

УДК 621.9.048.4

DOI: 10.30987/article_5d6cbe428ab026.77335497

А.В. Макаров, А.Е. Кудряшов, А.А. Владимиров, А.П. Титова

ПРИМЕНЕНИЕ НАПЛАВОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ ТУГОПЛАВКИМИ КОМПОНЕНТАМИ, ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ РОЛИКОВ МАШИН НЕПРЕРЫВНОГО ЛИТЬЯ ЗАГОТОВОК

Приведены результаты исследований, направленных на изучение возможности применения наплавочного материала ASM 4603-SA, модифицированного тугоплавкими компонентами, для восстановления роликов машин непрерывного литья заготовок. Показано, что такой материал обладает высокой износостойкостью и стойкостью к

образованию трещин в результате циклических высокотемпературных воздействий.

Ключевые слова: машины непрерывного литья заготовок, МНЛЗ, ролики, электродуговая наплавка, карбид вольфрама, нитрид бора гексагональный, износостойкость, теплостойкость.

A. V. Makarov, A. E. Kudryashov, A. A. Vladimirov, A. P. Titova

USE OF SURFACING MATERIALS MODIFIED WITH REFRACTORY COMPONENTS FOR REDUCTION OF ROLLERS IN BLANK CONTINUOUS CASTING MACHINES

At metallurgical enterprises the worn out rollers of BCCM are reduced by means of a surfacing technology. In most cases the rollers of BCCM are made of heat-resistant steel of 20H13 and 25H1M1F grades and others and their reduction is carried out by surfacing with the use of powder wire, for instance PP-Np-25H5FMS. Life increase of the reduced rollers of BCCM twice as many and more is an urgent problem requiring the use of more wear-resistant materials.

The paper reports the results of X-ray structural, phase, structural, tribological, thermocyclic investigations directed to the analysis of the possibility in use of ASM 4603-SA filler modified with 3% of refractory components of tungsten carbide (TC) and 0.2% hexagonal boron nitride (BN) for roller reduction of blank

continuous casting machines.

It is defined that ASM 4603-SA powder wire application with the refractory component addition is promising for roller surfacing reduction in BCCM. As a result of mentioned material electro-arc surfacing on the roller surface of BCCM there is formed a wear-resistant layer with hardness up to 57 HRC resistant to a crack formation and burn back grid as a result of cyclic high-temperature impacts characterized with the decreased friction coefficient in comparison with the layer surfaced with the basic material.

Key words: blank continuous casting machine, BCCM, rollers, electric arc surfacing, tungsten carbide, hexagonal boron nitride, wear-resistance, heat-resistance.

Введение

Для сталеплавильных производств важное значение имеют исследования и разработки, направленные на повышение производительности и стабильности процесса разлива стали на машинах непрерывного литья заготовок (МНЛЗ), одним из уязвимых мест которых являются ролики [1]. В условиях роста доли разлива стали на МНЛЗ [2] проблема повышения стойкости роликов является актуальной.

В настоящее время на металлургических предприятиях восстановление изношенных поверхностей роликов МНЛЗ производится преимущественно с использованием технологии электродуговой наплавки материалами Св-20Х13, ПП-Нп-25Х5ФМС и др.

Известно, что за рубежом достигнута

фактическая стойкость восстановленных наплавкой роликов, равная 3 000 000 т литой заготовки, а в отечественной металлургии – до 500 000 т. Различие связано с более высоким уровнем технологии наплавки, наплавочного материала и применяемого оборудования [3].

Увеличение стойкости восстановленных роликов МНЛЗ позволит сократить простой оборудования, прямые и косвенные затраты на ремонт.

Рабочая поверхность роликов МНЛЗ является объектом интенсивного механического и циклического теплового воздействия в результате движения по ним литой заготовки. Абразивный и адгезионный износ в сочетании с высокотемпературным окислением, а также усталостный износ

являются причиной разрушения рабочей поверхности роликов, что требует проведения работ по их восстановлению.

Стойкость роликов МНЛЗ зависит от многих факторов: применяемых материалов, технологии их изготовления, квалификации персонала, условий проведения термической обработки, оптимальности режимов эксплуатации, эффективности системы охлаждения, от конструкции как роликов, так и линий МНЛЗ, свойств рабочей поверхности.

На металлургических предприятиях изношенные ролики МНЛЗ восстанавливаются путем применения технологии наплавки. В большинстве случаев ролики МНЛЗ изготовлены из жаропрочных сталей (20X13, 25X1M1Ф и др.), а их восстановление осуществляется электродуговой наплавкой с применением проволок различных составов. Как правило, для восстановления роликов МНЛЗ, работающих при трении металла по металлу, используют низкоуглеродистые хромистые нержавеющие стали.

На сегодняшний день нет единого решения вопроса о выборе стали для изготовительной и восстановительной наплавки [4]. Условия реального производства часто индивидуальны и характерны для конкретного производителя.

Ранее [5] авторами проводились исследования по подбору оптимальных наплавочных материалов для восстановления роликов МНЛЗ с целью снижения износа функциональных поверхностей при эксплуатации и повышения их ресурса работы. В ходе лабораторных и промышленных испытаний было исследовано более 30

Методика исследований

В качестве материала подложек для наплавки применяли образцы из стали 20X13, используемой для изготовления роликов МНЛЗ. На подложки в 2-3 слоя (в зависимости от толщины проволоки) наплавлялись материалы ПП-Нп-25X5ФМС, ASM 4603-SA, модифицированный материал ASM 4603-SA с добавками 3% WC и 0,2% BN.

Для изготовления экспериментального состава проволоки ASM 4603-SA +

наплавочных материалов отечественного и импортного производства. По износостойкости, теплостойкости и экономической эффективности высокие результаты показал наплавочный материал ASM 4603-SA производства ООО «АСМ - Специальные наплавочные материалы» (г. Череповец) [5]. Наплавка материала производилась под слоем флюса ASM BM-21. Износостойкость роликов, восстановленных материалом ASM 4603-SA, оказалась в 1,48 раза выше износостойкости слоя, наплавленного проволокой ПП-Нп-25X5ФМС, часто применяемой в ремонтных цехах металлургических предприятий.

Увеличение срока службы восстановленных роликов МНЛЗ в два и более раз является актуальной задачей, требующей использования более износостойких материалов, способных сопротивляться вышеуказанным видам воздействия в течение длительного времени при условии сохранения экономической целесообразности применения таких материалов.

Для решения этой задачи совместно с производителем был модифицирован состав порошковой проволоки ASM 4603-SA за счет введения в ее шихту тугоплавких компонентов - порошка карбида вольфрама WC в количестве 3% для увеличения износостойкости и нитрида бора BN гексагонального в количестве 0,2% в качестве твердой высокотемпературной смазки.

Целью данной работы являлось изучение возможности применения порошковой проволоки ASM 4603-SA, модифицированной тугоплавкими компонентами, для восстановления роликов МНЛЗ.

3% WC + 0,2% BN диаметром 2,4 мм для электродуговой наплавки применяли:

- порошок карбида вольфрама WC3 (производства компании «Вольфрам», FSSS = 2,53);

- порошок нитрида бора BN гексагонального марки А (производства ООО «Платина»);

- ASM 4603-SA (Fe - основа, C - 0,30%, Si - 0,7%, Mn - 1,8%, Cr - 5,0%, Ni - 0,1%, Mo - 1,4%, V - 0,7%, W - 1,1%).

Концентрат шихты получали путем механического смешивания порошков в планетарной мельнице Fritsch Pulverisette 5. Далее концентрат в условиях ООО «АСМ - Специальные наплавочные материалы» смешивали с остальной шихтой в необходимых пропорциях. Отношение массы шихты к массе оболочки - 30:70. Эффективное смешивание компонентов внутри чаши смесителя происходило за счет ее сложного пространственного движения. Отсутствие лопастей внутри чаши позволило избежать истирания и разрушения частиц во время смешивания.

Рентгеноструктурный фазовый анализ образцов с наплавленными слоями проводили на дифрактометре ДРОН-4 с использованием монохроматического $\text{Co-K}\alpha$ -излучения (длина волны $1,79021 \text{ \AA}$) и $\text{Cu-K}\alpha$ -излучения (длина волны $1,54178 \text{ \AA}$). Съемка проводилась в режиме шагового сканирования в интервале углов $2\Theta = 10 \dots 130^\circ$, шаг съемки составлял $0,1^\circ$, экспозиция $2 \dots 4 \text{ с}$.

Обработка спектров проводилась при помощи программ качественного (PHAN) и количественного анализа (PHAN%), разработанных в НИТУ «МИСиС».

Твердость образцов с наплавленными слоями измерялась согласно ГОСТ 9013-59 «Металлы. Метод измерения твердости по Роквеллу» на твердомере TP 5006.

Шлифы готовили на полировальной машине StruersRotoPol-21 в автоматическом режиме. При шлифовании применялись последовательно шлифовальные бумаги Struers зернистостью карбида кремния SiC 120, 220, 500, 800, 1200, 4000.

Полирование образцов проводили с помощью суспензии из коллоидного оксида кремния O-PS (размер зерна $0,04 \text{ мкм}$).

Микроструктура наплавленных слоев исследовалась на оптическом микроскопе Neophot-32 и сканирующем электронном микроскопе HitachiS-3400N, оснащенный рентгеновским энергодисперсионным спектрометром NORAN.

Трибологические свойства образцов с наплавленными слоями оценивали в соответствии с международными стандартами ASTM G 99-959 и DIN 50324 на высокотемпературной машине трения High-

temperature Tribometer (CSM Instruments) по схеме pin-on-disk (рис. 1).

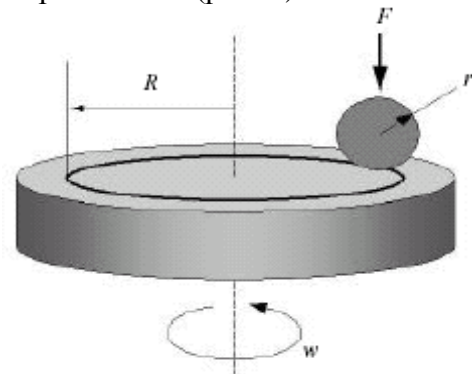


Рис. 1. Схема проведения эксперимента

В качестве контртела применяли шарик из Al_2O_3 диаметром 6 мм. Линейная скорость скольжения образцов выбрана равной 10 см/с , нагрузка - 5 Н . Зависимость коэффициента трения трущейся пары от длины пробега контртела, равной 500 м , строилась на компьютере с помощью программного обеспечения InstrumX.

Профиль дорожки износа исследовали на оптическом профилемере Veeco-Wyco NT1100.

Скорость износа определялась по формуле

$$W = sL/(Hl),$$

где W - скорость износа, $\text{мм}^3 \cdot \text{Н}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$; L - длина окружности, мм; s - площадь сечения износа канавки, мм^2 ; H - нагрузка, Н; l - путь трения, м.

Трибологические испытания проводились при температуре $700 \text{ }^\circ\text{C}$. Выбор температуры эксперимента был обусловлен результатами замеров температуры роликов тянуще-правильной МНЛЗ №2 АО «Оскольский электрометаллургический комбинат» (рис. 2) [5].

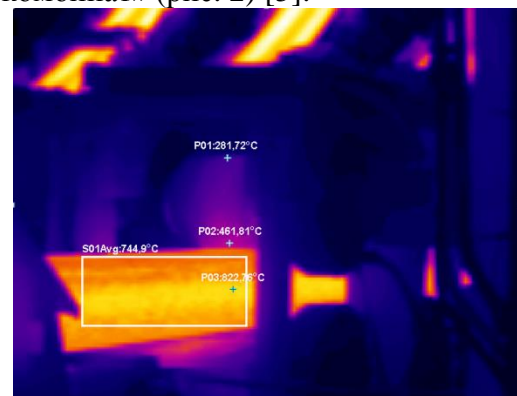


Рис. 2. Результаты измерения температуры ролика тянуще-правильной машины МНЛЗ в момент контакта с литой заготовкой

Измерения проводились тепловизором SDS HotFind-DXT. Результаты измерений показали, что температура поверхности ролика, контактирующего с литой заготовкой, составляет до 462°C (точка P02 на рис. 2). Таким образом, испытания проводились в более жестких температурных условиях, чем производственные.

Ролики МНЛЗ в процессе своей работы испытывают термоциклические нагрузки. Как видно из рис. 2, температура поверхности вращающихся с частотой 0,4 об/мин роликов меняется от 462 °C (точка P02) до 282 °C (точка P01). Наплавочные материалы ASM 4603-SA и ПП-Нп-25Х5ФМС в производственных условиях показывают высокую стойкость к таким перепадам температур. С целью

проверки способности модифицированного наплавочного материала сопротивляться термоциклическим нагрузкам были проведены испытания образцов на термостойкость.

Испытания на термостойкость проводились в муфельной лабораторной печи марки ЭКПС-10. Образцы с наплавленными слоями размерами 20×20×20 мм выдерживались в течение 30 минут в печи при температуре 900 °C, после чего охлаждались в воде, имеющей температуру 20 °C, в течение 30 секунд. Количество циклов «нагрев - охлаждение» равнялось 30.

Критерием термостойкости образцов с наплавленными слоями являлось наличие трещин после охлаждения.

Обсуждение результатов исследований

Фазовый состав наплавленных слоев представлен в табл. 1.

Таблица 1

Фазовый состав наплавленных слоев

Наплавленный материал	Фаза	Структурный тип	Символ Пирсона	Весовая доля, %	Периоды, Å
ПП-Нп-25Х5МФМС	α -Fe	typeA2	cI2	98	a = 2.872
	γ -Fe	typeA1	cF4	2	a = 3.587
ASM 4603-SA	γ -(Fe-Cr-C)	type A1	cF4	12	a = 3.601
	α -(Fe-Cr)	type A2	cI2	88	a = 2.880

Установлено, что основной фазой в образцах, наплавленных материалами ПП-Нп-25Х5ФМС и ASM 4603-SA, является α -Fe (мартенсит) - 98 и 88% соответственно. В слое, наплавленном проволокой ASM 4603-SA, содержится 12% аустенита (γ -Fe), в образце, наплавленном ПП-Нп-25Х5ФМС, - 2%.

Структура слоя, наплавленного порошковой проволокой ASM 4603-SA+3%WC +0,2%BN, приведена на рис. 3. Граница между подложкой и наплавленным слоем характеризуется отсутствием дефектов (рис. 3а). На рис. 3б видно, что в наплавленном слое имеются включения, которые представляют собой сульфид марганца MnS.

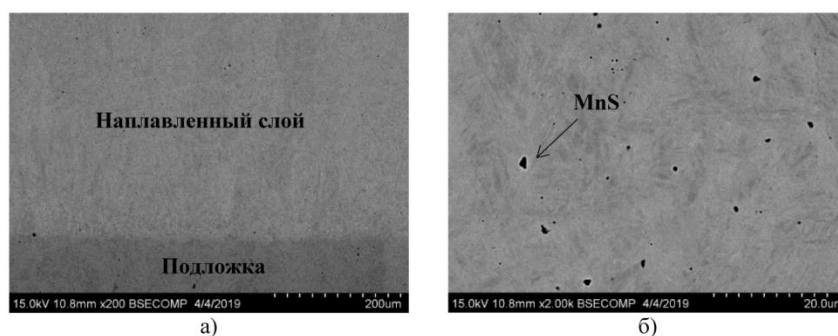


Рис. 3. Структура наплавленного слоя ASM 4603-SA + 3% WC + 0,2% BN

На рис. 4а приведен фрагмент наплавленного слоя, на рис. 4б - его дифрактограмма, а в табл. 2 - химический

состав. Видно, что содержание вольфрама составляет 2,3%.

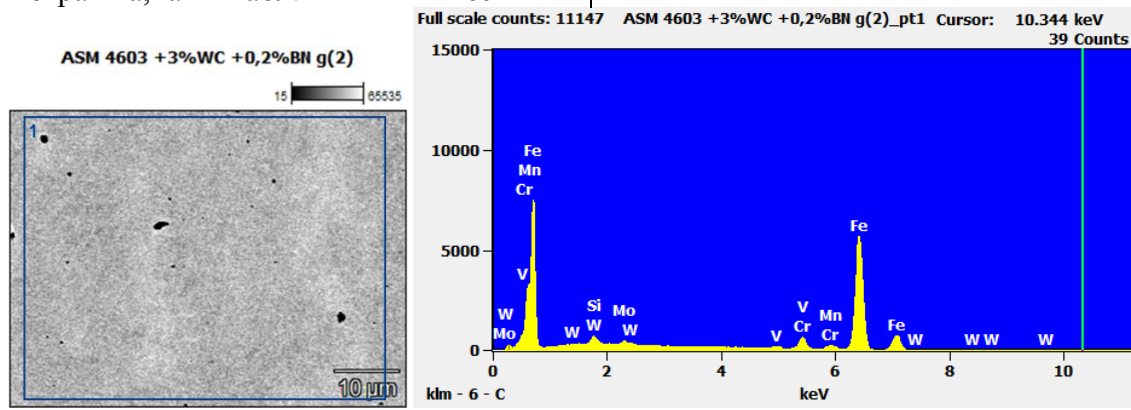


Рис. 4. Фрагмент наплавленного слоя ASM 4603-SA + 3% WC + 0,2% BN (а) и его дифрактограмма (б)

Таблица 2

Химический состав наплавленного слоя ASM 4603-SA + 3% WC + 0,2% BN, %

Область на рис. 4а	Si-K	V-K	Cr-K	Mn-K	Fe-K	Mo-L	W-M
1	0,4	1,1	4,4	2,2	88,6	1,1	2,2

Результаты исследований (коэффициент трения K_{mp} ,

скорость износа W) и измерений твердости наплавленных слоев приведены в табл. 3.

Таблица 3

Свойства наплавленных слоев

Наплавленный слой	Твердость HRC	Коэффициент трения K_{mp}	Скорость износа W , $\times 10^{-6} \text{ мм}^3 \cdot \text{Н}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$
ПП-Нп-25X5ФМС	50,04±1,05	0,54	44,6
ASM 4603-SA	52,45±1,77	0,56	31,7
ASM 4603-SA +3% WC +0,2% BN	57,37±0,64	0,52	21,5

На рис. 5 приведены зависимости коэффициента трения образцов с наплавленными слоями от длины пробега

контртела, на рис. 6 - профили дорожек износа образцов и их 3D-изображения.

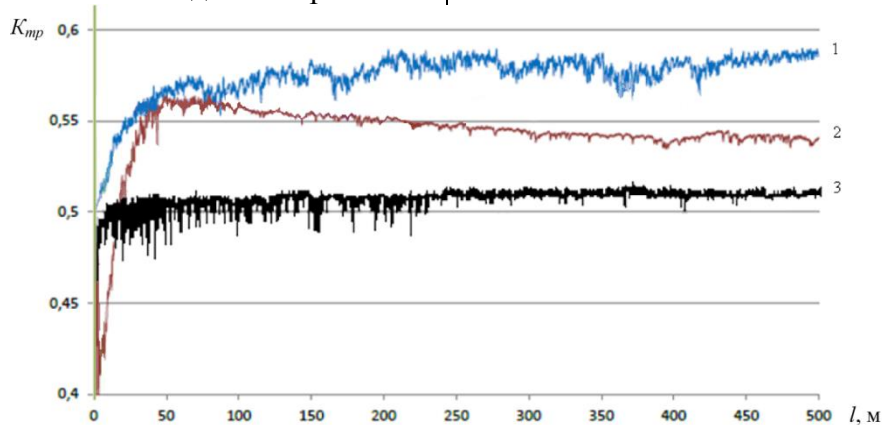


Рис. 5. Зависимость коэффициента трения образцов K_{mp} от длины пробега контртела: 1 – образец, наплавленный проволокой ASM 4603-SA; 2 – образец, наплавленный проволокой ПП-Нп-25X5ФМС; 3 – образец, наплавленный модифицированной проволокой ASM 4603-SA+3% WC+0,2% BN

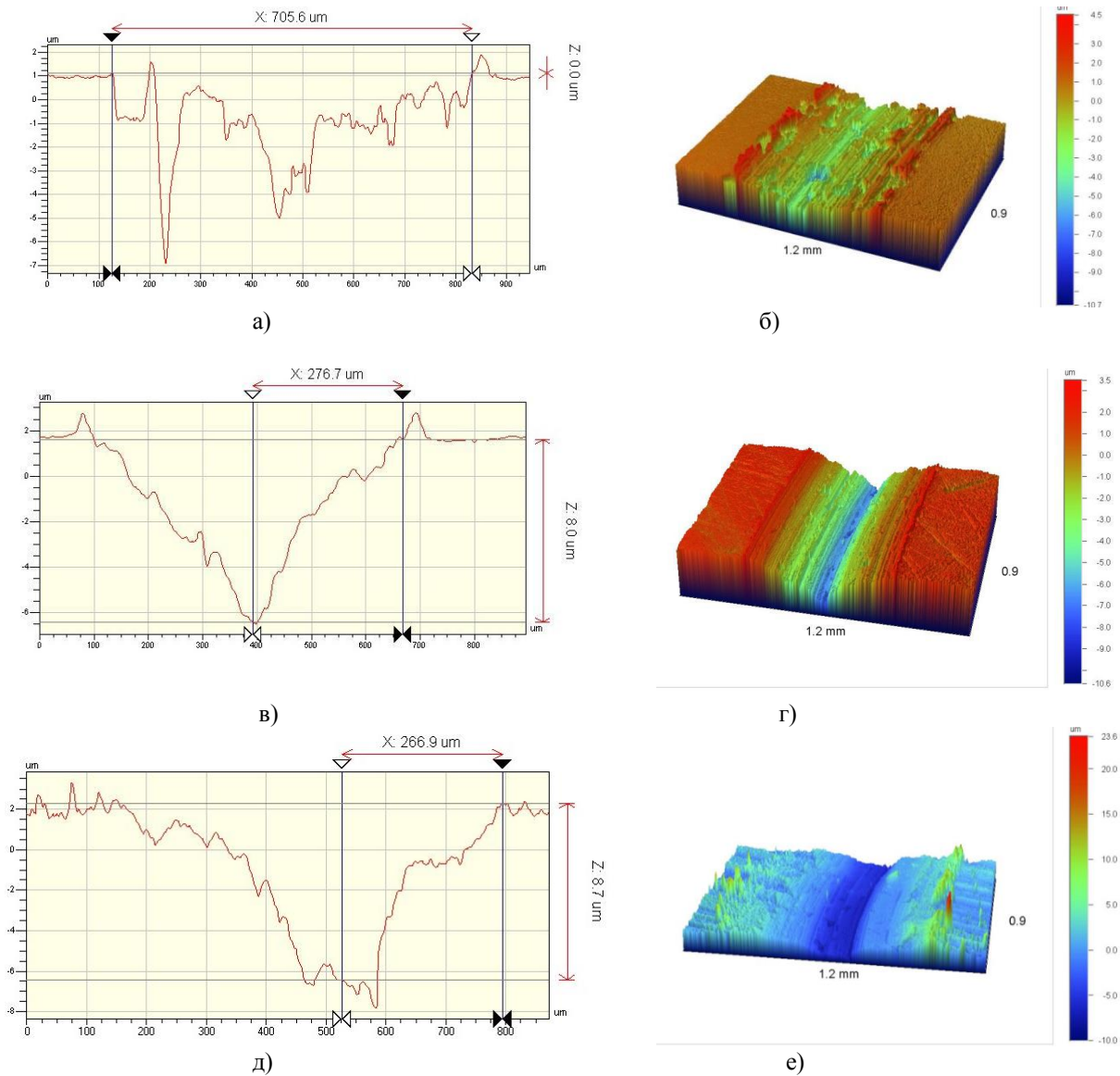


Рис. 6. Профили дорожек износа образцов (а, в, д) и их 3D-изображения (б, г, е):

а, б – образец, наплавленный проволокой ПП-Нп-25Х5ФМС; в, г – образец, наплавленный проволокой ASM 4603-SA; д, е – образец, наплавленный модифицированной проволокой ASM 4603-SA + 3% WC + 0,2% BN

Образцы с наплавленными слоями из материалов ASM 4603-SA характеризуются более низкой скоростью износа (в 1,48 раза) по сравнению с образцом, наплавленным порошковой проволокой ПП-Нп-25Х5ФМ.

Скорость износа модифицированной проволоки ASM 4603-SA + 3% WC + 0,2% BN составляет $21,5 \cdot 10^{-6} \text{ мм}^3 \cdot \text{Н}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$, что в 1,5 раза ниже, чем у материала ASM 4603-SA, и в 2 раза ниже, чем у материала ПП-Нп-25Х5ФМ.

В результате испытаний наплавленного материала ASM 4603-SA + 3% WC + 0,2% BN установлено, что после 30 циклов

«нагрев - охлаждение» трещин на поверхностях образцов не наблюдалось (рис. 7).



Рис. 7. Состояние поверхности исследуемых образцов после 30 циклов нагрев-охлаждение

Таким образом, модифицирование тугоплавкими компонентами наплавочной проволоки ASM 4603-SA позволило

снизить коэффициент трения и повысить ее износостойкость.

Заключение

Установлено, что применение порошковой проволоки ASM 4603-SA с добавками тугоплавких компонентов перспективно для восстановления наплавкой роликов МНЛЗ. В результате электродуговой наплавки данного материала на поверхности роликов МНЛЗ формируется износостойкий слой с твер-

достью до 57 HRC, стойкий к образованию трещин и сетки разгара в результате циклических высокотемпературных воздействий, характеризующийся пониженным коэффициентом трения по сравнению со слоем, наплавленным базовым материалом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Марукович, Е.И. Состояние и перспектива развития мировой металлургии / Е.И. Марукович // Литье и металлургия. – 2008. – № 3 (47). – С. 56-64.
2. Стратегия развития черной металлургии России на 2014-2020 годы и на перспективу до 2030 года: утв. приказом М-ва промышленности и торговли РФ от 5 мая 2014 г. № 839.
3. Красильников, С.Г. Применение порошковой проволоки ООО «ТМ ВЕЛТЕК» в производстве металлоконструкций ЗАО «НКМЗ» / С.Г.Красильников, Ю.В. Окунев, В.А. Пантелеймонов, К.П. Шаповалов, Л.Н. Орлов, А.А. Голякевич // Сварщик. – 2007. – № 1 (53). – С. 6-9.
4. Якушин, Б.Ф. Особенности технологии дуговой наплавки роликов для установок непрерывной разливки сталей / Б.Ф. Якушин, П.А. Цирков // Сварка и диагностика. – 2009. – № 5. – С. 35-40.
5. Репников, Н.И. Определение перспективных наплавочных материалов для восстановления роликов вторичного охлаждения МНЛЗ с использованием структурных и трибологических методов исследований / Н.И. Репников, А.В. Макаров, А.Е. Кудряшов, П.Ф. Бойко, В.А. Мамкин // Современные проблемы горно-металлургического комплекса. Наука и производство: материалы 13-й всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. – 2016. – С. 280-284.
1. Marukovich, E.I. Formation and outlooks of world metallurgy development / E.I. Marukovich // *Castings and Metallurgy*. – 2008. – No.3 (47). – pp. 56-64.
2. Strategy of Ferrous Metallurgy Development in Russia for 2014-2020 and for Prospect up to 2030: approved by the Order of the Ministry of Industry and Trade No. 839 of the RF of May 5, 2014.
3. Krasilnikov, S.G. Use of powder wire of PC “TM VELTECH” in production of Hardware of CC “NKMZ” / S.G. Krasilnikov, Yu.V. Okunev, V.A. Panteleimonov, K.P. Shapovalov, L.N. Orlov, A.A. Golyakevich // *Welder*. – 2007. – No.1 (53). – pp. 6-9.
4. Yakushin, B.F. Peculiarities in technology of roller surfacing for continuous steel pouring units / B.F. Yakushin, P.A. Tsirkov // *Welding and Diagnostics*. – 2009. No.5. – pp. 35-40.
5. Repnikov, N.I. Definition of promising surfacing materials for reduction of secondary cooling rollers of BCCM using structural and tribological methods of investigations / N.I. Repnikov, A.V. Makarov, A.E. Kudryashov, P.F. Boiko, V.A. Mamkin // *Current Problems in Mining-metallurgical Complex. Science and Production: Proceedings of the XIII-th All-Russian Scientif.-Pract. Conf. with Inter. Participation*. – 2016. – pp. 280-284.

Ссылка для цитирования:

Макаров, А.В. Применение наплавочных материалов, модифицированных тугоплавкими компонентами, для восстановления роликов машин непрерывного литья заготовок / А.В. Макаров, А.Е. Кудряшов, А.А. Владимиров, А.П. Титова // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2019. – № 8. – С.41- 48

Статья поступила в редакцию 2.07.19

Рецензент: д.т.н., профессор Национального исследовательского технологического университета «МИСиС»
Афонин А.Н.

Статья принята к публикации 2. 08. 19.

Сведения об авторах:

Макаров Алексей Владимирович, к.т.н., зав. кафедрой технологии и оборудования в металлургии и машиностроении им. В.Б. Крахта Старооскольского технологического института им. А.А. Угарова (филиала) Национального исследовательского технологического университета «МИСиС», e-mail: tomm_sti_misis@mail.ru.

Кудряшов Александр Евгеньевич, к.т.н., вед. науч. сотрудник НУЦ СВС Национального исследовательского технологического университета «МИСиС», e-mail: aekudr@yandex.ru.

Владимиров Александр Андреевич, ассистент кафедры технологии и оборудования в металлургии

Makarov Alexey Vladimirovich, Can. Sc. Tech., Head of the Dep. “Kraht Technology and Equipment in Metallurgy and Mechanical Engineering”, Ugarov Technological Institute of Sary Oskol (Branch), National Research Technological University “MIS&A”, e-mail: tomm_sti_misis@mail.ru.

Kudryashov Alexander Evgenievich, Can. Sc. Tech., Leading scientific assistant of NUC SVS, National Research Technological University “MIS&A”, e-mail: aekudr@yandex.ru.

Vladimirov Alexander Andreevich, Assistant of the Dep. “Kraht Technology and Equipment in Met-

и машиностроении им. В.Б. Крахта Старооскольского технологического института им. А.А. Угарова (филиала) Национального исследовательского технологического университета «МИСиС», e-mail: tomm_sti_misis@mail.ru.

Титова Анна Павловна, ст. преподаватель кафедры технологии и оборудования в металлургии и машиностроении им. В.Б. Крахта Старооскольского технологического института им. А.А. Угарова (филиала) Национального исследовательского технологического университета «МИСиС», e-mail: tomm_sti_misis@mail.ru.

allurgy and Mechanical Engineering”, Ugarov Technological Institute of Sary Oskol (Branch), National Research Technological University “MIS&A”, e-mail: tomm_sti_misis@mail.ru.

Titova Anna Pavlovna, Senior lecturer of the Dep. “Kraht Technology and Equipment in Metallurgy and Mechanical Engineering”, Ugarov Technological Institute of Sary Oskol (Branch), National Research Technological University “MIS&A”, e-mail: tomm_sti_misis@mail.ru.