

## Раздел 2 | Машиностроение. Технологические машины и транспорт.

УДК 544.022.344:66.065.5

### ПРИЧИНЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ РОМБИЧНОСТИ НЕПРЕРЫВНОЛИТЫХ ЗАГОТОВОК И МЕРОПРИЯТИЯ ПО ИХ УСТРАНЕНИЮ

М.Е. КЫНЬБАЕВ, Л.С. КИПНИС  
(г. Караганда, КарГТУ, АО «АрселорМиттал Темиртау»)

Дефекты профиля непрерывнолитой заготовки – это дефекты, при которых поперечное или продольное сечение заготовки деформировано относительно заданной геометрической конфигурации. Такие дефекты могут быть связаны с повышенной скоростью или температурой разливки стали, с недостаточным, повышенным или неоднородным охлаждением слитка.[1]

Главной причиной, вызывающей развитие нарушения конфигурации заготовки, является неравномерное наращивание корки слитка в кристаллизаторе.

Разнотолщинная корочка слитка на выходе из кристаллизатора при дальнейшем интенсивном охлаждении слитка будет способствовать развитию высокой ромбичности заготовки.

*Ромбичность* (разность диагоналей), трапециевидность – искажение профиля за-

готовки, образуется как в кристаллизаторе, так и далее, в зоне вторичного охлаждения непрерывнолитых заготовок. Ромбичность является результатом прогрессирующего коробления оболочки слитка, зародившегося в кристаллизаторе и проявляющегося уже на расстоянии 100... 150 мм от мениска (рисунок 1). Оболочка слитка в районе тупых углов, которые уже не имеют контакта со стенками кристаллизатора, затвердевает с меньшей скоростью, чем в районе острых углов, имеющих контакт.

Такое положение сохраняется в течение всего времени пребывания оболочки слитка в кристаллизаторе. Поэтому чем длиннее кристаллизатор, тем, при прочих равных условиях, больше ромбичность заготовок. Она значительно возрастает в течение первой минуты пребывания слитка в зоне вторичного охлаждения. Затем, после выравнивания

толщины оболочки по поперечному сечению, рост ромбичности прекращается. При мягком вторичном охлаждении увеличение её после выхода оболочки из кристаллизатора замедляется. Образование ромбичности в непрерывнолитых заготовках является процессом автокаталитического увеличения разнотолщинности оболочки, образовавшейся вблизи зеркала металла. В ЗВО, рост ромбичности может прекратиться, оставаясь на минималь-

ном уровне, или прогрессировать. Может развиваться от местной, локальной (на отдельном участке одной заготовки), до периодической на нескольких заготовках и до постоянной на всех заготовках данного ручья (ручьев) отдельной плавки или нескольких плавков. Величина и направление может изменяться даже по длине одной заготовки. Трапециевидность более характерна для узких граней прямоугольной заготовки.[2]



Рисунок 1.

### Принципиальная схема центровки промежуточного ковша с кристаллизаторами

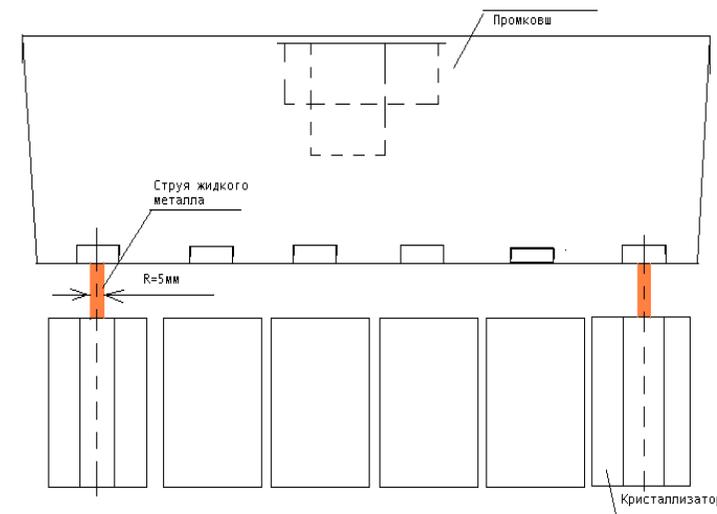


Рисунок 2.

Образование неоднородной корки слитка в кристаллизаторе может быть связано с неточной центровкой струи металла из промежуточного ковша, износом или деформацией профиля гильзы, неравномерным охлаждением слитка ввиду переменного зазора между обечайкой и гильзой кристаллизатора.

Причиной искажения профиля сортовой заготовки может быть разная по периметру заготовки толщина затвердевшей корки металла в кристаллизаторе МНЛЗ. На степень развития этого дефекта также оказывает зона вторичного охлаждения. Интенсивность ох-

лаждения во вторичной зоне должна выбираться таким образом, чтобы температура поверхности заготовки в процессе ее перемещения по ней оставалась примерно постоянной или медленно уменьшалась.

Между роликами устанавливаются трубопроводы это и есть охлаждающие устройства. В последнее время все чаще устанавливают водовоздушное охлаждение (рисунок 3). Орошение заготовки осуществляется при помощи форсунок. Расстояние между форсунками и поверхностью заготовки зависит от размера разливаемого сечения.

Схематическое изображение зоны вторичного охлаждения радиальной слябовой МНЛЗ с разбивкой ее на сегменты

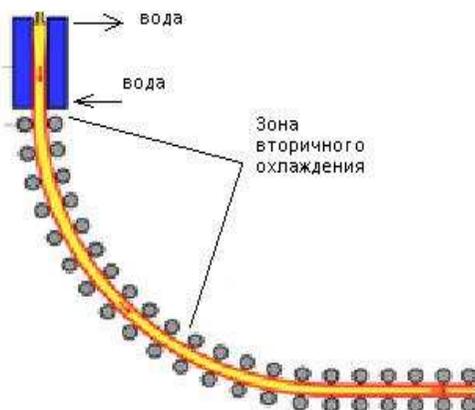


Рисунок 3.

Также затвердевшая корка заготовки неравномерной толщины в кристаллизаторе может формироваться вследствие некачественной смазки его поверхности, размывающего воздействия струи жидкого металла, заливаемого в кристаллизатор из промежуточного ковша, нестабильной скорости вытягивания заготовки из кристаллизатора.

Для предотвращения развития ромба под кристаллизатором обычно устанавливают кассеты и поддерживающие ролики (рисунок 4). Все это оказывает положительный эффект на уровень ромбичности.

На величину ромбичности оказывает влияние режим разливки: открытой или закрытой струи. При разливке стали открытой струей для смазки рабочей поверхности кри-

сталлизатора через верхний кольцевой зазор подается растительное или синтетическое масло. Струя жидкого металла, поступающего в кристаллизатор, часто отклоняется от оси кристаллизатора, что приводит к размыванию затвердевшей корки. В случае разливки закрытой струей, функцию смазки выполняет жидкоподвижный шлак, наведенный на поверхности металла в кристаллизаторе.

Высокая ромбичность непрерывнолитой заготовки может вызвать проблемы при формировании профиля в валках клетей прокатного стана. Кроме того, высокая ромбичность заготовки может обуславливать возникновение других видов дефектов (например, поверхностных и внутренних продольных трещин).

Общий вид кассеты



Рисунок 4.

Для ограничения развития этого вида дефекта под кристаллизатором иногда устанавливают так называемые поддерживающие ролики. Поддерживающие ролики оказывают положительное воздействие на уровень ромбичности заготовки, однако они существенно усложняют обслуживание МНЛЗ.

Так, в случае прорыва металла под кристаллизатором подготовка ручья значительно затягивается, поскольку требуется дополнительное время на очистку роликов, порезку и уборку «захожденного» слитка. Кроме того, после прорыва слиток может застрять в кристаллизаторе из-за сцепления вылившегося металла с роликами, что не позволит осуществить перезапуск ручья МНЛЗ во время разливки серии плавков.

Ромбичность заготовок, как показывает промышленная практика, наиболее заметно проявляется при производстве марок стали с содержанием углерода более 0,15 - 0,20%.

Повышенное содержание примесей серы, фосфора, меди, олова и некоторых других элементов также оказывает негативное влияние на прочность корочки слитка и ослабляет ее сопротивление деформации.

При развитии ромбичности заготовки выше допустимых значений необходимо проведение следующих мероприятий:

- проверка износа и деформации гильз кристаллизаторов, а при необходимости – замена кристаллизатора;
- проверка соосности выставки кристаллизатора относительно технологической оси ручья МНЛЗ;
- проверка (при необходимости регулировка) поддерживающих роликов под кристаллизатором;
- ревизия выставки зон вторичного охлаждения и работоспособности форсунок ЗВО;
- оптимизация химического состава стали (в случае, если это возможно).[3]

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Смирнов А.Н., Куберский С.В., Штепан Е.В. Непрерывная разливка стали: Учебник. – Донецк: ДонНТУ, 2011 – 482 с.

2. Ботников С.А. Современный атлас дефектов непрерывнолитой заготовки и причины возникновения прорывов кристаллизующейся корочки металла. Изд.2.–Волгоград, 2011–97 с.
3. Воскобойников В.Г., Кудрин В.А., Якушев А.М. Общая металлургия: Учебник для вузов.-6 изд., перераб и доп.:М.: ИКЦ «Академкнига», 2005 – 768

УДК 621.783

## РЕСУРСОБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКИ ПОЛОС

<sup>1</sup>В.В. МАНУРОВ, <sup>1</sup>В.А. ТАЛМАЗАН, <sup>2</sup>К.В. МАНУРОВ, <sup>1</sup>Н.А. ПОЛИВОДА  
(г. Темиртау, <sup>1</sup>Карагандинский государственный индустриальный университет, <sup>2</sup>АО «Арселор Миттал Темиртау»)

Долгое время в металлургии вопросам снижения затрат энергии при прокатке должного внимания не уделялось. Сегодня же приоритет в промышленности состоит в существенном уменьшении энергоёмкости производства металлопродукции. Реализация энергосберегающего направления развития металлургии рассматривается как актуальный путь решения энергозависимости ряда государств. Тенденции на мировом рынке энергоносителей свидетельствуют о том, что цены на газ, нефть, уголь будут непрерывно возрастать. Будет повышаться стоимость электроэнергии. Поэтому острота проблемы тепло- и энергосбережения в металлургии и её прокатном производстве будет возрастать.

К ресурсосберегающим технологиям производства горячекатаных полос можно отнести:

1. Экономную технологию нагрева слитков и слябов перед горячей прокаткой;
2. Транзитную (прямую) прокатку на слябинге и непрерывном широкополосном стане горячей прокатки (без нагрева в методических печах);
3. Прямую подачу непрерывно литых слябов на НШПС минуя методические печи и организацию горячего посада непрерывно литых слябов в методические печи;
4. Экономичную технологию раскря, увеличение выхода годного проката снижением брака по недокатам, уменьшение потребления электроэнергии агрегатами и механизмами.
5. Рациональное распределение режимов деформации между черновыми и чистовыми группами клетей.

*Экономная технология нагрева*

Значительную экономию топлива, в пределах 60 – 70%, можно получить при нагреве слитков с повышенным теплосодержанием, а именно с жидкой сердцевинной, при нагреве в нагревательных колодцах. За счет этого экономия топлива достигает 20 кг/т.

Технология нагрева слитков с жидкой сердцевиной получила широкое распространение на обжимных станах многих металлургических предприятий: АО МСТ, ММК, ЧМК, Днепропетровский металлургический комбинат, ОАО «Запорожсталь», ОАО «Мариупольский металлургический комбинат» и ОАО «Азербору» [1-5].

Исследования данной технологии на этих предприятиях показали:

- Увеличение температуры посада слитков на АО АМТ за счет укоренного прохождения от разливки до посада позволило уменьшить расход топлива на 11кг/т, а с применением новых режимов нагрева слитка – повысить выход годного металла в слябах для сталей ПС до 20 кг/т, для сталей КП до 40 кг/т. Повысить производительность работы отделения нагревательных колодцев нагрева садки с 18 до 30,5 т/ч, оборачиваемость колодца с 2,5-3,0 до 5,0 об/сут; стойкость колодца за период между капитальными ремонтами с 2000 до 2500 оборотов, расход шлакообразующих материалов сократить до 60 % благодаря снижению угара при нагреве; среднюю массу садки увеличить на 30 тонн [1].

На конечных прокатных переделах ускоренная доставка слитков и нагрев с пониженными температурами рабочего пространства, прокатка слитков на слябинге с

обратным градиентом температур между поверхностью и центром способствует увеличению доли металла первого сорта на 1%, при увеличении доли металла с повышенным теплосодержанием на 10% [1];

- Увеличение выхода годной заготовки, размерами 100\*100 мм на 4%, готового сорта на 12-16%, сквозной выход годного возрастает на 11-14%, расходный коэффициент при производстве заготовок в обжимном цехе уменьшился на 0,7-2,2 кг/т, благодаря сокращению угара в нагревательных колодцах и обрезки на ножницах после блюминга (меньшая торцевая утяжка), экономия условного топлива – 6 кг/т [2];

- Улучшение качества и существенное снижение себестоимости проката благодаря уменьшению расхода топлива (в 1,5 раза) и оптимизации энергосиловых параметров, увеличение оборачиваемости изложниц и нагревательных колодцев, снижение затрат на удаление шлака из колодцев, уменьшение потерь металла в угар и технологическую обрезь [3];

- В диапазоне температур посада слитков 980-1000°C новая технология нагрева слитков с повышенной энтальпией позволяет снизить УРУТ на 0,7-2,4 кг/т. Общая экономия условного топлива за год составила 2500 тонн [4].

*Транзитная прокатка*

Дальнейшее развитие и использование технологии нагрева слитков с жидкой сердцевиной при посаде в нагревательные устройства получило при транзитной (прямой) горячей прокатке полос на НШПС (без подогрева слябов в методических печах). При разработке и внедрении данной технологии на листопрокатных комплексах «Слябинг – ШПС ГП» были разработаны требования к условиям ускоренной доставки слитков, их нагрева и прокатки на обжимных и широкополосных станах, определены граничные временные и температурные условия прокатки и требования к качеству поверхности слябов. Так на «Запорожстали» температурный режим прокатки металла в комплексе «слябинг – ШПС ГП 1680» следующий: температура конца прокатки на слябинге составляет 1100-1180°C, температура раската на ножницах – 1100-1160°C, температура

металла за черновой группой клетей стана 1680 – от 1080 до 1150°C. Для уменьшения потерь температуры металла на рольгангах в зоне методических печей установили теплоизолирующие экраны и увеличили скорость транспортировки до 2,5 м/сек. Для реализации данного решения были разработаны системы согласования темпа прокатки и слежения за прохождением металла на участке слябинга и стана, установили световые табло у операторов постов слябинга и черновой группы клетей.

При транзитной прокатке 95% проката в комплексе «слябинг – стан 1680» ОАО «Запорожсталь» суммарный удельный расход топлива и электроэнергии уменьшен со 145 до 42 кг/т и с 327,6 до 248,4 МДж/т соответственно[5].

При реализации технологии прямой прокатки в комплексе «Слябинг 1150 – НШПС 1700 ГП» в условиях КарМК было прокатано без подогрева в методических печах в сумме 280 тыс. т полос рядового сортамента.

Существенная экономия энергии в производстве листов и полос достигается при прямой подаче непрерывно литых слябов на ШПС ГП, минуя нагревательные печи. Однако реализация этого решения не всегда возможна из-за нестыковки в расположении машины непрерывного литья заготовок (МНЛЗ) и прокатных станов. При организации горячего посада непрерывно литых слябов в нагревательные печи расход топлива на их нагрев сокращается на 12% при температуре посада 300°C и на 60% при температуре посада 900°C. Оптимизация режимов нагрева слябов может уменьшить расход топлива в методических печах на 14%. Снижение температуры нагрева слябов в печах на 10°C позволяет уменьшить расход топлива почти на 2%.

*Промежуточное перемоточное устройство*

Возможности снижения температуры нагрева слябов в печах или осуществление «транзитной» прокатки возрастает при реализации мероприятий по уменьшению потерь тепла раскатами при их движении в линии ШПС ГП. Среди таких мероприятий можно назвать, во первых оснащение ШПС ГП перемоточным устройством «Койлбок» на промежуточном рольганге и применение

тепло сохраняющих устройств, экранирующих поверхность раскатов от взаимодействия с окружающей средой.

Койлбоксы установлены на многих ШПС ГП. При смотке раскатов в рулон на промежуточном рольганге на ШПС ГП существенно уменьшаются потери тепла благодаря аккумулирующим свойствам рулона. Вследствие того, что задний конец раската при размотке рулона и подаче в чистовую группу клетей становится передним уменьшается неравномерность температуры по длине прокатываемой полосы. Так, на стане 1680 ОАО «Запорожсталь» было установлено, что при прокатке с промежуточным перемоточным устройством «Койлбокс» всего сортамента полос, массой до 16 тонн фактическая разница температуры поверхности по длине раската перед чистовой группой снизилась в среднем с 49 до 20°C, массой до 8 тонн – с 21 до 5°C. Разница температуры окончания прокатки по длине полос массой до 16 тонн в среднем сократилась с 26 до 9°C, до 8 тонн – с 14 до 5°C [6].

#### *Тепло сохраняющие устройства (экраны)*

Тепло сохраняющие устройства, в частности экраны, расположенные на промежуточном рольганге ШПС ГП уменьшают потери тепла раскатов изучением. По данным [7] наибольшее применение на тепло сохраняющих установках промежуточных рольгангов ШПС ГП получили теплоаккумулирующие экраны. Родоначальником их промышленного применения является фирма «Epsomesh» (Англия). Экраны названы фирмой экнопанелями. Отечественная система экранирования обладает рядом существенных достоинств, наиболее важным из которых является пониженная тепловая инерционность [8]. Это позволило ОАО НЛМК широко применять на ШПС ГП 2000 низкотемпературный нагрев слябов. Тепло сохраняющие установки непрерывно улучшаются.

#### *Реверсивная черновая клеть*

При реконструкции и модернизации действующих ШПС ГП основное внимание уделяется поиску таких решений, прежде всего компоновке клетей черновой группы стана, которые обеспечивают с одной стороны минимальный расход энергии на нагрев и прокатку полос, а с другой стороны – необ-

ходимые для получения требуемых свойств горячекатаной стали, температуры конца прокатки и смотки полос. Одним из таких решений является замена черновой группы из 5-6 клетей на реверсивную клеть кварто в комплексе с вертикальными валками. Применение такой клетки позволяет до 30 % сократить протяженность линии стана и энергоёмкость процесса прокатки.

#### *Изменение формы сляба*

Наиболее эффективным путем снижения ударных нагрузок при захвате считается прокатка слябов и полос с формой переднего конца в виде эллипса, равнобокой трапеции или шеврона с увеличенной высотой выступа. При этом достигается значительное снижение динамических нагрузок во всех клетях стана, что способствует повышению технико-экономических показателей. Выпуклый симметрический передний конец раската обеспечивает захват полосы строго по центру, что предотвращает броски полосы в сторону, которые вызывают ее «забуривание» в чистовой группе и потери производительности из-за простоя стана.

Опытно-промышленные исследования показали, что динамические нагрузки в период захвата полосы и колебательные процессы в этом случае снижаются одновременно во всех клетях стана и за счет этого увеличивается в 4-6 раз долговечность оборудования, уменьшается число поломок валков и шпинделей, а так же отходы в обрызг [9].

#### *Модернизация ножниц*

По существу, модернизация ножниц, имеющих барабаны с двумя парами ножей сводится к замене верхнего и нижнего барабанов новыми, на которых установлена одна пара ножей для обрезки переднего конца, вторая пара для заднего. Ножи, предназначенные для переднего конца проката обеспечивают фигурный рез в плане (шеvron, трапеция) с рекомендованной величиной выступа.

Разработка и внедрение новых типов листовых ножниц для получения шевронного в плане переднего конца раската перед задачей его в чистовую клеть способствовало освоению новых технологических процессов и созданию высокопроизводительных ШПС ГП, например станов 2000 ОАО «Северсталь» и НЛМК [9].

#### *Смазка*

В последнее время на широкополосных станах горячей прокатки нашла применение технологическая смазка. Как показывает опыт, в том числе и зарубежный, в зависимости от характеристики применяемой смазки, способа подачи, характеристики оборудования и условий его работы технико-экономические показатели эффективности применения технологических смазок колеблются в широких пределах. По данным Л. Г. Тубольцева и др. увеличение стойкости рабочих и опорных валков составляет 20-50%; снижение энергозатрат – 5-10 %; уменьшение усилия прокатки – 10-17 %; повышение производительности стана – 3-10%; повышение скорости травления горячекатаных полос – до 15%; также улучшается качество поверхности полосы и снижается температура поверхности рабочих валков. Недостатком применения технологической смазки является ухудшение захватывающей способности валков, а в некоторых случаях необходимость очистки поверхности полосы от смазки.

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Вопросы ресурсосбережения при производстве проката на ШПС ГП решаются как созданием новых технологий и их развитием,

подача технологической смазки при прокатке на ШПС ГП показала, что с использованием систем технологической смазки в клетях 7-9 ШПС ГП 2000 ОАО ММК снижение удельного расхода энергии при прокатке составляет в среднем 5-9% [10].

#### *Подогрев воздуха*

Одним из направлений энергосбережения при нагреве заготовок является снижение УРТ за счет повышения эффективности работы теплоутилизаторов устройств, т.е. за счет повышения температуры подогрева воздуха горения; часть тепла с уходящими продуктами горения возвращается в печь с подогретым воздухом. С целью повышения температуры подогрева воздуха горения за счет улучшения использования тепла уходящих продуктов горения был модернизирован рекуператор методической печи. При этом температура подогрева воздуха горения в среднем повысилась более чем на 100°C. Такое повышение температуры воздуха горения дало сокращение расхода условного топлива на 3,8% или на 5,7кг/т нагретого металла. Решение реализовано при модернизации керамических рекуператоров [11].

так и применением нового и модернизацией существующего основного и вспомогательного оборудования по всей линии станов.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Барбаев В.Н., Мантуров В.В., и др. «Преимущества нагрева и прокатки слитков с повышенным теплосодержанием» // Сталь, 2000. №6. С.42-45.
2. Кузнецов И.С., Прохаров А.Е., Антонов В.А. и др. «Разработка оптимальной технологии нагрева слитков из кипящей стали» // Сталь, 2006. №3. С. 46-47.
3. Гомидов Ф.Д. «Совершенствование режимов нагрева и прокатки слитков с повышенным теплосодержанием» // Сталь, 2005. №1. С. 59-60.
4. Шебанич Э.Н., Ошельяненко Н.И., Харин А.К. и др. // Сталь, 2007. №1. С. 46-47.
5. Горло Г.И., Кукуй Д.П. «Освоение материала и энергосберегающих технологий на комплексах слябинг – ШПС ГП» // Сталь, 2002. №8. С. 58-62.
6. Путники А.Ю., Симененко О.В., Мацко С.В. и др. «Освоение технологии горячей прокатки полос на стане 1680 с промежуточным перемоточным устройством «Койлбокс»» // Сталь, 2008. №10. С. 39-44.
7. Хлопонин В.Н. «Теплоаккумулирующие экраны действующих теплосохраниющих установок ШПС ГП» // Сталь, 2011. №5. С. 34-38.
8. Хлопонин В.Н. «Разработка теплосохраниющих экранов для промежуточного рольганга стана горячей прокатки» // Сталь, 1994. №5. С. 52-55.
9. Сумский С.Н. «Металлосберегающие технологии раскряя проката» // Сталь, 2003. №6. С. 55-60.

**Раздел 2. «Машиностроение. Технологические машины и транспорт.»**

10. Дема Р.Р., Харченко М.Р., Горбунова А.А. «Теоретическое исследование влияния режимов подачи смазочного материала на изменение энерго затрат при горячей прокатке на стане 2000 ОАО «ММК»» // Производство проката, 2013. №2. С. 11-13.

11. Колодяжный В.С., Губинский В.М., Набока В.И., и др. «Повышение температуры воздуха горения в методической печи» // Сталь, 2013. №10. С. 40-42.