{сл}$. В первом случае $i = N_{\Delta b} + 1,...,N_R$ (здесь $N_{\Delta b}$ – число проходов при разбивке ширины), а во втором – $i = 1, ...,N_R$.

Поскольку N_R и N_F могут принимать различные значения в зависимости от условий прокатки, рассмотрели показатель $\eta_{\Sigma\,i}/\eta_{\Sigma}$ в связи с отношением номера прохода i к числу проходов N. Предварительный анализ показал, что и на черновой (рис. 4,а), и на чистовой стадиях зависимости $\eta_{\Sigma\,i}/\eta_{\Sigma} = \hat{\varphi}(i/N)$ возрастающие, а их наилучшим отображением является экспоненциальная аппроксимация.

Анализ 110 режимов деформации при прокатке листов толщиной 11-53 мм и шириной 1970-3890 мм из различных марок стали (σ_0=78-102 МПа) при совместном рассмотрении черновой и чистовой стадий подтвердил сделан-

ные ранее выводы: зависимость $\eta_{\Sigma i}/\eta_{\Sigma} = \hat{\varphi}(i/N)$ возрастающая и является экспоненциальной (рис. 4,а). Уравнение линии:

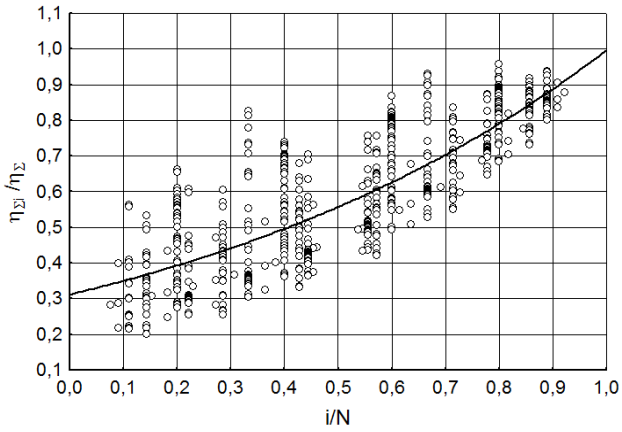
$$\eta_{\Sigma i}/\eta_{\Sigma} = 0{,}312\,exp(1{,}622 i/N);$$

$$(R^2 = 0{,}6652;\ F_p = 2280{,}9128;\ F_{95} = 3{,}8496).$$

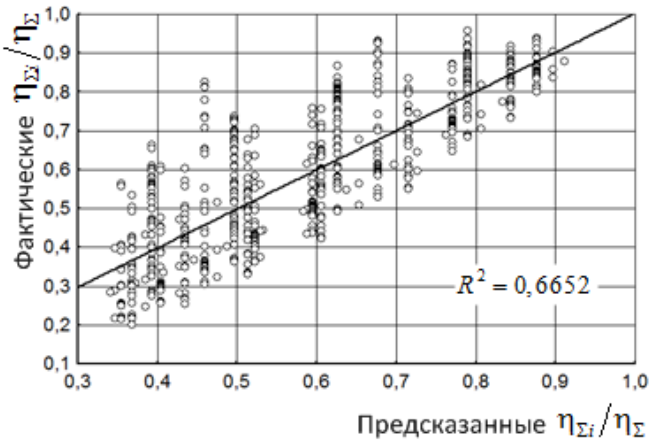
Однако парная аппроксимация (7) объясняет лишь 66,5% изменчивости показателя $\eta_{\Sigma i}/\eta_{\Sigma}$ (R^2= 0,6652; рис. 4,б). Существенно лучший результат был получен при использовании множественной аппроксимации:

$$\eta_{\Sigma i}/\eta_{\Sigma} = \left(0{,}688 - 0{,}0006\sigma_0 - 0{,}171\sqrt{\eta_{\Sigma}}\right)exp(1{,}442 i/N);$$

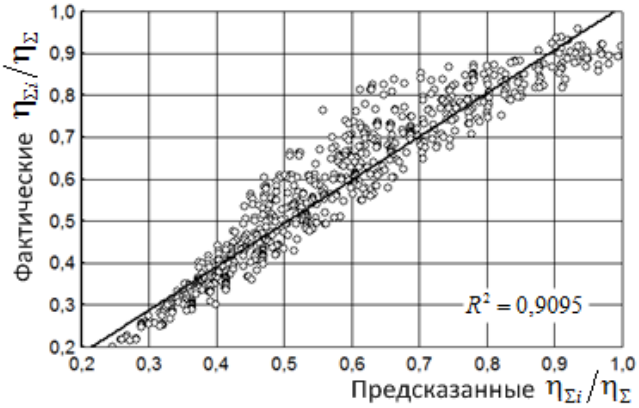
$$(R^2 = 0{,}9095;\ F_p = 3838{,}9945;\ F_{95} = 2{,}6126).$$



а



б



в

Рис. 4. Зависимость относительного накопленного коэффициента деформации от отношения номера прохода к числу проходов без дифференциации по стадиям прокатки (а) и диаграммы соответствия между фактическими данными и результатами расчета:
б – по формуле (7); в – по формуле (8)

За счет учета в зависимости (8) влияния прочности металла (переменная σ_0) и величины коэффициента суммарного обжатия объясненная доля дисперсии возросла практически до 91% (R^2=0,9095; рис. 4,в). Таким образом, если известны коэффициент суммарного обжатия η_Σ и количество проходов N, за которое это обжатие осуществлено, за i проходов ($i=1,...,N$) коэффициент накопленного обжатия достигнет величины

$$\eta_{\Sigma i} = \eta_\Sigma \left(0{,}688 - 0{,}0006\sigma_0 - 0{,}171\sqrt{\eta_\Sigma}\right) exp\left(1{,}442 i/N\right), \tag{8}$$

а толщина после i-го прохода

$$h_i = H/\eta_{\Sigma i}\,. \tag{9}$$

На рис. 5 приведена блок-схема алгоритма синтеза режима обжатий при чистовой прокатке на ТЛС.

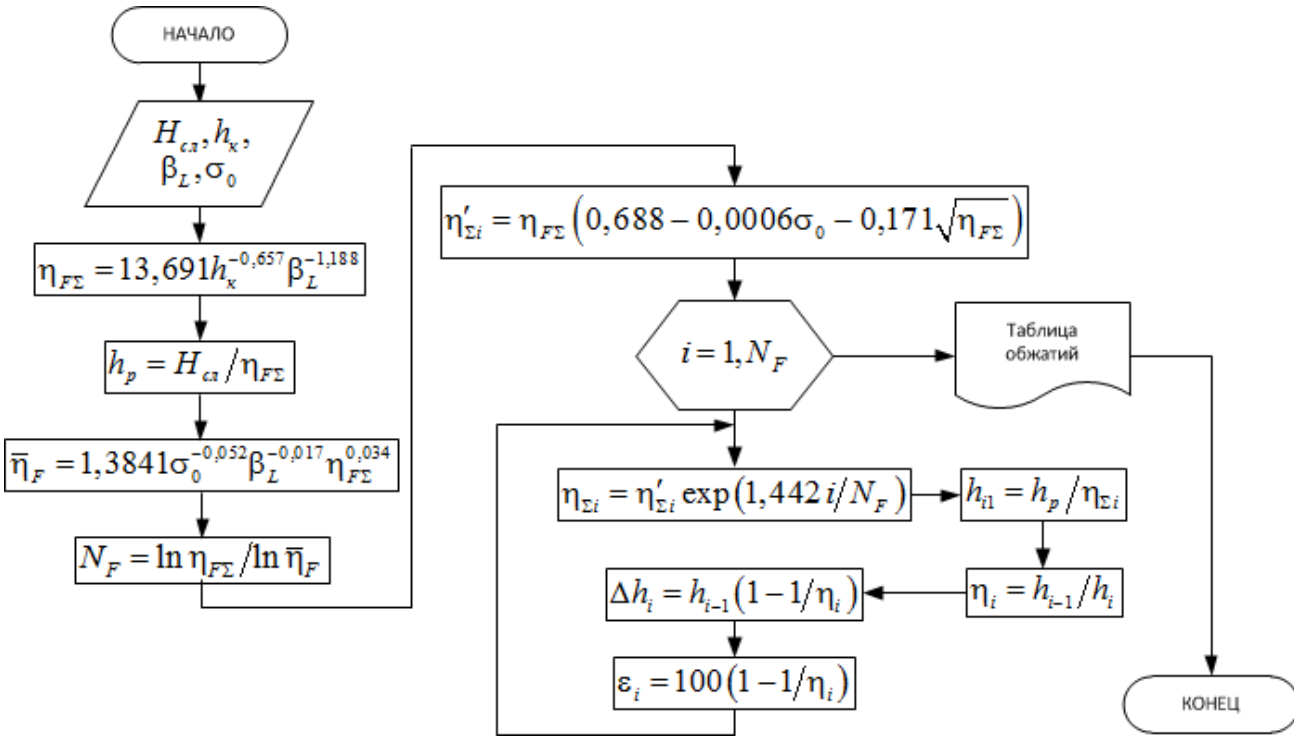


Рис. 5. Алгоритм синтеза режима обжатий при чистовой прокатке крупногабаритных листов

Исходными данными являются толщина сляба $H_{сл}$ и конечного раската $h_к$, предел текучести стали при стандартных условиях пластометрических испытаний σ_0 и коэффициент использования бочки рабочих валков $\beta_L = b_к / L_p$.

Сначала по формуле (1) определяют коэффициент суммарного обжатия $\eta_{F\Sigma}$, с использованием которого вычисляют толщину промежуточного раската h_p. Далее по формуле (4) рассчитывают средний коэффициент обжатия при чистовой прокатке $\overline{\eta}_F$ и определяют количество чистовых проходов N_F. Перед началом расчетов характеристик деформации по проходам определяется постоянная для заданных условий часть зависимости (8) $\eta'_{\Sigma i} = \eta_{F\Sigma}\left(0{,}688 - 0{,}0006\sigma_0 - 0{,}171\sqrt{\eta_{F\Sigma}}\right)$. Расчет характеристик деформации выполняют в цикле от $i = 1$ до $i = N_F$, а итогом расчетов являются значения толщин полосы h_{i1}, коэффициентов обжатия η_i, абсолютных Δh_i и относительных ε_i обжатий, которые затем представляются в виде таблицы обжатий.

Библиографический список

1. Прогнозирование результативности процесса прокатки на толстолистовом стане 5000 в условиях ОАО «ММК» / М.И.Румянцев, В.М.Салганик, Д.Е.Малаховский и др. // Труды 7 конгресса прокатчиков. Том 1. М.: ОАО Черметинформация, 2007. С. 556-560.

2. Моделирование процесса прокатки и охлаждения на толстолистовом стане для оценивания концептуальных проектных технических и технологических решений в условиях неопределенности основных параметров оборудования / М.И.Румянцев, Д.Е.Малаховский, В.С.Митасов и др. // Производство проката. 2009. № 7. С. 24-32.

3. Автоматизированное проектирование технологии горячей прокатки высокопрочной стали для автомобилестроения на широкополосных станах различных типов / М.И.Румянцев, И.Г.Шубин, А.О.Попов и др. // Черные металлы. 2012. № 7. С. 17-21.

4. Литовченко Н.В. Станы и технология листовой прокатки. М.: Металлургия, 1979. 272 с.

5. Контролируемая прокатка / В.И.Погоржельский, Д.А.Литвиненко, Ю.И.Матросов, А.В.Иваницкий. М.: Металлургия, 1979. 184 с.

6. Рациональные режимы прокатки толстых листов / Ю.В.Коновалов, К.Н.Савранский, А.П.Парамошин, В.Я.Тишков. Киев: Техника, 1988. 172 с.

7. Румянцев М.И. Методика разработки режимов листовой прокатки и ее применение // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И.Носова. 2003. № 3. С. 16-18.

8. Обоснованный выбор режима обжатий в чистовой группе широкополосного стана горячей прокатки / В.М.Салганик, М.И.Румянцев, А.Г.Соловьев, Д.С.Цыбров // Производство проката. 2010. №5. С. 16-20.

9. Анализ параметров и результативности прокатки в условиях ОАО «ММК» листов из стали марки D32 для судостроения / М.И.Румянцев, С.В.Денисов, П.А.Стеканов, А.А.Кузьмин // Совершенствование технологии в ОАО «ММК»: сб. науч. тр. Вып. 16. Магнитогорск: ОАО «Полиграфия», 2011. С. 111-120.

10. Анализ параметров и результативности прокатки крупногабаритных листов для судостроения в условиях ОАО «ММК» / М.И.Румянцев, С.В.Денисов, А.А.Кузьмин и др. // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: материалы 70-й научно-технической конференции. Магнитогорск: ФГБОУ ВПО «МГТУ им. Г.И. Носова», 2011. С. 238-241.

Н.Н. Огарков, Е.С. Шеметова
ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова»

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УПРУГОЙ КОНТАКТНОЙ ДЕФОРМАЦИИ ВОЛОКИ С АППРОКСИМАЦИЕЙ РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ГИПЕРБОЛИЧЕСКОЙ ЗАВИСИМОСТЬЮ

Авторами предложено аппроксимировать форму рабочего канала волоки гиперболической зависимостью. С использованием решения для двух криволинейных поверхностей с различными значениями кривизны и пересекающимися осями получены формулы для расчета упругой деформации волоки в осевом и диаметральном сечениях для различных материалов волоки и проволоки.

Ключевые слова: упругая деформация, волока, гиперболическая рабочая поверхность, проволока.

Практика показывает, что в процессе волочения участок сопряжения конической части с цилиндрической изнашивается наиболее интенсивно и поэтому место сопряжения принимает криволинейную форму. Анализ формы рабочей и калибрующей частей волоки показывает, что наиболее близкой аппроксимацией формы сопряжения деформирующей и калибрующей частей в осевом сечении является гиперболическая зависимость:

$$i^2 = y^2 - ctg^2\left(\frac{\beta}{2}\right)x^2, \qquad (1)$$

где β – угол при вершине асимптот гиперболы;

i – постоянная гиперболы;

x и y – соответственно текущие значения координаты по осям.

Применительно к процессу волочения (рис. 1) можно принять $\beta/2 \approx \pi/2 - a$, где a – полуугол конусности волоки.

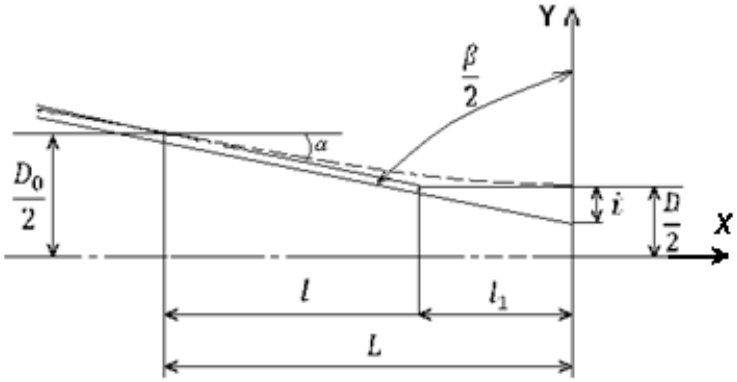


Рис.1. Схема аппроксимации осевого сечения рабочего канала волоки

В точке входа проволоки в очаг деформации имеем:

$$y = \frac{D_0 - D}{2} + i,$$

где D_0 – диаметр проволоки на входе в волоку;

D – диаметр проволоки на выходе из волоки.

Подставляя значения y в уравнение (1) и решая относительно постоянной гиперболы, имеем:

$$i = \frac{x^2}{D_0 - D} tg^2\alpha - \frac{D_0 - D}{4}. \qquad (2)$$

Абсцисса x определяется протяженностью зоны контакта деформируемого материала с волокой L. Согласно рисунку $L = l + l_1$, где l – протяженность зоны очага деформации вдоль оси в конической части волоки; l_1 – протяженность калибрующей зоны волоки.

Подставляя значение $x = l + l_1$ в уравнение (2) и используя соотношение $(D_0 - D)/(2l) = tg\alpha$, имеем:

$$i = l_1\left(1 + \frac{l_1 tg\alpha}{D_0 - D}\right) tg\alpha. \qquad (3)$$

Поскольку на практике длина калибрующей зоны обычно принимается равной диаметру, то можно записать:

$$i = D\left(1 + \frac{tg\alpha}{\sqrt{\mu} - 1}\right)tg\alpha\,, \tag{4}$$

где μ – вытяжка деформируемого материала.

Радиус кривизны гиперболы в различных ее точках является величиной переменной и определяется выражением [1]:

$$R = \frac{(1 + y')^2}{y''}\,, \tag{5}$$

где y' и y'' – соответственно производные первого и второго порядка.

Дифференцируя уравнение (1) и подставляя в уравнение (5), имеем:

$$R = \left(\frac{1}{i^2}\right)ctg\left(\frac{\beta}{2}\right)\left[\left(1 + tg^2\left(\frac{\beta}{2}\right)\right)y^2 - i^2\right]^{3/2}. \tag{6}$$

В точке выхода деформируемого материала из волоки $y = i$ и поэтому уравнение (6) принимает вид:

$$R = D\left(ctg\alpha + \frac{1}{\sqrt{\mu} - 1}\right). \tag{7}$$

В точке входа деформируемого материала в очаг деформации $y = (D_0 - D)/2 + i$ и, следовательно,

$$R_0 = \frac{D \cdot ctg\alpha}{\left(1 + \frac{tg\alpha}{\sqrt{\mu} - 1}\right)^2}\left[\left(1 + \frac{tg\alpha}{\sqrt{\mu} - 1}\right)^2 + \left(1 + ctg^2\alpha\right)\left(\frac{\left(\sqrt{\mu} - 1\right)^2}{4} + \left(\sqrt{\mu} - 1\right)\right)tg\alpha + tg^2\alpha\right]^{3/2}, \tag{8}$$

где R_0 – наружный радиус оболочки.

Таким образом, радиус кривизны рабочей поверхности волоки в осевом сечении в точках входа и выхода протягиваемого металла из волоки зависит от

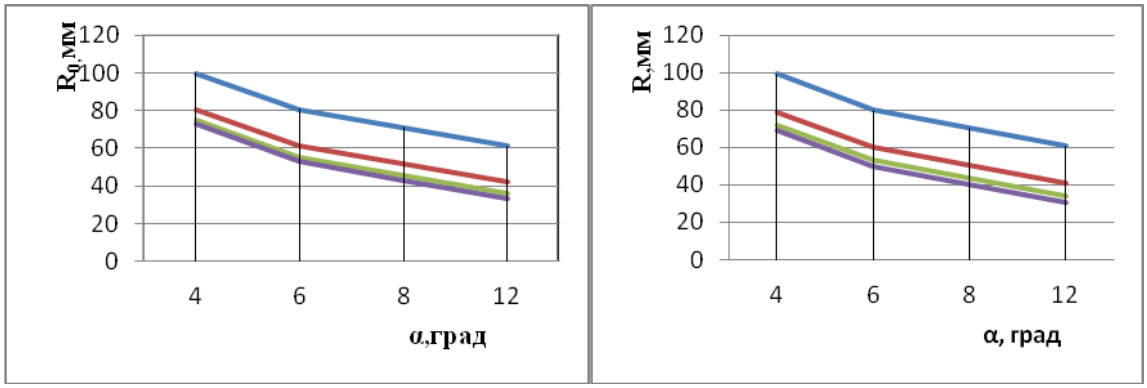
диаметра протягиваемой проволоки, угла конусности волоки и величины вытяжки. Применительно к протягиванию проволоки диаметром 4 мм радиусы кривизны R и R_0 приведены в табл. 1.

Таблица 1

Радиус кривизны рабочей поверхности волоки в осевом сечении в точках входа (R_0) и выхода (R) протягиваемого металла из волоки диаметром 4 мм

α, *град.*	μ				
	1,1	1,2	1,4	1,6	1,8
4	139,1 / 139,4	99,1 / 99,8	79,03 / 80,66	72,03 / 75,11	68,91 / 73,1
6	120,0 / 120,3	79,9 / 80,6	59,89 / 61,31	53,1 / 55,50	49,76 / 53,16
8	110,4 / 110,7	70,37 / 71,0	50,29 / 51,62	43,56 / 45,7	40,17 / 43,19
12	100,77 / 101,8	60,7 / 61,34	40,65 / 41,92	33,9 / 35,88	30,52 / 33,23
Примечание: в таблице числитель – R_0, мм; знаменатель – R.					

Изменение радиуса кривизны рабочей поверхности волоки графически иллюстрируется рис. 2.



а б

Рис. 2. Изменение радиуса кривизны рабочей поверхности волоки в осевом сечении в точках: а) входа протягиваемого металла из волоки; б) выхода протягиваемого металла из волоки

Сопоставление значений радиусов кривизны, рассчитанных по зависимостям (7) и (8), показывают, что при вытяжке $\mu = 1{,}1$ расхождение между ними составляет 2-3%, а при вытяжке $\mu = 1{,}8$ эта величина – 6-8% в диапазоне изменений полуугла волоки 4-12 град. Соответственно при небольших значениях вытяжки радиус кривизны канала R волоки в осевом сечении можно рассчитывать по зависимости (7).

Знание значений R_1 и радиуса проволоки на выходе r позволяет рассчитать упругую деформацию волоки (табл. 2) по ранее полученным зависимостям в осевом сечении [2]:

$$a = m\sqrt[3]{\sigma_s(1+\sin\alpha)\frac{\pi}{4\sin\alpha}\left(D_0^2 - D^2\right)\frac{3}{4}\frac{[(1-\nu_1^2)\mathrm{E}_2 + (1-\nu_2^2)\mathrm{E}_1]}{\mathrm{E}_1\mathrm{E}_2\left(R \pm r\right)}},$$

$$b = m\sqrt[3]{\sigma_s\left(1+\sin\alpha\right)\frac{4}{4\sin\alpha}\left(D_0^2 - D^2\right)\frac{3}{2}\frac{[(1-\nu_1^2)\mathrm{E}_2 + (1-\nu_2^2)\mathrm{E}_1]Rr}{2\mathrm{E}_1\mathrm{E}_2\left(R \pm r\right)}},$$

где $a,\ b$ – упругие деформации волоки вдоль осевого сечения и по диаметру;

σ_s – напряжение текучести деформируемого материала;

$\nu_1,\ \nu_2$ – коэффициенты Пуассона материала волоки и деформируемого материала;

$E_1,\ E_2$ – модули упругости материала волоки и деформируемого материала.

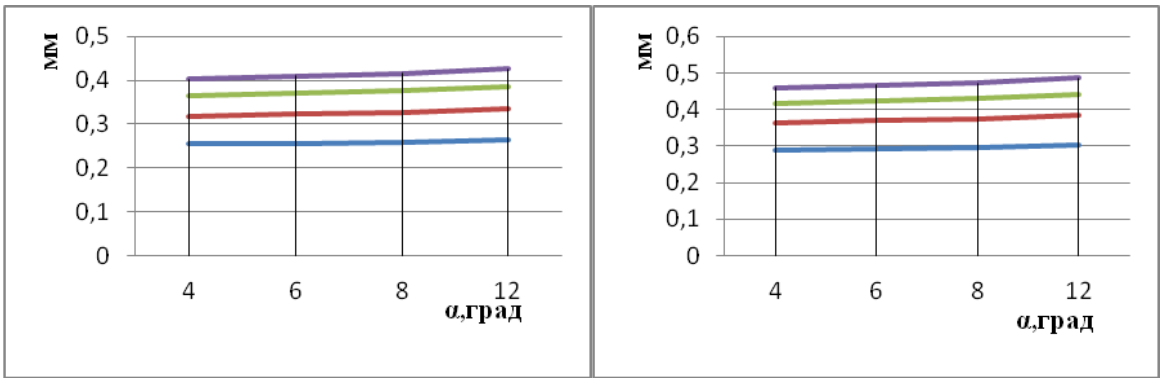
Изменение упругой деформации волоки в осевом сечении в зависимости от угла конусности волоки для различных значений вытяжки представлено графически (рис. 2).

Полученные результаты показывают, что влияние угла конусности волоки на ее упругую деформацию менее значительно по сравнению с влиянием вытяжки материала при волочении.

Таблица 2

Увеличение контактной поверхностза счет упругой деформации волоки в осевом сечении пр протягивании проволоки диаметром 4мм из стали 08кп

α, *град.*	μ				
	1,1	1,2	1,4	1,6	1,8
4	0,1999 0,2284	0,2548 0,2884	0,3189 0,3643	0,3656 0,4177	0,4028 0,4602
6	0,2022 0,2310	0,2556 0,2920	0,3233 0,3693	0,3711 0,4239	0,4091 0,4674
8	0,2044 0,2383	0,2586 0,2954	0,3275 0,3741	0,3762 0,4298	0,4151 0,4725
12	0,2086 0,2383	0,2642 0,3018	0,3353 0,3831	0,3858 0,4407	0,4262 0,4869
Примечание: числитель: материал волоки – твердый сплав ВК8; знаменатель: материал волоки – быстрорежущая сталь Р6М5					



а б

Рис. 3. Изменение контактной поверхности за счет упругой деформации волоки в осевом сечении при протягивании проволоки диаметром 4мм:

а) материал волоки – твердый сплав ВК8;

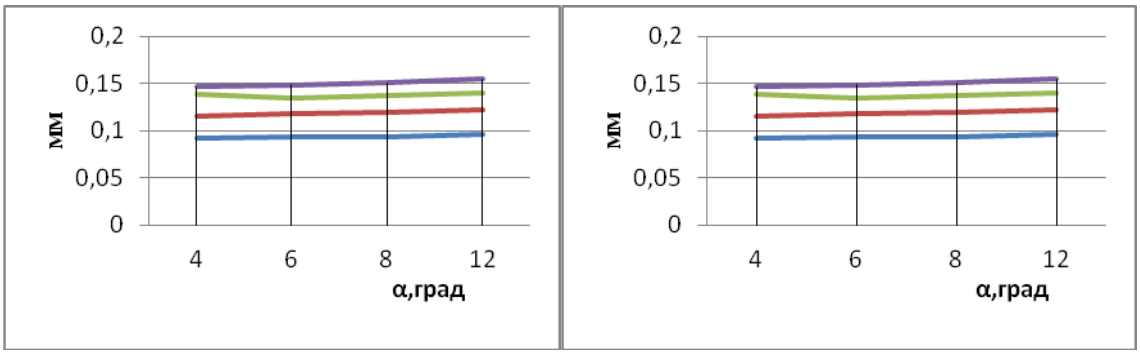
б) материал волоки – быстрорежущая сталь Р6М5

Изменение диаметра волоки в результате упругой деформации для аналогичных условий волочения приведено в табл. 3 и иллюстрируется графиками на рис. 4.

Таблица 3

Увеличение диаметра проволоки за счет упругой контактной деформации волоки при волочении проволоки диаметром 4 мм из стали08кп

α, *град.*	μ				
	1,1	1,2	1,4	1,6	1,8
4	0,0636 0,0726	0,0811 0,0926	0,1015 0,1159	0,1163 0,1387	0,1282 0,1464
6	0,0643 0,0734	0,0813 0,0928	0,1029 0,1175	0,1181 0,1349	0,1302 0,1487
8	0,065 0,0742	0,0823 0,0940	0,1042 0,1190	0,1199 0,1369	0,1321 0,1509
12	0,0664 0,0758	0,0841 0,0961	0,1067 0,1219	0,1228 0,1402	0,1356 0,1549
Примечание: числитель: материал волоки – твердый сплав ВК8; знаменатель: материал волоки – быстрорежущая сталь Р6М5					



а б

Рис. 4. Изменение диаметра проволоки за счет упругой контактной деформации волоки и проволоки диаметром 4мм:

а) материал волоки – твердый сплав ВК8;

б) материал волоки – быстрорежущая сталь Р6М5

Таким образом, можно сказать, что увеличение диаметра проволоки за счет упругой контактной деформации волоки из быстрорежущей стали Р6М5 в 1,15 раза больше, чем из твердого сплава ВК8.

Полученные результаты рекомендуется использовать при расчетах приращения длины очага деформации, а также приращения диаметра деформируемой проволоки с учетом упругой деформации волоки.

Библиографический список

1. Корн Г., Корн Т.С. Справочник по математике. Изд. 4-е. Пер с англ. М.: Наука, 1977. – 832с.

2. Шеметова Е.С., Огарков Н.Н. Оценка длины контакта криволинейной волоки с деформируемым материалом с учетом ее упругой деформации // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2010. №2.

Д.И. Кинзин

ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова»

ЗАНИМАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ. РЕШЕНИЕ ПЕРВОЙ ЗАДАЧИ И УСЛОВИЕ ВТОРОЙ*

Рассмотрим решение задачи, опубликованной в первом номере журнала.

Коэффициент температурной усадки, приведенный в условии задачи, показывает, во сколько раз изменятся линейные размеры раската при охлаждении. Однако в условии задачи сказано, что при остывании раскат был зажат в прокатных валках и, следовательно, длина раската не могла свободно уменьшаться. Таким образом, все изменение объема металла в процессе охлаждения произошло за счет уменьшения поперечных размеров раската.

Отсюда получаем, что высота раската $H = 200 \big/ \sqrt{1{,}015^3} \approx 195{,}583$ мм.

Так как высоту раската вальцовщик не вычислял, а измерял с помощью штангенциркуля, точность которого ограничена 0,05 мм, то правильный ответ составит 195,60 мм.

Данный пример показывает, что измеряя недокаты нужно быть очень внимательным, так как очевидные на первый взгляд факты вовсе таковыми не являются. Особенно это касается недокатов, полученых в результате аварийного застревания раската в непрерывном стане, а именно: в результате аварии и получаются почти все недокаты.

Необходимо помнить, что аварийный режим работы стана может иметь существенно иные технологические параметры по сравнению со штатным режимом и технологической картой. Данное обстоятельство может стать причиной ложных выводов и далеко идущих последствий.

* Начало читайте в первом выпуске журнала

Следующая задача проще (во всяком случае, так представляется автору), но не менее интересная.

Для чего калибровщику весы? Вы скажете: «Для измерения линейной плотности проката». И будете правы, но не только для этого. Весы могут быть полезны при решении различных задач, например, при измерении площадей геометрических фигур. Да, да, не удивляйтесь!

Допустим, калибровщик отобрал недокат после одной из клетей стана при опытной прокатке специального профиля сложной геометрической формы. Обработав на станке торец недоката, калибровщик приложил его к листу ватмана и обвел остро заточенным карандашом по периметру. Как назло у калибровщика под рукой не оказалось ни планиметра, ни компьютера со сканером и даже миллиметровки не нашлось. Были только ножницы, линейка и аптечные весы. Как с помощью этих инструментов определить площадь фигуры, вычерченной на ватмане?

Кому-то данная задача покажется надуманной, не имеющей отношения к реальности, но это не так. Зачастую весы – это самый быстрый, а то и самый точный инструмент для определения площадей геометрических фигур, изображенных на бумаге.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Волков Константин Владимирович – технический директор по производству рельсового проката ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК», г. Новокузнецк. Тел. 8(3843)791256. E-mail: Konstantin.Volkov2@evraz.com.

Ишметьев Евгений Николаевич – докт. техн. наук, председатель совета директоров ЗАО «КонсОМ СКС», г. Магнитогорск. E-mail: eni@konsom.ru.

Каледина Ольга Сергеевна – студент кафедры технологий, сертификации и сервиса автомобилей ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. Тел. 89525177698. E-mail: eiename@mail.ru.

Кинзин Дмитрий Иванович – канд. техн. наук, доцент кафедры обработки металлов давлением ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. Область исследований: теория и технология сортовой прокатки. Тел. 89068722849. E-mail: kinzin@mail.ru.

Копылов Игорь Всеволодович – главный калибровщик технического управления ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК», г. Новокузнецк. Тел. 8(3843)599212. E-mail: Igor.Kopylov@evraz.com.

Левандовский Сергей Анатольевич – канд. техн. наук, доцент кафедры обработки металлов давлением ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. Область исследований: управление качеством сортопрокатных технологических систем. E-mail: levandovskiy@mail.ru.

Лимарев Александр Сергеевич – канд. техн. наук, доцент кафедры технологий, сертификации и сервиса автомобилей ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. Область исследований: управление качеством сортопрокатных технологических систем. Тел. 89048040221. E-mail: aslimarev@mail.ru.

Луценко Андрей Николаевич – канд. техн. наук, директор по производству – главный инженер дивизиона «Северсталь Российская сталь» ОАО «Северсталь», г. Череповец. E-mail: severstal@severstal.com.

Моллер Александр Борисович – докт. техн. наук, профессор кафедры обработки металлов давлением ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. Область исследований: теория и технология сортовой прокатки, управление качеством сортопрокатных технологических систем. E-mail: moller@hotbox.ru.

Новицкий Руслан Витальевич – начальник сортового цеха ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат», г. Магнитогорск. E-mail: novitskiy.rv@mmk.ru.

Огарков Николай Николаевич – докт. техн. наук, профессор, заведующий кафедрой технологии машиностроения ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. Область исследований: биметаллическая проволока. Тел. 8(3519)298469. E-mail: mgtu@magtu.ru.

Ромадин Андрей Юрьевич – начальник отдела по прокатному и сталепрокатному переделам технического управления ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК», г. Новокузнецк. Тел. 8(3843)599515. E-mail: Andrey.Romadin@evraz.com.

Румянцев Михаил Игоревич – канд. техн. наук, профессор кафедры обработки металлов давлением ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. Область исследований: совершенствование технологии производства листового проката на основе развития методологии анализа листопрокатных технологических систем. E-mail: mihigrum@mail.ru.

Рычков Сергей Сергеевич – инженер-технолог 2-й категории лаборатории сортового проката ЦЛК ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат», г. Магнитогорск. Область исследований: теория и технология сортовой прокатки. E-mail: serge.rychkov@gmail.com.

Саранча Сергей Юрьевич – научный сотрудник кафедры обработки металлов давлением ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: elf-jedd@yandex.ru.

Трайно Александр Иванович – докт. техн. наук, профессор института металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН, г. Москва.

Тулупов Олег Николаевич – докт. техн. наук, профессор кафедры обработки металлов давлением ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. Область исследований: теория и технология сортовой прокатки, управление качеством сортопрокатных технологических систем. E-mail: o.tulupov@mail.ru.

Шеметова Елена Сергеевна – аспирант, ассистент кафедры технологии машиностроения ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. Область исследований: биметаллическая проволока. Тел. 89630959467. E-mail: hellensh88@list.ru.