

Производство высококачественных рельсов на заводе ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК» в Новокузнецке

В ноябре 2012 г. компания Danieli завершила реконструкцию установки непрерывной разливки стали (УНРС) № 2 на заводе ОАО «ЕВРАЗ Объединенный Западно-Сибирский металлургический комбинат» (ЕВРАЗ ЗСМК) в Новокузнецке, Россия. После реконструкции производительность УНРС возросла до 140 т/ч. Одновременно значительно повысилось качество продукции по всему сортаменту, в том числе качество рельсовой стали. Одной из основных технологических инноваций, позволивших добиться повышения качества при работе по схеме «летающих» промежуточных ковшей, является использование системы мягкого механического обжатия.

ОАО «ЕВРАЗ Объединенный Западно-Сибирский металлургический комбинат» (ЕВРАЗ ЗСМК) является

самым восточным производителем стальной продукции в России и крупнейшим в Сибирском регионе. В 2012 г. объем производства ЕВРАЗ ЗСМК нерафинированной стали составил 7,3 млн. т, стального проката — 6,3 млн. т. По объему производства эта компания входит в число пяти крупнейших металлургических компаний России и в пятерку крупнейших в мире производителей рельсов.

С 1 июля 2011 г. ОАО «ЕВРАЗ Объединенный Западно-Сибирский металлургический комбинат» объединил бывшие Западно-Сибирский металлургический комбинат (ЗСМК) и Новокузнецкий металлургический комбинат (НКМК). В настоящее время деятельность ЕВРАЗ ЗСМК подразделяется на производство строительных профилей и производство рельсов, которые располагаются на двух площадках в Новокузнецке (Кемеровская область).

Луиджи Морсугт, Марко Ринальдини, Альберто Урбано, компания Danieli CentroMet; Марко Лена, компания Danieli Automation, Буттрио, Италия
Контакт: www.danieli.com
Эл. почта: info@danieli.com



Вид сверху на рабочую сторону УНРС

На площадке № 1 — производство строительного проката, которое включает металлургический комбинат с полным циклом, расположенный на площади 3 тыс. га. Выпускаемая продукция — это в основном длинномерные сортовые профили из низколегированных марок стали (прутки, арматура и др.), конструкционные профили (равнобокие уголки, балки, швеллеры и др.), а также непрерывнолитые горячекатаные слябы и сортовые заготовки.

В данной статье рассмотрено производство рельсов, расположенное на площадке № 2 в Новокузнецке. Это один из крупнейших производителей всего сортамента рельсовых профилей в России и на международном рынке. Здесь прокатывают рельсы для железных дорог, трамваев и метрополитена. На площадке располагаются электросталеплавильный цех с двумя УНРС, рельсобалочный и крупносортовый прокатные цехи. В последние годы освоено производство новых видов рельсовой продукции, включая рельсы повышенной прочности и рельсы для высокоскоростных железнодорожных магистралей. Эксплуатационные испытания показали, что качество этой продукции находится на уровне мировых стандартов. На комбинате применяют уникальную технологию дефектоскопии, в том числе трехэтапный контроль, который обеспечивает максимальное соответствие параметров продукции международным стандартам качества.

В 2009 г. ОАО ЕВРАЗ начал реализацию крупномасштабного проекта модернизации рельсобалочного цеха. В октябре 2010 г. был завершен первый этап этого проекта, в результате чего комбинат стал первым в России производителем железнодорожных рельсов наивысшего качества длиной 25 м. В ноябре 2013 г. ОАО ЕВРАЗ получил сертификат соответствия качества на рельсы длиной до 100 м с упрочненной головкой, что позволило компании начать массовое производство этой продукции и выйти с ней на рынок.

Модернизация УНРС № 2

В ноябре 2012 г. УНРС № 2 была переоборудована компанией Danieli. Перед реконструкцией на заводе ЕВРАЗ ЗСМК получали методом непрерывной разливки в двухручье

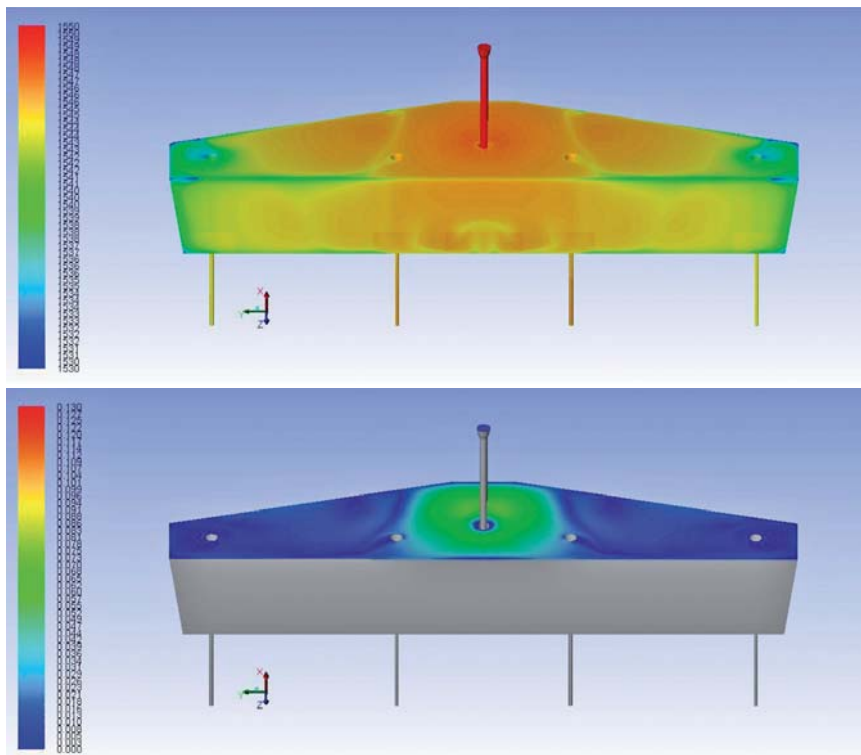
УНРС радиального типа с радиусом 12 м рельсовые заготовки размером 300×340 мм. Максимальная производительность УНРС составляла 105 т/ч. Основной задачей проекта реконструкции было увеличение производительности цеха и повышение качества продукции.

Ковш имеет емкость 115 т и номинальную высоту свободного борта 750 мм. Все плавки могут быть обработаны в однокамерной **установке вакуумной дегазации** (с пароструйным насосом, поставленным компанией Danieli в 2006 г.); при этом надежно контролируют равновесие системы шлак/сталь, а также содержание азота, водорода и кислорода. Вакуумная дегазация обязательна при непрерывной разливке на этой установке, так как содержание кислорода и водорода в рельсовой стали очень жестко регламентировано (менее 40 ppm ($\times 10^{-4}$ %) и 2 ppm ($\times 10^{-4}$ %) соответственно).

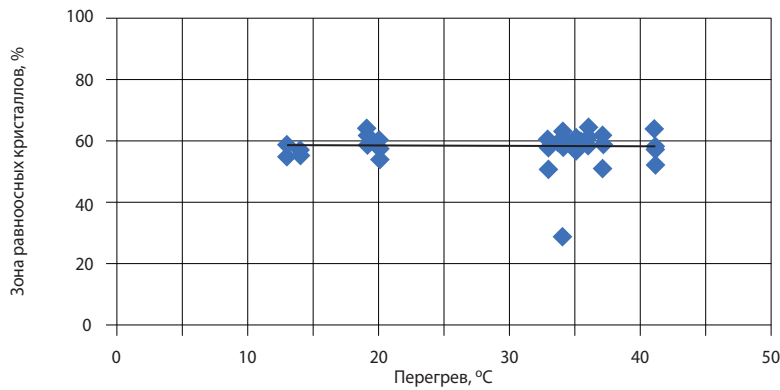
УНРС оборудована подъемно-поворотным стандом для ковшей. Емкость промежуточного ковша 31 т, высота рабочего уровня 900 мм. Конструкция промежуточного ковша оптимизирована с помощью методов вычислительной гидродинамики; в ре-

зультате разность температур между двумя ручьями разливаемой стали не превышает 2 °С. Это гарантирует отсутствие значительных различий в характере процесса кристаллизации металла и получаемой микроструктуре в двух ручьях. Кроме того, скорость перемещения жидкой стали в мениске значительно ниже скорости захвата шлака металлом (0,25 м/с), благодаря чему достигается низкое содержание кислорода в стали. Истечение жидкой стали из промежуточного ковша в кристаллизатор регулируется шиберным затвором с гидравлическим управлением. Погружной сталеразливочный стакан исключает повторное окисление жидкой стали и дает возможность применять схему разливки с «летающим» промежуточным ковшом.

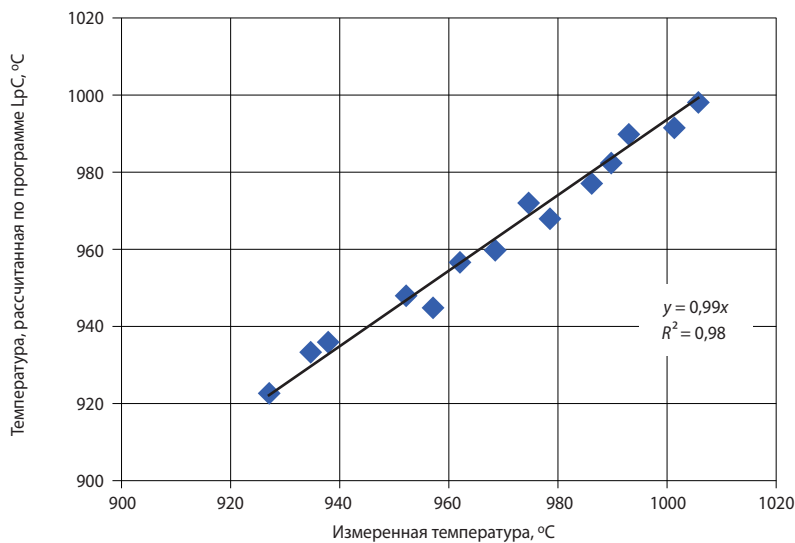
Криволинейный **кристаллизатор** длиной 780 мм имеет параболическую конусность, большие угловые радиусы и плиты, изготовленные из Cu—Cr—Zr-сплава; такая конструкция кристаллизатора обеспечивает весьма малую его деформацию и постоянную конусность рабочей зоны на протяжении всего срока службы плит из медного сплава. Уровень стали в кристаллизаторе измеряют с помощью радио-



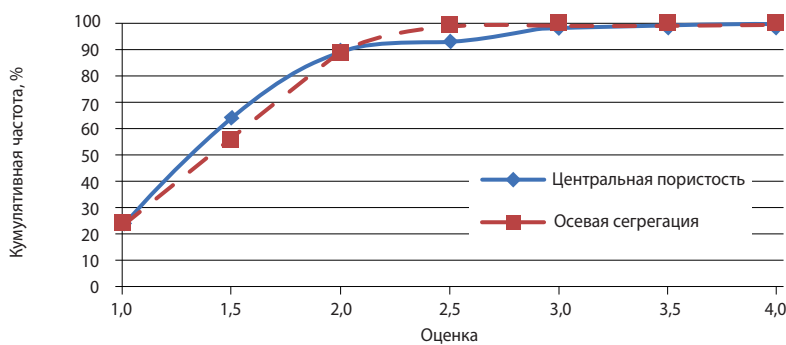
Распределение температуры в промежуточном ковшу (определенное методом вычислительной гидродинамики) и поверхностной скорости течения



Зависимость зоны равноосных кристаллов от перегрева



Контроль температуры на рабочей стороне



Кумулятивная кривая распределения частот центральной пористости и осевой сегрегации

активного датчика традиционной конструкции; кроме того, в зону кристаллизации автоматически подается порошкообразная смазка, что создает условия для ведения процесса разлива без участия оператора. Вибрирующий стол с гидравлическим приводом гарантирует тщательно контролируемое перемещение кристаллизатора и, следовательно, высокое качество непрерывнолитой заготовки и стабильность процесса разлива.

Кристаллизатор оборудован системой микроэлектромагнитного перемешивания Danieli Rotelec MEMS, которая позволяет исключить дефекты типа «белая полоса» (отсутствие которых чрезвычайно важно для закаленной рельсовой стали), а также не влияет на уровень металла в кристаллизаторе. Такая система способствует также получению мелкозернистой микроструктуры в осевой зоне заготовки и формированию зоны рав-

ноосных кристаллов объемом более 45 % для высокоуглеродистых марок стали. Статистический анализ зон равноосных кристаллов показал, что большое влияние на них оказывает содержание углерода и характер теплового потока в кристаллизаторе. Кроме того, отсутствует корреляция между характеристиками зоны равноосных кристаллов и перегревом, которая подтверждала бы эффективность перегрева.

Основной проблемой качества поверхности непрерывнолитых заготовок из высокоуглеродистых сталей являются угловые трещины, которые на практике никогда не возникают в случае применения технических решений, ориентированных на конкретные производственные условия (выбор угловых радиусов, использование технологии вторичного охлаждения водяным туманом, подбор скорости истечения металла и другие меры, обеспечивающие получение сравнительно горячих углов профиля).

Механическое мягкое обжатие

Узел механического мягкого обжатия MSR (Mechanical Soft Reduction) предусмотрен в нижней части УНРС. Он состоит из семи сегментов на каждом ручье общей длиной порядка 7 м. Каждый сегмент состоит из рамы, в которой закреплены верхний и нижний валки диаметром 500 мм с возможностью регулирования их взаимного положения в ненагруженном состоянии или под нагрузкой, достигающей 130 т на каждый валок. Преимуществом такой конструкции является возможность плотного расположения валков с шагом примерно 1200 мм и концентрации их в рабочей зоне механического мягкого обжатия для конкретного размера заготовки. При этом сохраняется доступ к сегментам валков для проведения ремонтных работ. После выхода из УНРС заготовки из высокоуглеродистых сталей подвергают замедленному охлаждению под колпаком.

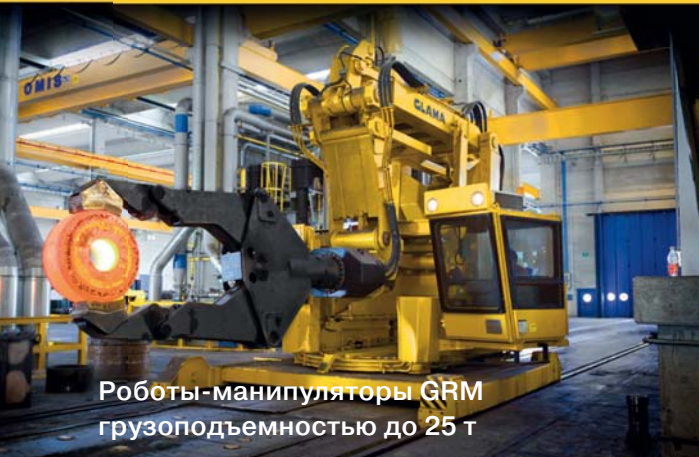
Для повышения эффективности процесса MSR была разработана новая версия системы контроля уровня жидкой стали в мениске LpC (Liquid pool Control), позволяющая рассчитывать параметры процесса затвердевания стали и точно учитывающая конкретные производственные условия. В основу системы были положены результаты



GLAMA

...новые измерения
для ковки

Рельсовые ковшные манипуляторы GSM
грузоподъемностью до 350 т



Роботы-манипуляторы GRM
грузоподъемностью до 25 т



Мобильные ковшные манипуляторы GFM
грузоподъемностью до 150 т

МЕТАЛЛ ЭКСПО

11–14 ноября 2014 г.
Посетите наш стенд 2С 04

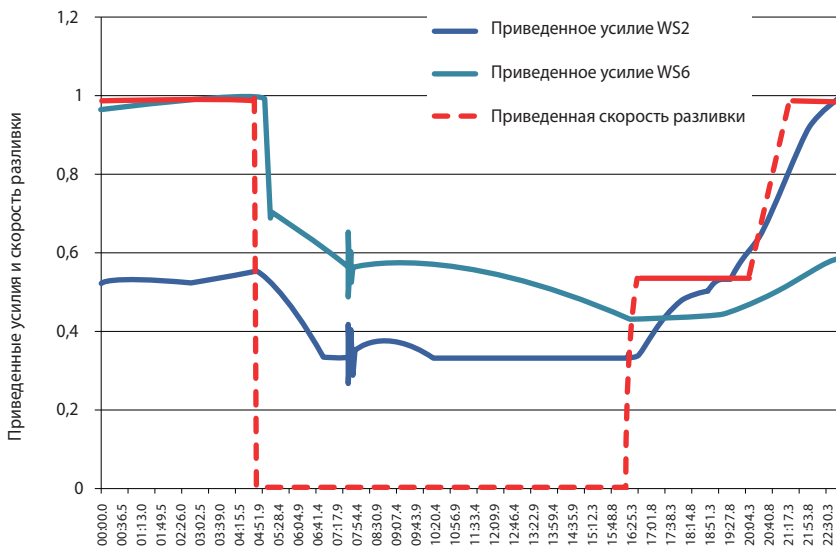
GLAMA Maschinenbau GmbH

Hornstraße 19 D- 45964 Gladbeck / Germany

Тел. + 49 (0) 2043 9738 0

Факс + 49 (0) 2043 9738 50

Эл. почта: info@glama.de Интернет: www.glama.de



Механическое мягкое обжатие: характер изменения усилий при работе по схеме с «летающим» промежуточным ковшем

экспериментов по изучению возникновения внутренних трещин. Был предложен также дополнительный пакет программ для расчета динамических усилий и смещений LpCL, возникающих как во время установившегося процесса разлива, так и при переходных состояниях, что особенно важно при работе по схеме «летающих» промежуточных ковшей.

Для лучшего понимания реального процесса затвердевания необ-

ходимо выполнить несколько важных условий [1]:

- использовать кривые «твердая фракция — температура», основанные на регрессионном анализе теоретических кривых, полученных с помощью IDS;
- пересмотреть высокотемпературные свойства стали для всего марочного сортамента; применить измельчение расчетной сетки;

- использовать фактически измеренные тепловые потоки в кристаллизаторе;
- учесть потери тепла в заготовке после измерения температуры пирометром;
- использовать пересмотренные формулы для расчета линий ликвидуса с целью определения фактического перегрева для каждой плавки.

На основе нового подхода выполнили моделирование плавки и получили результаты, которые согласуются с пирометрической температурой и расположением трещин в зонах макросегрегации (при допущении, что трещины возникают в диапазоне LIT-ZDT (Liquid Impregnable Temperature — Zero Ductility Temperature) [2], и что их формирование зависит не только от интервала затвердевания, но также от сегрегации элементов [3]).

Доступность сетевой модели кристаллизации позволяет только проводить мониторинг процесса затвердевания, но не регулировать механическое мягкое обжатие. Поэтому был разработан дополнительный пакет программ LpCL, позволяющий учитывать возникающие смещения и усилия. С помощью этих программ рассчитывают смещения и усилия на



Блюмы, помещенные в колодец замедленного охлаждения

Следуя традициям, создавая будущее



TOKAI ERFTCARBON

Ваш поставщик графитированных электродов

TOKAI ERFTCARBON GmbH

Aluminiumstraße 4
41515 Grevenbroich

P.O. Box 100263
41486 Grevenbroich
Germany

Телефон: +49 21 81 / 49 52 - 100

Телефакс: +49 21 81 / 49 52 - 252

www.tokai-erftcarbon.com



После реконструкции УНРС была достигнута производительность 140 т/ч

рабочей стороне модулей (выбор из этих двух вариантов расчета выполняет оператор), при этом достигаются следующие цели:

- минимальный риск формирования трещин под действием усилий на рабочей стороне модулей;
- эффективное мягкое механическое обжатие не только в ходе установившегося процесса непрерывной разливки, но также и на стадиях переходного состояния, например при отливке первой или последней заготовки, а также при работе по схеме «летающего» промежуточного ковша.

Производственные результаты

Через 2 недели после завершения реконструкции и разливки первой плавки на УНРС были разлиты все плавки рельсовой стали с перегревом менее 35 °С. По показателям качества металла литых заготовок — распределению пористости и сегрегации — достигнуты хорошие результаты, соответствующие российскому стандарту ОСТ 14-1-235-91. Учитывая запросы заказчиков (прокатного цеха), после ввода в эксплуатацию реконструированной УНРС применяли сочетание твердого обжатия с мягким для получения бляма постоянной толщины независимо от марки стали и скорости разливки. Такой подход дал хорошие ре-

зультаты с точки зрения стабильности отношения «толщина бляма/масса» и позволил еще немного повысить качество металла в объеме заготовок.

Основной задачей данного исследовательского проекта была реализация механического мягкого обжатия при работе по схеме с «летающими» промежуточными ковшами и достижение минимальных потерь. В этом случае система MSR реагирует на охлаждение бляма. В частности, усилие на рабочей стороне УНРС № 2 резко возрастает из-за уменьшения глубины мениска, в то время как аналогичное усилие на УНРС № 6, где применяют обжатие затвердевшего металла для поддержания постоянной окончательной толщины бляма, возрастает очень медленно. Качество внутреннего объема металла получается хорошим даже на первом бляме, отлитом после смены промежуточного ковша при работе по схеме «летающих» промежуточных ковшей. Это объясняется возможностью заложить программу динамически регулировать обжатия в зависимости от фактического положения дна мениска и квазиравновесной двухфазной зоны.

Перед реконструкцией максимальная производительность УНРС при разливке рельсовой стали достигала 105 т/ч. В настоящее время достигнута производительность 140 т/ч, т. е. этот по-

казатель увеличился на 25 %. Одновременно повысилось качество заготовки во всем ее объеме; особенно заметно улучшились характеристики центральной пористости, которая после оптимизации режима жесткого обжатия обычно имеет уровень ниже класса 2.

Выводы

После успешного завершения в ноябре 2012 г. работ по модернизации УНРС № 2 на заводе ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК» в Новокузнецке ее производительность повысилась на 25 %, достигнув значения 140 т/ч при существенном улучшении качества заготовки по всему сечению для широкого марочного сортамента, прежде всего для рельсовых сталей, подвергнутых вакуумированию. Обработка, основанная на сочетании микроэлектромагнитного перемешивания с механическим мягким и жестким обжатиями (последнее выполняется усовершенствованными системами механического обжатия со специальными программами), позволила получить непрерывнолитые заготовки с тонкой микроструктурой и малой центральной пористостью даже на переходных стадиях процесса. УНРС оборудована современной системой автоматизации, поставленной компанией Danieli Automation и включающей устройства для автоматического измерения температуры в промежуточном ковше, подачи порошкообразной смазки в кристаллизатор, вторичного охлаждения заготовок, а также автоматизированную систему MSR. Все эти системы создают условия для управления работой УНРС без участия оператора. ■

Библиографический список

- [1] L. Guazzelli, A. Mukhopadhyay, M. Ometto, Danieli Automation LPCS Liquid Pool Control System to improve quality of continuously cast slabs, Danieli Technology Book 2010, pp. 254–259.
- [2] Y. M. Won, B. G. Thomas, Simple model of microsegregation during solidification of steels, Metallurgical and Materials Transactions A, Vol 32A, July 2001, pp. 1755–1767.
- [3] A. Yamanaka, K. Okamura, S. Kumaura, T. Kanazawa, A. Tamura, New design to prevent internal cracking in continuous casting, 3rd European conference proceedings, Madrid, Spain, October 1998, pp. 415–424.