

2012 г. А.А. Уманский, А.В. Леонидов

Сибирский государственный индустриальный университет

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ ТРАНСПОРТИРОВКИ И НАГРЕВА СЛИТКОВ НА КАЧЕСТВО ИХ МАКРОСТРУКТУРЫ

В развитых странах доля разливаемой непрерывным способом стали приближается к 100 %, в отечественной металлургии порядка 25 % стали по-прежнему разливается в изложницы, что в пересчете на абсолютные показатели составляет около 15 млн. т/год. Именно поэтому исследования, направленные на совершенствование технологии производства и обработки слитков, являются актуальными.

Известно, что качество внутренней структуры слитков в значительной степени определяется режимами их затвердевания в процессах транспортировки и нагрева слитков под прокатку. Кристаллизация слитков, разлитых в изложницы, представляет собой сложный, многостадийный, продолжительный по времени процесс. По характеру изменения температуры различных зон слитка процесс кристаллизации отливок можно разделить на три периода (рис. 1): 1 – охлаждение в изложнице; 2 – охлаждение на воздухе (после снятия изложницы); 3 – нагрев под прокатку.

Начало первого периода характеризуется зарождением фронта кристаллизации. В этот момент перепад между температурами образовавшейся твердой корочки и жидкой сердцевины слитка составляет 300 – 400 °С. Интенсивности охлаждения поверхностного и осевого слоев слитка на протяжении первого периода практически не отличаются. Стрипперование слитков (снятие изложниц), которому соответствует начало второго периода, приводит к увеличению скорости охлаждения поверхности слитка и не оказывает заметного влияния на интенсивность охлаждения осевой зоны. В течение третьего периода, ограниченного временными рамками нахождения слитков в нагревательных колодцах, происходит разнонаправленное изменение температуры поверхностных и осевых слоев слитка: поверхность слитков интенсивно нагревается, в осевой зоне продолжается постепенное снижение температуры.

Продолжительность и соотношение продолжительностей указанных периодов кристаллизации определяют скорость затвердевания различных слоев слитка и оказывают

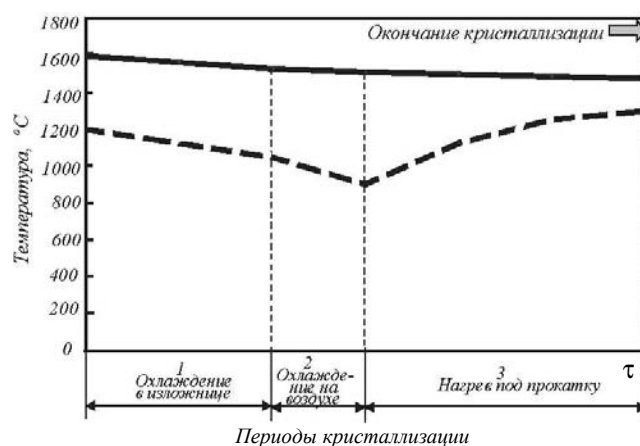


Рис. 1. Изменение температуры осевой зоны (—) и поверхностных слоев (---) слитка в процессе кристаллизации

значимое влияние на формирование качества внутренней структуры отливок. Однако среди исследователей отсутствует единое мнение об оптимальных режимах кристаллизации слитков. Так, хотя существует многочисленный положительный опыт внедрения на металлургических комбинатах технологии ускоренной транспортировки слитков к нагревательным колодцам и посадки их с незатвердевшей сердцевиной [1 – 3], ряд авторов приводит данные о резко негативном влиянии уменьшения времени охлаждения слитков на качество их макроструктуры. По данным исследований, проведенных на комбинате «Криворожсталь» (Украина), В.Г. Писаренко и его соавторы установили, что посад слитков стали марки ЗГтрпс с повышенным теплосодержанием влечет за собой увеличение потерь по усадочным дефектам более, чем в четыре раза [4]. Также в литературе приводятся данные о том, что технологию нагрева слитков с «жидкой» сердцевиной нецелесообразно применять для сталей сортамента с высокими требованиями по макроструктуре [5]. Такие рекомендации объясняются риском увеличения количества внутренних дефектов из-за уменьшения скорости кристаллизации осевых слоев слитка.

Повышение качества макроструктуры слит-

Продолжительность (τ) нагрева слитков при использовании различных технологий при различной температуре T посадки слитков

Технология нагрева	τ , ч – мин, при T , °C							
	925	920	915	910	905	900	895	885
С повышенным тепло-содержанием	3 – 20 (0 – 30)	3 – 05 (0 – 25)	3 – 00 (0 – 20)	2 – 50	3 – 00	3 – 15	3 – 30	3 – 50
Традиционная для слитков горячего посада	5 – 10	5 – 10	5 – 15	5 – 15	5 – 20	5 – 20	5 – 25	5 – 30

П р и м е ч а н и е. В скобках приведены данные для режима без подачи топлива.

ков в настоящее время является одной из наиболее актуальных задач для ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК». На комбинате, где годовое производство разлитых в изложницы слитков составляет 4 млн. т, по данным за 2010 г. получено более 9000 т дополнительной обрезки по дефектам макроструктуры (расслой, усадочная рыхлость, неметаллические включения). Кроме того, получено более 1100 т брака готовой слябовой заготовки по этим же дефектам.

С целью исследования влияния режимов нагрева слитков на формирование внутренней структуры слитков в условиях ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК» проведен опытно-промышленный эксперимент. (Исследования выполнены в рамках НИР, тема 17-01. Руководитель работы И.С. Кузнецов; исполнители А.Е. Прахов, А.А. Уманский и др.)

Слитки плавки стали 3пс текущего производства, посаженные в ячейку нагревательных колодцев с одинаковой (900 °C) температурой, были разделены на две партии. Первая партия, состоящая из нечетных по ходу разливки слитков, выдавалась из нагревательных колодцев через 3 ч 15 мин, что соответствует продолжи-

тельности нагрева слитков при использовании технологии их нагрева при повышенном теплосодержании. Длительность нагрева слитков второй партии, состоящей из четных по ходу разливки слитков, составила 5 ч 40 мин, что соответствует традиционной технологии нагрева слитков горячего посада (табл. 1).

После нагрева слитки обеих партий были прокатаны на блюминге на слябовую заготовку одинакового сечения 173×590 мм, от готовых слябов отобраны пробы для оценки качества макроструктуры. Использовали следующую схему отбора проб: от слябов, соответствующих головной части слитка, пробы отбирали из центра поперечного сечения по всей длине, от остальных слябов – из центра поперечного сечения по одной пробе от каждого сляба. В общей сложности от каждого слитка отбирали по 18 проб.

В результате проведенного исследования макроструктуры установлено, что несплошности без скопления неметаллических включений (рис. 2, а) имеются на слябах, прокатанных из слитков обеих партий. Однако количество таких несплошностей на слябах, получен-

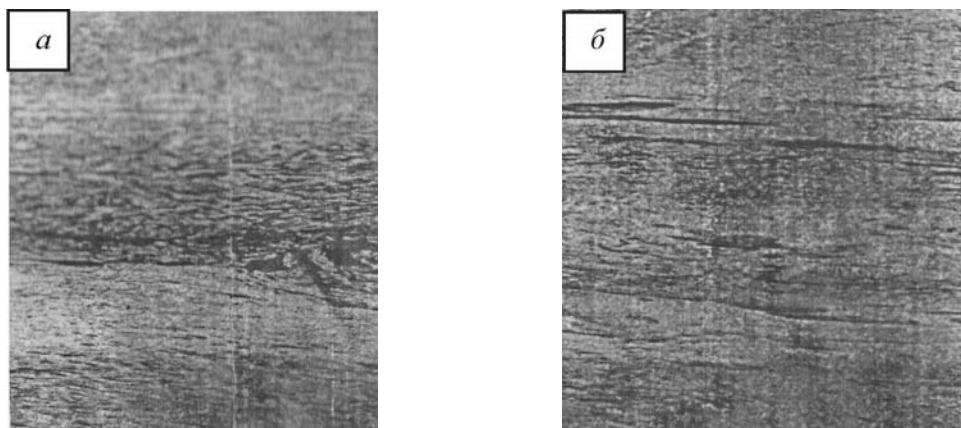


Рис. 2. Макроструктура слябов:
а – незаварившиеся несплошности, заполненные жидким шлаком; б – незаварившиеся несплошности без скопления неметаллических включений

Анализ макроструктуры слэбов

τ, ч – мин	Общее количество проб, шт.	Количество проб с незаварившимися несплошностями, шт.	Количество проб с незаварившимися несплошностями, %
		незаполненными шлаком заполненными шлаком	незаполненными шлаком заполненными шлаком
5 – 40	18	14/4	77,8/22,2
3 – 15	18	10/–	55,6/–

ных из слитков с меньшим временем нагрева, меньше в 1,4 раза (табл. 2). Кроме того, в макроструктуре проб от нагретых по традиционной технологии слитков в довольно значительном количестве (22 % от общего количества проб) имеются заполненные шлаком несплошности (рис. 2, б), а на слитках с меньшим временем нагрева такие дефекты отсутствуют.

В результате проведенного металлографического анализа установлено, что основными составляющими шлака являются оксиды железа, кремния, марганца, а также сложные соединения на их основе (фаялит Fe_2SiO_4). Состав шлака в несплошностях существенно отличается от состава конвертерного шлака. Конвертерный шлак содержит 43 – 52 % CaO ; 14 – 22 % SiO_2 ; 8 – 25 % FeO ; 2 – 6 % Fe_2O_3 ; 3 – 12 % MnO ; 3 – 7 % Al_2O_3 ; 1,5 – 4,0 % MgO ; 0,5 – 4,0 % P_2O_5 ; менее 3,0 % CaF_2 ; менее 1,0 % CaS (по массе). Таким образом можно сделать вывод, что в основном шлак в несплошностях образуется в результате окисления металла печной атмосферой при нагреве слитков под прокатку.

При увеличении времени нахождения слитков в нагревательных колодцах при высокой температуре повышается вероятность нарушения сплошности «моста» плотного металла (рис. 3), в результате чего происходят оголение усадочной раковины и окисление последней кислородом печной атмосферы с образованием шлака. Наличие в составе шлака фаялита с температурой плавления 1178 °С приводит к тому, что при нагреве слитков под прокатку до температуры 1300 °С шлак переходит в жидкое состояние и проникает в расположенные под усадочной раковиной поры (подсадочная рыхлость) (рис. 3). В процессе проведения опытных плавов присутствие шлака в жидкой фазе зафиксировано при наблюдении процесса обрезки концевых участков раската на ножницах после блюминга.

Для подтверждения полученных выводов о влиянии продолжительности нагрева слитков на качество их макроструктуры проведен анализ данных по 50-и плавкам стали 3пс текуще-

го производства, из которых слитки 25 плавов нагревали по технологии с повышенным теплосодержанием, а слитки оставшихся 25 плавов – по традиционной технологии для слитков горячего посада (согласно нормативов, приведенных в табл. 1). По результатам анализа производственных данных установлено, что при использовании технологии нагрева слитков с повышенным теплосодержанием количество дополнительной обрезки из-за наличия внутренних дефектов в среднем меньше в 1,9 раза количества обрезки при использовании традиционной технологии нагрева (табл. 3). Это подтверждается экспериментальными данными.

По полученным данным при нагреве слитков по технологии с повышенным теплосодержанием расходный коэффициент металла на прокат при переработке слитков в слэбы снижается на 1,5 кг/т (табл. 3). На уменьшение расходного коэффициента наибольшее влияние оказало снижение потерь в виде угара и окалины (1,2 кг/т), что обусловлено меньшей на 2,0 – 2,5 ч продолжительностью нагрева при использовании технологии нагрева слитков с повышенным теплосодержанием.

Кроме того, зафиксировано уменьшение количества технологической обрезки на ножни-

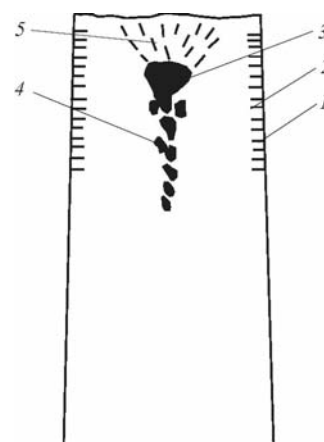


Рис. 3. Строение слитка полуспокойной стали:
1 – наружная корочка слитка; 2 – зона сотовых пузырей;
3 – усадочная раковина; 4 – подсадочная рыхлость;
5 – «мост» плотного металла

Сравнительный анализ величины отходов при производстве слабов из слитков, нагретых по различным технологиям

Показатель	Значение показателя при нагреве слитков		Отклонение
	с повышенным теплосодержанием	традиционном для слитков горячего посада	
Дополнительная обрезь по дефектам внутренней структуры, м/плавка	0,26	0,49	–0,23
Расходный коэффициент, кг/т	1104,8	1106,3	–1,5

цах после блюминга на 0,3 кг/т. Наличие технологической обрезки обусловлено необходимостью удаления концевых участков раската, имеющих отличную от правильной геометрическую форму после прокатки (дефект – торцевая утяжка). Соответственно протяженность такого дефектного участка определяет величину технологической обрезки. В данном случае уменьшение величины торцевой утяжки связано с более благоприятным распределением температур по сечению слитка при использовании технологии нагрева слитков с повышенным теплосодержанием. Более высокая температура металла в осевой зоне слитка по сравнению с температурой поверхностных слоев в момент прокатки способствует снижению развития торцевой утяжки, что подтверждается авторами исследований [2].

При уменьшении времени нагрева слитков существует вероятность выдачи в прокатку непрогретых слитков с пониженной пластичностью, что приведет к увеличению нагрузки на основное и вспомогательное оборудование, повысит вероятность возникновения поверхностных дефектов при прокатке. Проведенным анализом данных по вышеприведенной выборке из 50-и плавов стали марки 3пс установлено, что при использовании технологии нагрева слитков с повышенным теплосодержанием температура прокатки слитков на блюминге ниже температуры слитков, нагретых по традиционной технологии, в среднем на 10 °С, что не превышает погрешности измерительных приборов. Таким образом можно констатировать, что уменьшение времени нагрева слитков

в указанных пределах не приводит к снижению степени их прогрева.

Выводы. В результате промышленных экспериментов, проведенных в условиях ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК», установлено, что применение режимов ускоренной транспортировки и нагрева слитков с незатвердевшей сердцевинной позволяет улучшить макроструктуру слабов, получаемых из слитков. При этом не происходит ухудшения прогрева слитков.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Б о й к о В.С. Производство проката из слитков с жидкой сердцевиной // Сталь. 2001. № 9. С. 43 – 45.
2. М а н т у р о в В.В. Технология производства слабов при нагреве слитков с жидкой сердцевиной // Сталь. 1994. № 11. С. 38 – 40.
3. Т и л и к В.Г. Новые режимы нагрева слитков для прямой транзитной прокатки на комплексе слябинг – стан 1680 // Сталь. 2003. № 10. С. 29 – 31.
4. П и с а р е н к о В.Г. Влияние технологических факторов прокатного производства на дефектность заготовок сортамента обжимных цехов комбината «Криворож-сталь» // Производство проката. 2004. № 10. С. 27 – 32.
5. К а з а н ц е в Е.И. Энергосберегающая технология нагрева слитков. – М.: Металлургия, 1992. – 176 с.

© 2012 г. А.А. Уманский, А.В. Леонидов
Поступила 19 апреля 2012 г.