

УДК 621.771.06:621.771.251

Коренко М. Г.
Староста Н. В.
Иванов А. А.
Букотин Д. Е.
Найденов В. С.

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПРОКАТКИ СОРТОВЫХ ПОЛОСОВЫХ ПРОФИЛЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАЗГОННЫХ КАЛИБРОВ

Расширение сортамента, повышение качества и снижение себестоимости горячекатаных сортовых полосовых и ленточных заготовок являются одними из основных задач, связанных с дальнейшим развитием металлургического комплекса Украины. Многообразие используемых в этом случае технологических схем, наряду с повышением уровня требований к основным показателям качества готового металлопроката, делает актуальным разработку научно обоснованных практических рекомендаций по совершенствованию действующих и созданию новых высокоэффективных технологий.

В настоящее время процессы горячей прокатки сортовых полосовых и ленточных заготовок в чистовых рабочих клетях сортовых прокатных станов, формирующих основные показатели качества готовой металлопродукции, изучены достаточно полно с точки зрения инженерных, а в ряде случаев и численных методов расчета [1–3]. Несмотря на общеизвестные достоинства и отработанность технологии прокатки сортовых полосовых и ленточных заготовок, можно указать на ряд недостатков, существенно снижающих эффективность производства сортового металлопроката [1, 4, 5]:

- сложность подготовки и настройки рабочих валков;
- неравномерность деформации металла в калибрах нередко является причиной образования дефектов на полосе и повышенного износа валков;
- относительно небольшой зазор между валками в сочетании с перепадом температур приводят к появлению поверхностных дефектов;
- малая работоспособность основных элементов валкового узла из-за повышенного износа калибров и недостаточно полного использования длины бочки рабочих валков;
- относительно низкая производительность сортовых станов.

Основным производителем в Украине узких полосовых заготовок является мелко-сортный стан 250-2 ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог». При этом следует указать на то, что на данном стане ограничена возможность получения полос шириной более 80 мм, в связи с чем актуальной является задача по разработке и освоению технологии прокатки новых профилей без существенных изменений в составе действующего оборудования.

Целью работы является расширение сортамента, повышение качества готовой металлопродукции и обеспечение экономии материальных ресурсов при горячей прокатке сортовых полосовых и ленточных заготовок на основе развития методов автоматизированного расчета и проектирования технологического процесса горячей прокатки полосовых и ленточных заготовок.

С точки зрения практических рекомендаций по совершенствованию технологических режимов производства горячекатаных сортовых полосовых и ленточных заготовок следует указать на ряд технических решений, основанных на повышении эффективности подготовки исходных заготовок к последующей горячей прокатке, а также на совмещении процессов прокатки в разгонных калибрах и плющения получаемых заготовок [6, 7].

Разгонные калибры применяются для получения требуемой ширины полосы, когда диаметр валков не достаточно большой или нет возможности применения заготовок большого размера. При этом форма таких калибров способствует развитию при прокатке вынужденного уширения, в результате чего становится возможным расширение сортамента сортопрокатного стана без существенных капитальных затрат. Кроме того, преимуществами применения разгонных калибров при сортовой прокатке являются [5]:

– сокращение удельной энергоемкости процесса, достигающее в отдельных случаях 40–50 %, а также значительное сокращение расхода валков и увеличение продолжительности их службы, что объясняется отсутствием трения о боковые стенки калибров и уменьшением удельных контактных напряжений, действующих со стороны деформируемого металла на рабочие валки;

– сокращение расхода и парка рабочих валков, обусловленное более рациональным использованием бочки каждого из них, при этом увеличение службы калибров и более рациональное размещение их по длине бочки валка позволяет сократить число перевалок, что, в конечном счете, ведет к увеличению производительности прокатного стана;

– устранение опасности образования заусенцев, а, следовательно, и закатов;

– более широкая возможность использования одних и тех же калибров для получения прокатываемого профиля нескольких смежных типоразмеров за счет перемещения верхнего рабочего валка, что также обуславливает повышение производительности и снижение себестоимости готовой металлопродукции.

Следует указать на то, что в работе [6] вынужденное уширение рассматривается как источник возникновения поверхностных дефектов на прокатываемой полосе, что обуславливает необходимость в повышении степени научной обоснованности принимаемых в каждом конкретном случае технических решений на основе использования современных методов математического моделирования напряженно-деформированного состояния металла сортовых заготовок при их горячей прокатке в разгонных калибрах и плющении.

При использовании одномерных подходов в основу математического обеспечения по автоматизированному расчету и проектированию технологических режимов процессов горячей прокатки сортовых заготовок были положены результаты работ [2, 3], при этом расчетная схема интегрального очага деформации включала в себя зону пластического и упругого формоизменения, а также зоны опережения на рабочих валках. Непосредственно математическое моделирование заключалось в численном разбиении зоны пластического формоизменения на i -ые и зоны упругого формоизменения на j -ые элементарные объемы с последующим рекуррентным решением конечно-разностных форм баланса энергетических затрат. Основной отличительной особенностью данных решений является максимально полный учет геометрической формы очага деформации, касательных компонент девиатора напряжений в условии пластичности, использование закона пластического трения, а также учет реального характера распределений во времени степени, скорости, температуры деформации и междеформационного разупрочнения. Кроме того, структура данных математических моделей включала в себя организацию итерационных процедур по расчету протяженности зон опережения исходя из условия равенства расчетных и заданных значений напряжений переднего натяжения, а также по учету упругого сплющивания рабочих валков, организацию численного интегрирования с целью определения энергосиловых параметров процесса и расчет степени использования запаса пластичности прокатываемого металла [2, 3].

Решение задач по расчету процесса горячей прокатки в разгонных калибрах, требующее трехмерного подхода, было осуществлено на основе метода конечных элементов, а полученные в этом случае результаты показали, что в этом случае имеет место не только продольное, а и поперечное течение металла, прогнозируемое количественно на основе полученных математических моделей [8]. Следует указать на то, что использование численных подходов характеризуется высокой трудоемкостью и значительными затратами машинного времени, что не позволяет использовать их в рамках современных систем автоматического регулирования. В соответствии с этим в сочетании с элементами теории планируемого эксперимента, был разработан комплекс регрессионных математических моделей, при этом относительная погрешность не превысила 1 %.

Помимо напряженно-деформированного состояния в рамках данного исследования были разработаны математические модели точности результирующих характеристик, заключающихся в разбиении всей длины прокатываемой заготовки на конечное множество j -ых поперечных сечений, аналитическом описании изменения исходной толщины, температуры,

механических свойств и величины предварительного межвалкового зазора при последующем численном итерационном решении упругопластической системы «рабочая клетка – деформируемая заготовка».

В результате экспериментальных исследований, проведенных на промышленно-лабораторном стане 105/260 × 250 ДГМА, а также на лабораторном мини-стане 100 × 100 ДГМА подтверждена достаточная степень достоверности полученных численных математических моделей процесса горячей прокатки сортовых полосовых профилей. В частности, установлено, что с точки зрения сопоставления расчетных и эмпирических распределений, приведенных к единице ширины значений силы и суммарного момента прокатки, средние выборочные значения их соотношений находились в диапазоне 0,97...1,04, а минимальные и максимальные значения доверительных интервалов, полученные с учетом доверительной вероятности 0,95 соответствовали $\pm 0,036$ для силы и $\pm 0,041$ для суммарного момента прокатки.

В соответствии с изложенным выше на основе полученных теоретических решений разработаны схемы реализации процесса прокатки сортовых полосовых профилей в разгонных калибрах на мелкосортных непрерывных станах. При этом в связи с развитием вынужденного уширения в отдельных калибрах предусмотрен периодический контроль ширины раската в специальных вертикальных клетях. На рис. 1 показаны существующая и предложенная схемы прокатки сортового полосового профиля 40 × 4 мм в условиях мелкосортного стана 250-2 ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог».

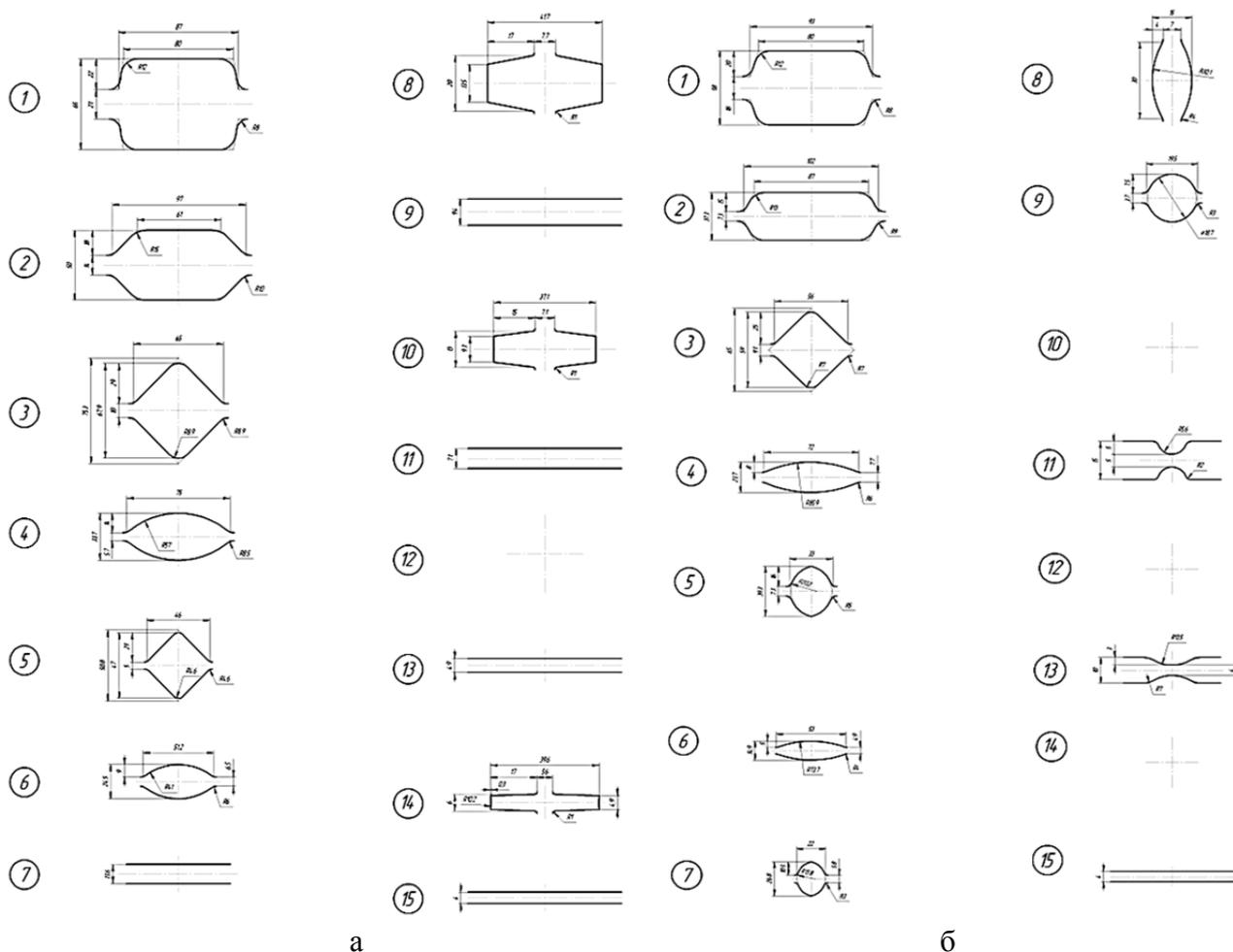


Рис. 1. Существующая (а) и предложенная (б) схемы прокатки сортового полосового профиля 40 × 4 мм на мелкосортном стане 250-2 ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог»

На основе полученных результатов исследований также предложены принципиально новые технологические схемы по совмещению процесса плющения и прокатки в разгонных калибрах (рис. 2) для получения проката по ГОСТ 103-2006 и ГОСТ 7419-90.

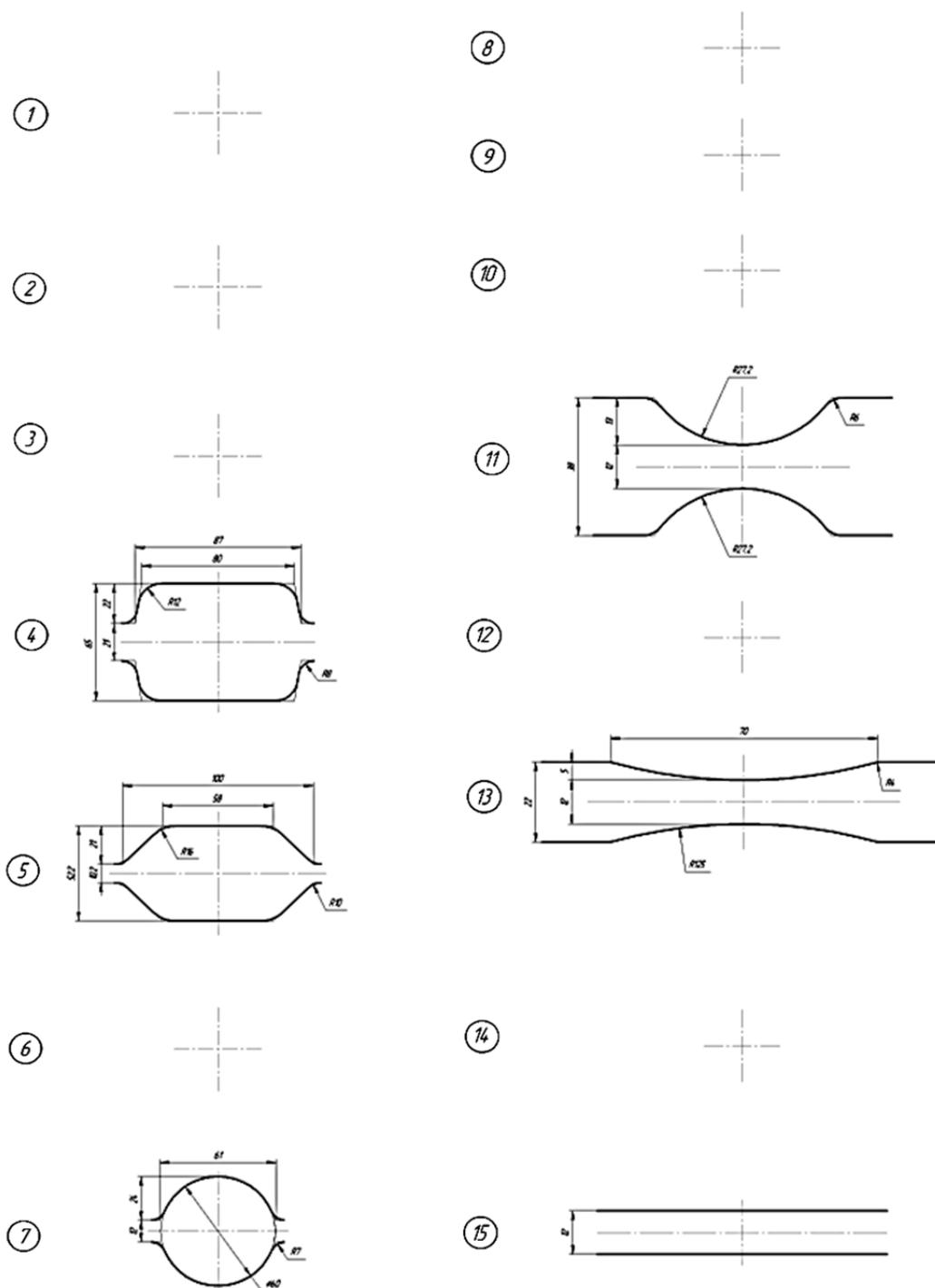


Рис. 2. Схема прокатки сортового полосового профиля 120×12 мм на мелкосортном стане 250-2 ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог»

Опыт промышленной реализации, предложенных технологических и конструктивных решений, подтвердил достаточную степень их эффективности. В частности, использование разгонных калибров и процесса горячего плющения позволило расширить сортамент готовой металлопродукции до трех, четырех, а в ряде случаев и более типоразмеров, получаемых из одной и той же исходной заготовки. Удельная производительность стана в этом случае за счет снижения количества перевалок была повышена на 6–9 %, а величина продольной разнотолщинности получаемых сортовых полосовых заготовок снижена на 5–10 %. Отмеченное свидетельствует о целесообразности достаточно широкого использования рассмотренных технических решений применительно к проектированию технологических режимов работы и калибровок рабочих валков на ряде других мелкосортных станов.

ВЫВОДЫ

На основе численных подходов разработаны методики по автоматизированному расчету и проектированию технологических режимов процессов горячей прокатки сортовых полосовых профилей с использованием разгонных калибров на непрерывных мелкосортных станах, достаточная степень достоверности которых подтверждена экспериментально.

На основе полученных результатов предложены принципиально новые технологические схемы по совмещению процесса плющения и прокатки в разгонных калибрах для получения из одной и той же заготовки сортовых полосовых профилей различного типоразмера.

На основе результатов апробации на мелкосортном стане 250-2 ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог» показано, что реализация предложенных технических решений способствует расширению сортамента, повышению качества и снижению себестоимости и, как следствие, повышению эффективности конкретных промышленных производств.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Николаев В. О. *Технологія виробництва сортового та листового прокату* : підручник / В. О. Николаев, В. Л. Мазур. – Запоріжжя : ЗДІА, 2000. – 257 с.
2. Численное математическое моделирование напряженно-деформированного состояния металла при горячей прокатке относительно тонких лент и полос / А. В. Сатонин, С. С. Настоящая, М. Г. Коренко, В. Г. Переходченко // *Обработка материалов давлением* : сб. науч. тр. – Краматорск : ДГМА, 2010. – № 4 (25). – С. 31–36.
3. Коренко М. Г. *Математическое моделирование напряженно-деформированного состояния металла при горячей прокатке в разгонных калибрах* / М. Г. Коренко // *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. – 2011. – Вып. 4. – С. 54–65.
4. *Прокатка и калибровка фасонных профилей* : справочник / Б. М. Илюкович, И. П. Шулаев, В. Д. Есипов, С. Е. Меркурьев. – М. : Металлургия, 1989. – 312 с.
5. Илюкович Б. М. *Прокатка и калибровка. В 6 т. Т. 1. Основы теории калибровки. Калибровка блюмов и заготовки, кругов и шестригранников, квадратной стали, проволоки и арматуры* : справочник / Б. М. Илюкович, Н. Е. Нехаев, С. Е. Меркурьев ; под. ред. Б. М. Илюковича. – Днепропетровськ : РВА «ДніпроВАЛ», 2002. – 506 с.
6. Пат. 53391 UA, МПК В21В 1/02. *Спосіб виготовлення стрічки плющенням* / В. И. Капланов, В. П. Чумаков, Н. В. Староста, М. Г. Коренко. – № и 201002663 ; заявл. 10.03.2010 ; опубл. 11.10.2010, Бюл. № 19. – 2 с.
7. Пат. 59136 UA, МПК В21В 1/02. *Калібр для виготовлення стрічки плющенням* / В. И. Капланов, В. П. Чумаков, М. Г. Коренко. – № и 2010 10795; заявл. 07.09.2010; опубл. 10.05.2011, Бюл. № 9. – 6 с.
8. *Конечно-элементное математическое моделирование напряженно-деформированного состояния металла ленточных заготовок при их горячем плющении и прокатке в разгонных калибрах* / В. И. Капланов, М. Г. Коренко, А. А. Иванов, А. С. Картавенко // *Обработка материалов давлением* : сб. науч. тр. – Краматорск : ДГМА, 2010. – № 4 (25). – С. 57–62.

Коренко М. Г. – ассистент КМФ НМетАУ;
Староста Н. В. – ассистент КМФ НМетАУ;
Иванов А. А. – ассистент ДГМА;
Букотин Д. Е. – гл. калибровщик ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог»;
Найденов В. С. – ст. калибровщик ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог».

КМФ НМетАУ – Криворожский металлургический факультет Национальной Металлургической академии Украины, г. Кривой Рог.

ДГМА – Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск.

Публичное акционерное общество «АрселорМиттал Кривой Рог», г. Кривой Рог.

E-mail: marinak 2010@bk.ru; amm@dgma.donetsk.ua

Статья поступила в редакцию 07.03.2012 г.