

УДК 621.746.5.047 – 412:621.7.08

*В.Д. Тутарова, Д.С. Сафонов, К.В. Баранчиков,  
А.Н. Шаповалов, Е.А. Шевченко*

Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»  
Новотроицкий филиал

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ НЕПРЕРЫВНОЛИТОЙ СЛЯБОВОЙ ЗАГОТОВКИ

Одной из основных задач при непрерывной разливке стали является управление процессом кристаллизации металла с целью обеспечения условий, необходимых для формирования качественного слитка.

Основными дефектами листового проката являются раскатанные трещины, перешедшие с литого сляба от продольной, поперечной, сетчатой или паукообразной трещин. Причинами возникновения данных дефектов поверхности могут быть недостаточный или неравномерный теплоотвод в кристаллизаторе и на участке вторичного охлаждения, повышенная температура разливаемого металла, высокая скорость вытягивания сляба, чрезмерное охлаждение узких граней сляба, большой температурный градиент между ребрами и широкой гранью сляба, разгиб слябов при пониженных температурах, а также повышенное содержание в стали серы и фосфора.

С 2004 г. в ЭСПЦ ОАО «Уральская Сталь», эксплуатируется одноручьевая слябовая МНЛЗ № 2 конструкции фирмы SMS Demag, которая представляет собой вертикальную установку с последующим изгибом заготовки с шестью точками изгиба и четырьмя точками правки. Установка предназначена для разливки стали на слябы сечением 190×1200 и 270×1200 мм с максимальной проектной скоростью вытягивания 1,6 и 1,2 м/мин соответственно.

Наиболее массовыми марками стали, разливаемыми на МНЛЗ № 2, являются К52-1, 10ХСНДА и 10ХСНД, 09Г2С, 15ХСНДА и 15ХСНД, 17Г1С-У, СТЗСП, С345, 13Г1С-У и РСД32, объем производства которых превышает 80 % общего объема годных слябов.

Несмотря на продолжительный срок эксплуатации МНЛЗ № 2 и большую работу, проведенную по ее модернизации, отбраковка листового проката по литым дефектам достигает 7 % по некоторым маркам стали. На рис. 1 представлена статистика по отбраковке проката из слябовой заготовки за январь – октябрь 2011 г.

Анализ данных по отбраковке листового проката (см. рис. 1) свидетельствует о высокой пораженности заготовок, особенно сечением 270 мм, различными видами дефектов. Основными дефектами литых слябов для большинства марок стали являются наружные и внутренние трещины, одной из основных причин возникновения которых является избыточное или недоста-

точное охлаждение отдельных участков поверхности слитков вследствие неправильно организованного режима вторичного охлаждения.

Наличие проблем, связанных с качеством заготовки, приводит к необходимости дополнительно производить зачистку непрерывнолитых слябов и листов, полученных из них, что значительно снижает выход годного.

Вопрос повышения качества непрерывнолитого слитка является сложной многофакторной проблемой, поэтому для каждого комплекса производственных условий имеется рациональный режим охлаждения. Оптимизация температурно-скоростных режимов разливки, учитывающая свойства разливаемой стали и конструктивные параметры МНЛЗ, невозможна без комплексного изучения параметров непрерывной разливки на реальном объекте и проведении экспериментальных исследований изменения температуры поверхности заготовки как по длине, так и по сечению.

Для изучения температуры поверхности заготовки в условиях электросталеплавильного цеха ОАО «Уральская Сталь» на МНЛЗ № 2 был проведен эксперимент по исследованию температурных полей непрерывнолитой заготовки сечением 1200×270 мм, отливаемой при скорости вытягивания 0,9 м/мин. Поскольку химичес-

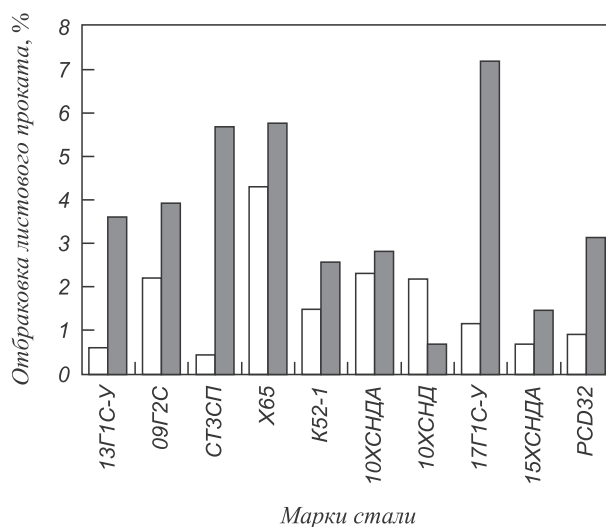


Рис. 1. Статистика по отбраковке листового проката из слябовой заготовки МНЛЗ № 2 за январь – октябрь 2011 г.:  
□ – сляб 190 мм; ■ – сляб 270 мм.

кий состав и свойства стали существенно влияют на качество заготовки, эксперименты проводили на наиболее массовых марках сталей с различным содержанием углерода: 17Г1С-У и 09Г2С.

Температура поверхности заготовки измерялась на выходе из бункера зоны вторичного охлаждения перед агрегатом газовой резки (технологическая длина на контрольной отметке составляла 30,5 м) при помощи пирометра «Луч» с диапазоном измерений от 350 до 1800 °С.

Замеры проводились на поверхности заготовки по малому радиусу ( $r$ ) в пяти точках и со стороны узкой грани в трех точках. Геометрические области замеров приведены на рис. 2. Стрелкой обозначено направление движения заготовки.

В ходе эксперимента были выполнены две серии замеров на плавках сталей 09Г2С и 17Г1С-У (см. таблицу). Ввиду малой дисперсии результаты измерений были усреднены.

Сравнительный анализ рекомендованных и фактических расходов воды по контурам охлаждения при разливе стали 09Г2С (плавка V 16076) показал, что для всех контуров, кроме 11, отклонение расходов воды от требуемых по технологической инструкции не превышает 3,2 %. В контуре 11 зоны вторичного охлаждения рабочие расходы воды были занижены относительно рекомендованных в среднем на 29,3 и 42,1 % по малому

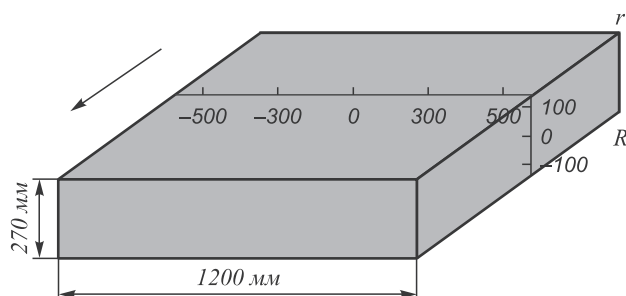


Рис. 2. Точки измерения температуры на поверхности заготовки

**Основные параметры разливки**

Показатель	Марка стали	
	09Г2С	17Г1С-У
Толщина заготовки, мм	270	
Скорость вытягивания, м/мин	0,9	
Номер плавки	V 16076	V 16476
Дата проведения	11.11.2011	8.12.2011
Номер плавки в серии	12	18
Температура металла в промышленном ковше, °С	1535	1537
Длительность разливки, мин	57	52
Содержание серы, %	0,008	0,002
Содержание фосфора, %	0,011	0,013

и большому радиусу соответственно. При разливе стали 17Г1С-У (плавка V 16476) расходы и давление воды по секциям вторичного охлаждения соответствовали рекомендованному режиму охлаждения для данной марки стали.

На рис. 3 приведены графики изменения температуры поверхности широкой грани исследуемых заготовок со стороны малого радиуса.

При проведении экспериментов в центральной части широкой грани заготовки визуально наблюдалась темная полоса, соответствующая вогнутой части графика (см. рис. 3), свидетельствующая о неравномерном охлаждении заготовки в зоне вторичного охлаждения (ЗВО). Кроме того, более резкий перепад температуры смещен к углам заготовки и составляет в среднем 80 °С.

Полученные данные позволили выявить несимметричность распределения температуры по поверхности широкой грани литой заготовки (см. рис. 3): левая по направлению разливки поверхность заготовки переохлаждена по сравнению с правой. Несимметричность температурного поля в различных участках по поверхности широкой грани составляет от 20 до 60 °С. Это объясняется конструктивными особенностями системы подачи шлакообразующей смеси: с течением времени с одной стороны МНЛЗ происходит постепенное засорение форсунок ЗВО шлакообразующей смесью и, соответственно, нарушается охлаждение заготовки. С увеличением серийности и, следовательно, общего времени разлива на МНЛЗ, угол наклона температурной кривой изменяется до 20°, а разница температур достигает 50 °С.

На рис. 4 приведены графики изменения температуры поверхности узкой грани исследуемых заготовок.

Неравномерное распределение температуры по толщине заготовки (см. рис. 4) объясняется недостаточной согласованностью в расходах охладителя со стороны узкого и широкого радиусов непрерывнолитой заготовки, что приводит к разнице температур до 40 °С между

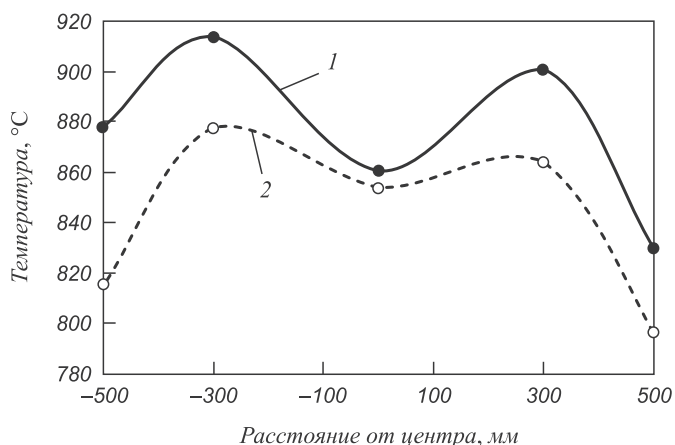


Рис. 3. Температура поверхности широкой грани заготовки: 1 – 17Г1С-У; 2 – 09Г2С

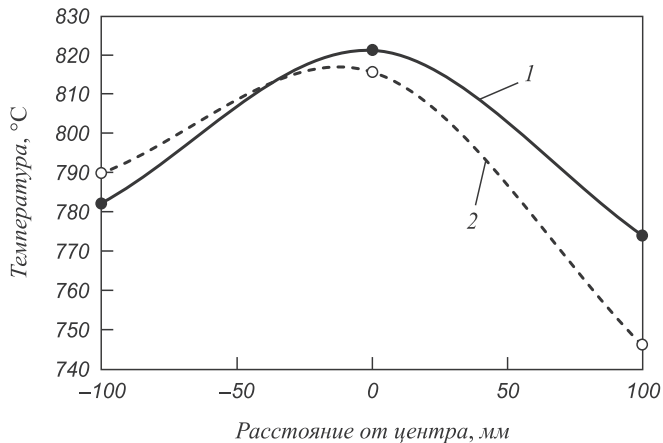


Рис. 4. Температура поверхности узкой грани заготовки:  
1 – 17Г1С-У; 2 – 09Г2С

верхней и нижней частью заготовки и перепадам температур между центром заготовки и угловой зоны, особенно со стороны малого радиуса до 70 °С.

Однако, так как замеры не производились непосредственно на углах заготовки, следуя из общей картины изменения температуры и визуального осмотра, мож-

но предположить, что именно на углах температура достигает своего минимального значения. В результате при выходе сляба толщиной 270 мм из бункера ЗВО наблюдались темная холодная сердцевина и две светлые горячие полосы на расстоянии 1/4 от края слитка и далее более темные края. Анализ качества поверхности толстого листа подтвердил, что дефекты располагаются двумя полосами, местоположение которых совпадает с границами темных и светлых участков на слябе. Таким образом, выявленная в исследовании неравномерность охлаждения заготовки является основной причиной образования дефектов, проявляющихся на листовом прокате. В этой связи остается актуальным вопрос разработки оптимальных режимов охлаждения непрерывнолитой слябовой заготовки, включая и выбор рациональных расходов охладителя по контурам ЗВО. Решение этого вопроса позволит повысить качество листового проката ответственного назначения и увеличить выход годного одноручьевого слябовой МНЛЗ № 2 ОАО «Уральская Сталь».

© 2012 г. В.Д. Тутарова, Д.С. Сафонов,  
К.В. Баранчиков, А.Н. Шаповалов, Е.А. Шевченко  
Поступила 20 декабря 2011 г.