

УДК 621.793

А.А. Герасимова, доцент, канд. техн. наук,

А.Г. Радюк, профессор, д-р техн. наук,

А.Ю. Зарапин, профессор, д-р техн. наук

Национальный исследовательский технологический университет "МИСиС",

ул. Ленинский проспект, 4, г. Москва, Россия, 119049

allochka@rambler.ru

НАНЕСЕНИЕ ГАЗОТЕРМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ НА УЗКИЕ СТЕНКИ КРИСТАЛЛИЗАТОРА МНЛЗ

Показана эффективность нанесения газотермического покрытия на рабочую поверхность узких стенок кристаллизатора МНЛЗ с целью повышения качества получаемых заготовок. Экспериментально подтверждено, что нанесение покрытия приводит к уменьшению количества продольных, поперечных и сетчатых трещин на поверхности слабов, что повышает выход годного при последующей прокатке заготовок.

Ключевые слова: кристаллизатор, газотермическое покрытие, трещины, качество заготовок.

Введение. Износ рабочих поверхностей стенок кристаллизатора сопровождается увеличением воздушного зазора между ними и непрерывно формируемым слитком, что приводит к ухудшению условий охлаждения и разогреву поверхности кристаллизующегося металла и, в крайнем случае, – к прорыву корочки слитка под кристаллизатором на машине непрерывного литья заготовок (МНЛЗ). Нанесение различных покрытий на рабочие поверхности стенок кристаллизатора, приводит к повышению их стойкости, стабильности условий охлаждения разливаемого металла и уменьшению количества трещин на поверхности получаемых слабов [1].

Качество поверхности слабов определяется, в первую очередь, тепловым состоянием кристаллизатора МНЛЗ, которое в значительной мере зависит от соответствия профиля, образуемого стенками кристаллизатора, профилю поверхности формирующегося в нем непрерывнолитого слитка и условиями дальнейшего вторичного охлаждения слитка. От этого в значительной степени зависит пораженность поверхности слэба паукообразными трещинами. Кроме того, трещины на слэбах могут возникать при осуществлении разлива на криволинейных МНЛЗ, когда происходит загиб и разгиб слитка, что приводит также к плевкам на кромках прокатанного затем из них листа [2]. Значительное влияние на процесс образования трещин оказывает наличие в разливаемой на МНЛЗ стали нитридов и карбонитридов, что приводит к резкому уменьшению ее пластичности в температурном интервале хрупкости 700...950 °C [3]. Активное охлаждение краевых участков непрерывнолитого слитка приводит к тому, что температура металла на этих участках достигает верхней границы интервала хрупкости еще до выхода слитка из зоны разгиба, что значительно повышает вероятность образования и развития трещин.

Для повышения качества слэбов в России и в других странах в последние годы проводится активная реконструкция МНЛЗ, строятся новые машины, оснащенные системами контроля теплового состояния кристаллизатора и предупреждения прорывов корочки слитка. Разработанные методики расчета теплового состояния кристаллизатора слэбовой МНЛЗ позволяют выбирать геометрические параметры и материал рабочих поверхностей стенок кристаллизатора [4]. Рассчитав кривые усадки слитка в кристаллизаторе, авторы работы [5] выбирают необходимый профиль стенки кристаллизатора, который обеспечивает наиболее равномерный износ меди по длине кристаллизатора, а тем самым и равномерное охлаждение в нем металла. В условиях ОАО "Магнитогорский металлургический комбинат" были испытаны комплекты узких стенок с трехплоскостной конусностью по высоте [6], а в условиях ОАО "Северсталь" – со сложным параболическим профилем [7]. Эти мероприятия обеспечили более равномерный износ рабочих поверхностей узких стенок, и тем самым – равномерное охлаждение разливаемого металла. В результате было зафиксировано снижение пораженности поверхности слэбов трещинами.

Одним из первых российских металлургических предприятий, где начали применять покрытия на слэбовых кристаллизаторах, было ОАО "Северсталь". Низкая эффективность охлаждения кристаллизаторов со сверленными каналами и петлевой системой охлаждения могла привести к отслоению покрытия. Специалисты ООО "Корад" разработали новую конструкцию кристаллизатора, которая позволяет в старом корпусе использовать тонкие стенки со щелевыми каналами и прямоточной системой охлаждения. ООО "Корад" организовало работы по нанесению гальванического покрытия на бывшие в эксплуатации стенки кристаллизатора и провело его испытание в условиях ОАО "Северсталь" [8]. В ходе испытаний наносились покрытия двух видов фирмы "KME Europa Metal AG" (Германия): АМС-НН20 – покрытие из никеля твердостью 220 НВ и АМС-НН40 – покрытие из сплава никеля с

кобальтом твердостью 400 HV. В результате получены снижение доли слябов, пораженных поверхностными дефектами (примерно в 6 раз), и увеличение стойкости стенок кристаллизатора по износу. Испытания показали, что эффект по качеству для двух типов покрытия одинаковый. Также рабочую поверхность широких стенок по высоте кристаллизатора покрывали никелем не полностью, а нижнюю половину. Тем не менее, качество поверхности по паучообразным (сетчатым) трещинам соответствует качеству заготовок при осуществлении разливки через кристаллизаторы с полностью покрытыми рабочими поверхностями.

Целью данной статьи является поиск перспективных направлений для снижения интенсивности износа рабочих поверхностей стенок кристаллизатора МНЛЗ и повышения качества поверхности получаемых слябов путем нанесения различных покрытий на стенки кристаллизатора.

Основное содержание работы. В настоящее время на металлургических комбинатах гальванические покрытия используются только на тонкостенных щелевых кристаллизаторах МНЛЗ и не применяются для толстостенных кристаллизаторов. Решить проблему повышения качества поверхности слябов, полученных при разливке металла через толстостенные кристаллизаторы, может применение газотермических покрытий.

В условиях ОАО "Новолипецкий металлургический комбинат" были проведены экспериментальные исследования, в которых на рабочую поверхность узких стенок из меди М1Р регулируемого кристаллизатора газотермическим способом было нанесено покрытие на основе никелевого сплава. Требуемый класс чистоты рабочей поверхности стенок был обеспечен с помощью их механической обработки. Через кристаллизаторы с напыленными стенками (R-7) и без покрытия (R-3) сечением 250×1850 мм в конвертерном цехе №2 на МНЛЗ №5 было разлито 11 плавов высокомарганцовистой стали S355JR, на которой часто возникают различные трещины в заготовках.

При осмотре кристаллизатора R-7 после снятия с МНЛЗ на стенде без разборки и узких стенок после разборки кристаллизатора было установлено, что износ покрытия произошел лишь в углах в нижней части стенок. На остальной части рабочей поверхности узких стенок кристаллизатора покрытие осталось без изменений (рисунки 1 и 2).



Рисунок 1 – Кристаллизатор R-7 после снятия с МНЛЗ на стенде

В результате сравнительного анализа состояния поверхности слябов двух параллельных ручьев №9 и №10 МНЛЗ №5 с обычным (R-3) и опытным (R-7) кристаллизатором, соответственно, было отмечено меньшее количество продольных трещин в плавках №2, 3, 5, 9 и 11, разлитых через опытный кристаллизатор. Кроме того, в слябах плавки №3, разлитых через обычный кристаллизатор, были обнаружены поперечные трещины, в то время как на слябах, разлитых через опытный кристаллизатор, такие трещины отсутствовали.



Рисунок 2 – Узкие стенки кристаллизатора R-7 после его разборки

В результате металлографических исследований образцов, вырезанных из узких граней слэбов из последней плавки, отлитых через опытный и обычный кристаллизатор, было установлено, что сетчатые трещины занимали 0,1 и 6,6 % площади образцов, соответственно (таблица 1). Результаты прокатки листов из полученных слэбов представлены в таблице 2.

Таблица 1 – Анализ качества поверхности слэбов при отсутствии (ручей №9) и наличии покрытия (ручей №10) на узких стенках кристаллизатора

Номер разлитой плавки	Кристаллизатор	Количество трещин		Сетчатые трещины (% от площади образца)
		продольных	поперечных	
2	R-3	9	–	–
	R-7	7	–	–
3	R-3	14	5	–
	R-7	13	–	–
5	R-3	9	10	–
	R-7	6	10	–
9	R-3	9	10	–
	R-7	7	10	–
11	R-3	13	5	6,6
	R-7	11	5	0,1

Таблица 2 – Результаты прокатки слэбов, разлитых через опытный и обычный кристаллизатор

Номер ручья	Прокатано, т	Отсортировано листов, т				
		всего	в т.ч. по дефектам			
			продольные трещины	поперечные трещины по складке	поперечные трещины	плена
9	1737,8	74,8	28,2	33,5	13,1	0
10	1744,2	21,6	4,1	15	0	2,5

Из таблицы 2 видно, что отсортировано 1,2 % листов, полученных из слэбов, разлитых через кристаллизатор с покрытием (R-7) и 4,3 % – через обычный кристаллизатор (R-3).

Выводы. В результате экспериментальных исследований показано, что нанесение газотермического покрытия на рабочую поверхность узких стенок кристаллизатора приводит к уменьшению количества продольных, поперечных и сетчатых трещин на поверхности получаемых слэбов, что повышает выход годного металла при последующей их прокатке.

Перспективы дальнейших исследований в данной области. Более существенное повышение качества поверхности слэбов может быть достигнуто в случае одновременного напыления рабочих поверхностей узких и широких стенок кристаллизатора МНЛЗ.

Бibliографический список использованной литературы

1. Анализ влияния теплового состояния непрерывнолитых слэбов на пораженность их поверхностными ребровыми трещинами / А.Ю. Цупрун, А.В. Федосов, А.М. Скребцов и др. // *Металлургические процессы и оборудование*. – 2012. – №3. – С. 4-11.
2. Radyuk A.G. Use of electric-arc metallization to recondition the working surfaces of the narrow walls of thick-walled slab molds / A.G. Radyuk, S.M. Gorbatyuk, A.A. Gerasimova // *Metallurgist*. – 2011. – Vol. 55, Nos. 5–6. – P. 419-423.
3. Непрерывная разливка стали на слэбовые заготовки в России / В.М. Паршин, В.В. Бусыгин, А.Д. Чертов и др. // *Сталь*. – 2009. – №8. – С. 17-24.
4. Анализ тепловой работы кристаллизатора слэбовой МНЛЗ / А.Н. Смирнов, А.Ю. Цупрун, Е.В. Штепан и др. // *Сталь*. – 2011. – №5. – С. 19-21.
5. Результаты опытной эксплуатации новой конструкции узких стенок кристаллизатора слэбовых МНЛЗ / Бердников С.Н., А.Е. Позин, А.А. Подосян и др. // *Сталь*. – 2011. – №5. – С. 21-23.
6. Расчет формы поверхности узкой стороны слэба в зоне кристаллизатора / А.А. Макрушин, А.В. Куклев, Ю.М. Айзин и др. // *Сталь*. – 2004. – №4. – С. 27-30.
7. Опыт эксплуатации узких стенок слэбового кристаллизатора с оптимизированной формой рабочей поверхности / А.А. Макрушин, С.В. Зарубин, Ю.М. Айзин и др. // *Сталь*. – 2008. – №4. – С. 17-18.
8. Российский опыт применения покрытий на медных стенках слэбовых кристаллизаторов / А.В. Куклев, Ю.М. Айзин, А.А. Макрушин и др. // *Сталь*. – 2007. – №3. – С. 17-18.

Поступила в редакцию 23.01.2014 г.

Герасимова А.А., Радюк А.Г., Зарапин А.Ю. Нанесення газотермічних покриттів на вузькі стінки кристалізатора МБЛЗ

Показано ефективність нанесення газотермічного покриття на робочу поверхню вузьких стінок кристалізатора МБЛЗ з метою підвищення якості отримуваних заготовок. Експериментально підтверджено, що нанесення покриття призводить до зменшення кількості поздовжніх, поперечних і сітчастих тріщин на поверхні слэбів, що підвищує вихід придатного при подальшій прокатці заготовок.

Ключові слова: кристалізатор, газотермічне покриття, тріщини, якість заготовок.

Gerasimova A.A., Radyuk A.G., Zarapin A.Y. Application of thermal spray coatings for narrow walls of the mold caster

The effectiveness of the application of thermal coating on the working surface of narrow walls of the mold caster to improve the quality of the workpieces. Experimentally confirmed that the coating reduces the amount of longitudinal, transverse, and cross-linked surface cracks of slabs, which improves the yield at the subsequent rolling of billets.

Keywords: mold, thermal coatings, cracks, quality pieces.