

УДК 621.793

Горбатюк С. М. /д. т. н./,
Герасимова А. А. /к. т. н./, Радюк А. Г. /д. т. н./
Национальный исследовательский
технологический университет «МИСиС»

Использование покрытия для получения диффузионного слоя на стенках кристаллизаторов МНЛЗ

В работе проведены исследования способов повышения стойкости узких стенок кристаллизаторов машин непрерывного литья заготовок (МНЛЗ). Для повышения срока службы кристаллизаторов МНЛЗ на их отработанных узких стенках из меди М1 и медного сплава МН2,5CoKrCh создавали диффузионные слои напылением алюминия с последующей термической обработкой. В качестве основных показателей работоспособности диффузионного слоя использовали его толщину и микротвердость. Рекомендовано нанесение на рабочие узкие стенки кристаллизатора алюминиевого газотермического покрытия с последующей термической обработкой в защитной среде по скорректированным режимам и испытание кристаллизатора на МНЛЗ с оценкой состояния стенок в процессе эксплуатации и изменения качества разливаемого металла. Ил. 2. Табл. 3. Библиогр.: 11 назв.

Ключевые слова: узкая стенка, кристаллизатор МНЛЗ, газотермическое покрытие, термообработка, диффузионный слой

Investigations of ways to increase firmness of narrow walls of continuous-casting moulds (CC machine) are fulfilled in the article. To increase working time of CC machine mould on their worked-out narrow walls made of copper M1 and copper alloy MN2, 5CoKrCh there were created diffused layers with aluminum spatter with further thermal processing. As main aspects of working capacity of diffused layer there were used its thickness and microhardness. On the narrow walls of the mould it is recommended to apply aluminium gas-thermal coating with further thermal processing in the protective medium according to adjusted regimes and mould testing on CC machine with evaluation of walls condition during exploitation and change of quality of casted metal.

Keywords: narrow wall, CC machine mould, gas-thermal coating, heat treatment, diffused layer

Актуальность работы

Многие детали оборудования металлургического производства (кристаллизаторы, конвертерные и доменные фурмы и т. д.) изготавливают из меди и ее сплавов, которые имеют высокие показатели электро- и теплопроводности [1]. В то же время медь имеет низкие показатели жаростойкости и износостойкости [2]. Опыты показали, что оксиды меди не сопротивляются тепловым ударам и разрушаются после первой же теплосмены, а также отслаиваются при испытании на трение.

Одним из способов повышения эксплуатационных свойств изделий из меди является термодиффузионное насыщение поверхности легирующими элементами [3]. 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 [4].

Испытание [5] меди марки М1 с покрытием на окисление при 850 °С на воздухе показало, что термодиффузионное алитирование яв-

ляется перспективной защитой меди от окисления. Алитированные образцы окисляются значительно медленнее, быстро наступает стабилизация процесса; по-видимому, их окисление происходит по логарифмической зависимости. Образцы алитированной меди после окисления имеют плотный и прочный оксидный слой, который не отслаивается в условиях теплосмен.

Что касается износостойкости, то у алитированных образцов из меди она увеличивается в 1,3 раза [6].

Однако метод диффузионного насыщения в порошковых смесях является сравнительно трудоемким и обладает низкой производительностью. В настоящее время для получения диффузионных слоев на деталях металлургического оборудования применяется метод газотермического напыления покрытий с последующей термообработкой [7]. Стандартное оборудование для напыления таких покрытий является сравнительно компактным и дешевым, ничем не лимитируются размеры покрываемых деталей и возможно напыление локальных и односторонних покрытий [8, 9]. Технологический процесс

напыления позволяет получать требуемую производительность нанесения покрытия и характеризуется относительно небольшой трудоемкостью [10].

В результате напыления газотермических покрытий на медь и ее сплавы и последующей термообработки образуется диффузионный слой [11] с жаростойкостью и износостойкостью, не уступающим свойствам, полученным с использованием метода диффузионного насыщения из порошков, необходимым для повышения срока службы оборудования металлургического производства.

Цель работы

Повышение качества разливаемого металла путем нанесения алюминиевого газотермического покрытия на рабочую поверхность узких стенок, кристаллизаторов машин непрерывного литья заготовок.

Материалы и результаты исследований

В настоящее время на ряде заводов в качестве материалов для изготовления стенок кристаллизаторов МНЛЗ используют медь марки М1, а также медно-никелевый сплав МН2,5КoКрХ. Поэтому для исследований использовали отработанные узкие стенки кристаллизаторов из этих материалов.

В работе диффузионные слои создавали на поверхности меди М1 и медного сплава МН2,5КoКрХ напылением алюминия толщиной около 1,5 мм с последующим диффузионным отжигом при $t = 800^\circ\text{C}$ в течение 10 ч в окислительной среде.

Было установлено, что на поверхности меди М1 наблюдается упрочняющий диффузионный слой толщиной до 1,5 мм, а сплава МН2,5КoКрХ – 0,6-1,4 мм, что объясняется сдерживанием диффузионного процесса содержащимися в нем легирующими элементами. В любом случае толщина диффузионного слоя не превышает толщину напыляемого покрытия.

Для выяснения причин уменьшения толщины диффузионного слоя на сплаве МН2,5КoКрХ были проведены металлографические и микрорентгеноспектральные исследования. Покрытие наносили на стенку из сплава МН2,5КoКрХ, микротвердость диффузионного слоя измеряли на микротвердомере ПМТ-3 (табл. 1).

Микроструктура диффузионного слоя состоит из эвтектоида ($\alpha + \gamma_2$) и выделений α -фазы и γ_2 -фазы по границам зерен. В структуре слоя можно выделить несколько зон:

- в поверхностной зоне на фоне эвтектоида наблюдаются зерна серого цвета γ_2 -фазы;
- средняя зона состоит из светлых зерен α -фазы и темных полей эвтектоида ($\alpha + \gamma_2$) разной степени дисперсности (рис. 1);
- зона, примыкающая к линии раздела слой-металл, представляет собой светлые зерна α -фазы.

Поверхность слоя исследуемых образцов характеризуется наличием пор глубиной от 0,1 до 0,4 мм.

Фазовый состав диффузионного слоя, распределение Al и других химических элементов в зоне, прилегающей к линии раздела слой-металл, определяли микрорентгеноспектральным методом на приборе «Сamebax». Результаты исследования приведены в табл. 2.

Известно, что ресурс работы диффузионного слоя, создаваемого на медных деталях металлургического оборудования, определяется, прежде всего, его толщиной. Увеличение толщины напыляемого покрытия и повышение температуры и времени термообработки, как правило, приводят к увеличению толщины диффузионного слоя. Однако увеличение толщины напыляемого покрытия сопровождается снижением его адгезии, а повышение температуры термообработки – сильным окислением покрытия и непокрытых участков медной основы. В связи с этим для увеличения толщины диффузион-

Таблица 1

Микротвердость диффузионного слоя

№ обр.	Состав покрытия	Микротвердость, кг/мм ²			
		Поверхность диффузионного слоя	Середина диффузионного слоя	Граница слой-металл	Основной металл
1	Al	367	272	190	110

Таблица 2

Результаты микрорентгеноспектрального анализа диффузионного слоя

№ обр.	Состав покрытия	Содержание химических элементов, %									
		фаза ближе к поверхности диффузионного слоя			фаза в середине диффузионного слоя				фаза ближе к границе раздела слой-металл		
		Al	Ni	Cr	Al	Ni	Cr	Si	Al	Ni	Si
1	Al	18,1-22,3	1,5-1,6	0	14,0-14,8	3,5-4,1	0	0,1-0,3	11,5-11,8	4,0-4,2	0,8-1,7



Рис. 1. Микроструктура диффузионного слоя (образец № 1), ×500

ного слоя диффузионный отжиг покрытий на меди проводили в защитной среде (95 % N₂, 5 % H₂ или H₂) при температурах 800-900 °С в течение 10 ч.

В работе исследовали образцы из меди М1с алюминиевым покрытием. Маркировка образцов: № 1 – без диффузионного отжига, остальные – после диффузионного отжига (табл. 3).

Основные результаты исследований образцов с покрытием представлены в табл. 3.

Таблица 3

Влияние толщины алюминиевого покрытия, режима термообработки и защитной среды на толщину и микротвердость диффузионного слоя

№	h _П , мм	t, °С / τ, ч	Среда	h _{д.с.} , мм	Микротвердость, H _н , МПа
1	1,1-1,5	-	-	-	310
2	1,0	800/10	95 % N ₂ 5 % H ₂	0,7-0,9	1650-3010
3	1,5	850/10	H ₂	3,8-4,0	1490-3880
4	1,0	900/10	95 % N ₂ 5 % H ₂	2,3-2,4	1180-2100
5	1,0	900/10	H ₂	2,6-3,0	1420-1510
6	1,5	900/10	H ₂	3,3-4,0	1350-2750
7	2,5	900/10	95 % N ₂ 5 % H ₂	4,0-4,6	1140-3330

Далее на поверхность двух пар выведенных из эксплуатации узких стенок кристаллизаторов было нанесено алюминиевое газотермическое покрытие толщиной около 2,0 мм. Одна пара прошла термообработку в защитной среде (95 % N₂, 5 % H₂) при температуре 800 °С в течение 10 ч, а другая в защитной среде (H₂) при температуре 900 °С в течение 10 ч (рис. 2).

В результате исследований образцов из стенки первой пары толщина диффузионного слоя составила 0,9-1,2 мм, а его микротвердость 1650-3250 МПа. Однако такой толщины недостаточно



Рис. 2. Стенки кристаллизатора после термообработки в защитной среде (H₂) при температуре 900 °С в течение 10 ч

для механической обработки поверхности стенок со стороны покрытия и получения остаточных значений толщин, обеспечивающих значительное увеличение их срока службы.

Осмотр второй пары стенок показал, что их термообработка в защитной среде при температуре 900 °С и времени выдержки 10 ч приводит к их короблению в результате данного процесса, которое не устраняется механическим способом.

Выводы

Результаты исследований повышения стойкости узких стенок кристаллизаторов МНЛЗ позволяют заключить следующие:

- существуют режимы термообработки, обеспечивающие получение диффузионного слоя на поверхности медных образцов без язвин и размывов, толщиной более 4,0 мм и высокой твердости;

- увеличение толщины напыляемого покрытия и повышение температуры термообработки, как правило, приводят к увеличению толщины диффузионного слоя;

- изменение защитной среды с 95 % N₂ + 5 % H₂ на 100 % H₂ практически не влияет на толщину диффузионного слоя;

- максимальная толщина диффузионного слоя h_{д.с.} = 4,0-4,6 мм достигается при t = 900 °С и h_П = 2,5 мм;

- микротвердость диффузионного слоя в 2-6 раз превосходит микротвердость меди и составляет 1140-3880 МПа против 460-590 МПа на медной основе;

- необходимо нанесение на рабочие узкие стенки кристаллизатора алюминиевого газотермического покрытия с последующей термической обработкой в защитной среде по скорректированным режимам и испытание кристалли-

затора на МНЛЗ с оценкой состояния стенок в процессе эксплуатации и изменения качества разливаемого металла.

Библиографический список

1. Новиков И. И. Теория термической обработки металлов. – М.: Metallurgia, 1986. – 480 с.

2. Формирование диффузионных слоев на поверхности меди и ее сплавов / А. Г. Радюк, А. Е. Титлянов, А. Е. Украинцев // Цветные металлы. – 2007. – № 5. – С. 95-97.

3. Зайт В. Диффузия в металлах. – М.: Metallurgia, 1966. – 654 с.

4. Минкевич А. Н. Химико-термическая обработка металлов и сплавов. – М.: Машиностроение, 1965. – 491 с.

5. Окалиностойкость и сопротивление истиранию меди, диффузионно-насыщенной алюминием, никелем, цирконием / Н. Г. Вавиловская, Л. Г. Тимонина // Защитные покрытия на металлах. – 1971. – Вып. 5. – С. 177-179.

6. Жаростойкость и коррозионная стойкость меди и бронзы после алитохромирования / Г. Н. Дубинин, В. С. Соколов // Защитные покрытия на металлах. – 1979. – Вып. 13. – С. 79-82.

7. Совершенствование работы деталей металлургического оборудования из меди напылением газопламенных покрытий / А. Г. Радюк, А. Е. Титлянов // Сталь. – 2011. – № 3. – С. 7-9.

8. Какуевичкий В. А. Применение газотермических покрытий при изготовлении и ремонте машин. – Киев: Техника, 1989. – 174 с.

9. Radyuk A. G., Gorbatyuk S. M., Gerasimova A. A. Use of electric-arc metallization to recondition the working surfaces of the narrow walls of thick-walled slab molds // Metallurgist. – 2011. – Vol. 55. – Nos. 5-6. – P. 419-423.

10. Поляк М. С. Технология упрочнения: в 2-х т. – М.: Машиностроение, 1995. – 832 с. ISBN 5-217-02810-6, Т. 1.

11. Свойства поверхностного слоя на меди, образующегося после нанесения и термообработки алюминиевого газотермического покрытия / А. Г. Радюк, А. Е. Титлянов, Э. М. Самедов // Изв. ВУЗов. Цветная металлургия. – 2007. – № 3. – С. 70-74.

Поступила 12.05.2015

