

УДК 621.793

А.А. Герасимова /к.т.н./, А.Г. Радюк /д.т.н./, А.Е. Титлянов /к.т.н./

Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» (Москва)

ПРИМЕНЕНИЕ ХРОМОНИКЕЛЕВОГО ПОКРЫТИЯ НА УЗКИХ СТЕНКАХ КРИСТАЛЛИЗАТОРОВ МНЛЗ

Проведены исследования по повышению срока службы кристаллизаторов машин непрерывного литья заготовок (МНЛЗ) на их узких стенках из меди М1 перед последним ремонтом путем создания жаростойкого износостойкого слоя напыления хромоникелевого покрытия. Целью работы является исследование структуры покрытия, состава фаз, твердости и микротвердости поверхностных слоев хромоникелевого газотермического покрытия и на основании полученных результатов оценка возможности нанесения такого покрытия на рабочую поверхность узких стенок толстостенных кристаллизаторов МНЛЗ для повышения их стойкости.

Ключевые слова: кристаллизатор, узкая стенка, хромоникелевое газотермическое покрытие, структура, фазовый состав, микротвердость.

Износ рабочих поверхностей стенок кристаллизатора слябовых машин непрерывного литья заготовок (МНЛЗ) 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. 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 слябов.

Известно, что многие детали оборудования металлургического производства (кристаллизаторы, конвертерные и доменные фурмы и т.д.) изготавливают из меди и ее сплавов, которые имеют высокие электро- и теплопроводность. В то же время, медь имеет низкие жаростойкость и износостойкость. Опыты показали, что оксиды меди не сопротивляются тепловым ударам и разрушаются после первой же теплосмены, а также отслаиваются при испытании на трение [1].

Одним из способов повышения эксплуатационных свойств изделий из меди является термодиффузионное насыщение поверхности легирующими элементами. Одним из основных элементов, используемым для насыщения, является алюминий. Алитирование можно проводить, например, методом насыщения в порошковой смеси, состоящей из 50 % алюминиевой пудры, 49 % Al_2O_3 и 1 % NH_4Cl . Износостойкость алитированных образцов из меди увеличивается в 1,3 раза. Однако метод диффузионного насыщения в порошковых смесях является сравнительно

трудоемким и обладает низкой производительностью.

Наиболее перспективным направлением снижения интенсивности износа рабочих поверхностей стенок кристаллизатора МНЛЗ в настоящее время считается нанесение различных покрытий на стенки кристаллизатора [2]. ООО «Корад» организовало работы по нанесению гальванического покрытия на стенки бывшего в эксплуатации кристаллизатора и провело испытания в условиях ОАО «Северсталь» [3]. В ходе испытаний наносили покрытия двух видов фирмы «КМЕ Europa Metal AG» (Германия): из никеля твердостью 220 HV и из сплава никеля с кобальтом твердостью 400 HV. В результате получено увеличение стойкости стенок кристаллизатора по износу для обоих видов покрытия. Однако гальванические покрытия используются только на тонкостенных щелевых кристаллизаторах МНЛЗ и не применяются для толстостенных кристаллизаторов. Решить проблему повышения стойкости стенок толстостенных кристаллизаторов может применение газотермических покрытий [4,5]. Технологический процесс напыления позволяет получать требуемую производительность нанесения покрытия и характеризуется относительно небольшой трудоемкостью.

В результате напыления алюминиевого газотермического покрытия на медь и последующей термообработки образуется диффузионный слой с жаростойкостью и износостойкостью, не уступающими свойствам, полученным с использованием метода диффузионного насыщения из порошков.

Как показали эксперименты, термообработка стенок с алюминиевым газотермическим покры-

тием в защитной среде при температуре 900 °С и времени выдержки 10 ч, необходимых для создания требуемой толщины диффузионного слоя, приводит к их короблению в результате данного процесса, которое не устраняется механическим способом [6]. Поэтому необходимо было корректировать режимы термообработки или нанести на стенки материал, не уступающий по свойствам Cu-Al диффузионному слою и не требующий термообработки. Так, покрытие из никелевого сплава было нанесено на всю рабочую поверхность двух узких стенок. Требуемый класс чистоты рабочей поверхности стенок был обеспечен с помощью механической обработки. При осмотре кристаллизатора с опытными стенками после разливки 11 плавов высокомарганцовистой стали S355JR было установлено, что износ покрытия в углах нижней части стенок составил 0,6-0,75 мм.

Для повышения стойкости узких стенок кристаллизатора использовали покрытие из хромоникелевого сплава. Сначала покрытие напыляли на образцы из меди М1. Исследовали структуру покрытия, состав фаз, твердость и микротвердость поверхностных слоев.

Структура Cr-Ni слоя на образцах 1 и 2 иден-

тична (рис. 1 и 2). На границе раздела «покрытие-медная основа» участков несплошного прилегания Cr-Ni слоя не наблюдается. Глубина диффузии никеля в медную основу составляет 30 мкм, глубина диффузии хрома – до 5 мкм (микронное исследование).

Толщины нанесенных слоев приведены в табл. 1.

Локальный химический анализ фаз диффузионных слоев проведен на растровом электронном микроскопе (диапазон анализируемых элементов от Be до U, диаметр зонда примерно 1 мкм, предел чувствительности 0,1 %).

Покрытие на образцах с Cr-Ni слоем состоит из трех фаз: темной, содержащей наибольшее количество хрома и кислорода: [Cr] до 63,4 %, [O] до 33,4 %; светлой, в составе которой обнаружено максимальное количество никеля до 89 % и серой фазы с максимальным содержанием железа до 3,4 %.

Элементный состав фаз на образцах идентичен и представлен в табл. 2. Средние значения микротвердости фаз исследуемых образцов приведены в табл. 3.

При твердости медной основы, равной 53,2 HR15T, твердость поверхностных слоев на ис-

Табл. 1. Толщины нанесенных слоев исследуемых образцов

№ образца	Общая толщина нанесенных слоев, мкм			Средняя толщина Cr-Ni слоя, мкм
	средняя	минимальная	максимальная	
1	150	100	210	150
2	140	80	230	140

Табл. 2. Локальный химический состав фаз

Химические элементы	Cr-Ni слой, %		
	светлая фаза	темная фаза	серая фаза
Si	0,5		0,3-0,5
Ni	83,9-89	3,2-9,1	63,9-73,5
Cr	9,2-14,4	59,5-63,4	10,5-12,4
Fe	1,2-1,3		1-3,4
O		31,4-33,4	21,9-24,9

Табл. 3. Средние значения микротвердости, МПа

№ образца	Основа	Cr-Ni слой		
		светлая фаза	темная фаза	серая фаза
1	580	2440	9970	3900
2	580	3000	9900	4100

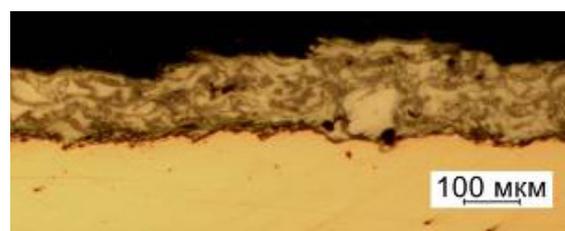
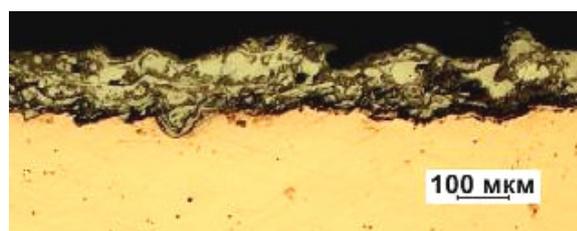


Рис. 1. Образцы 1 (слева) и 2 (справа) медного листа с Cr-Ni напылением

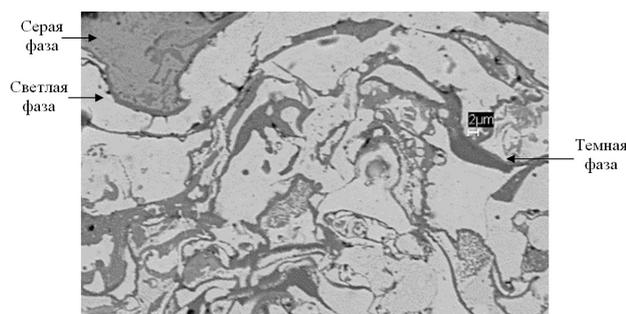
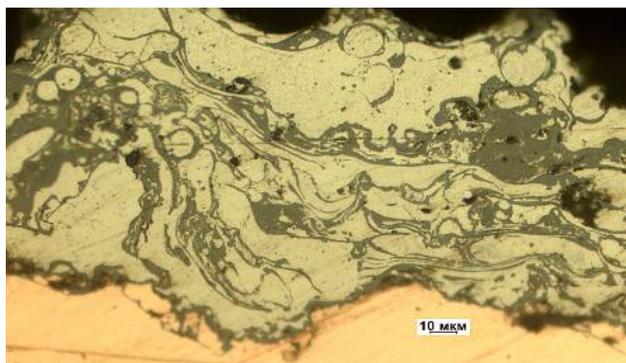


Рис. 2. Структура Cr-Ni слоя



Рис. 3. Стенка кристаллизатора МНЛЗ после напыления хромоникелевого покрытия

следованных образцах примерно одинаковая и составляет 68,9-70 HR15T, т.е. в 1,3 раза больше твердости основного металла.

Хромоникелевое газотермическое покрытие толщиной 0,5-0,6 мм с выше исследованной структурой и свойствами было нанесено на поверхность пары узких стенок толстостенного кристаллизатора МНЛЗ (рис. 3) (в работе принимал участие Н.И. Крикунов).

В связи с тем, что для получения требуемого класса чистоты поверхности стенок необходима их механическая обработка шлифованием, тре-

буется проведение работ по увеличению толщины хромоникелевого покрытия.

Выводы

1. Отсутствие участков несплошного прилегания Cr-Ni слоя на границе раздела «покрытие-медная основа», глубина диффузии никеля и хрома в основу, элементный состав и средние значения микротвердости фаз диффузионных слоев, а также твердость поверхностных слоев свидетельствуют о получении покрытия высокого качества, приемлемого для нанесения на рабочую поверхность узких стенок толстостенных кристаллизаторов МНЛЗ.

2. Для проведения более качественной механической обработки стенок, обеспечивающей требуемый класс чистоты их поверхности, требуется проведение работ по увеличению толщины хромоникелевого покрытия.

Список литературы

1. Pesin A., Salganik V., Pustovoitov D. Modeling of Surface Crack Form Change of Continuously Cast Slabs in Roughing Rolling at Wide Strip Mill 2000 / Proc. of the 13th International Conference on Metal Forming 2010, Toyohashi, Japan, September 19-22, 2010. – Toyohashi, 2010. – P. 82-86.
2. Результаты применения кристаллизаторов с упрочняющим покрытием в слябовой МНЛЗ с вертикальным участком в электросталеплавильном цехе ОАО «ММК» / С.Н. Ушаков, Ю.М. Желнин, А.Г. Алексеев и др. // Горный журнал. Черные металлы. Специальный выпуск. – 2012. – С. 49-50.
3. Российский опыт применения покрытий на медных стенках слябовых кристаллизаторов / А.В. Куклев, Ю.М. Айзин, А.А. Макрушин и др. // Сталь. – 2007. – №3. – С. 17-18.
4. Радюк А.Г., Титлянов А.Е. Совершенствование работы деталей металлургического оборудования из меди напылением газопламенных покрытий / Сталь. – 2011. – №3. – С. 7-9.
5. Gerasimova A.A., Radyuk A.G., Glukhov L.M. Applying Coatings to the Narrow Walls of Continuous-Caster Molds to Improve the Quality of the Surface of Slabs / Metallurgist. – 2014. – Vol.58, Issue 5-6. – P. 397-400.
6. Gerasimova A.A., Radyuk A.G., Titlyanov A.E. Creation of a diffusional aluminum layer on the narrow walls of continuous-casting molds / Steel in Translation. – 2015. – Vol.45, Issue 3. – P. 185-187.

Статья поступила 16.01.2016 г.

© А.А. Герасимова, А.Г. Радюк, А.Е. Титлянов, 2016