

УДК 621.791.927

© Лещинский Л.К.¹, Матвиенко В.Н.²**ВЫБОР РАЗМЕРОВ ЛЕНТОЧНОГО ЭЛЕКТРОДА ДЛЯ НАПЛАВКИ ПОД ФЛЮСОМ РОЛИКОВ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО УЧАСТКА СЛЯБОВОЙ МНЛЗ**

Представлены результаты исследований допустимых значений доли участия основного металла при разработке технологии наплавки ленточным электродом роликов машин непрерывного литья заготовок (МНЛЗ). Показано, что при наплавке лентой Св-2Х13 размерами 45×0,7 мм значение доли участия не выше допустимого, что позволяет получить в третьем слое не менее 11 % хрома, обеспечивая необходимую коррозионную стойкость наплавленного металла. С обоснованным выбором размеров ленточного электрода и параметров режима наплавки роликов горизонтального участка МНЛЗ связано улучшение формы валика и уменьшение степени неравномерности глубины проплавления основного металла.

Ключевые слова: ролики МНЛЗ, наплавка под флюсом, ленточный электрод, основной металл, глубина и неравномерность проплавления, доля участия, форма валика, содержание хрома.

Лещинський Л.К., Матвієнко В.М. Вибір розмірів стрічкового електроду для наплавлення під флюсом роликів горизонтальної ділянки слябової МБЛЗ. Представлені результати досліджень допустимих значень долі участі основного металу при розробці технології наплавлення стрічковим електродом роликів машин безперервного лиття заготовків (МБЛЗ). Показано, що при наплавленні стрічкою Св-2Х13 розмірами 45×0,7 мм значення долі участі не вище за допустиме, що дозволяє отримати в третьому шарі не менше 11 % хрому, забезпечуючи необхідну корозійну стійкість наплавленого металу. З обґрунтованим вибором розмірів стрічкового електроду і параметрів режиму наплавлення роликів горизонтальної ділянки МБЛЗ пов'язано поліпшення форми валика і зменшення міри нерівномірності глибини проплавлення основного металу.

Ключові слова: ролики МБЛЗ, наплавлення під флюсом, стрічковий електрод, основний метал, глибина і нерівномірність проплавлення, доля участі, форма валика, зміст хрому.

L.K. Leshchinskiy, V.N. Matviyenko. The geometry of the strip electrode used in the process of submerged arc hardfacing of continuous casting rolls. The results of the investigation of the influence of the size of the strip electrode on the dilution of the base metal used in the process of submerged arc hardfacing of continuous casting rolls are presented. Increasing the thickness and decreasing the width of the strip electrode (60×0,5 mm, 45×0,7 mm, 30×1,0 mm) results in the changing of the shape and dimensions of the fusion zone of the base metal to enhance the depth and reduce the non-uniformity of fusion penetration. The experimental data show that the dilution ratio of the base metal using the strip electrode 45×0,7 mm, containing 13,5 % chromium, made it possible to obtain more than 11 % chromium in the chemical composition of the third deposited layer. In the process of submerged arc hardfacing increasing the travel speed of the strip electrode (heat source) up to 12 m/hour enhance the dilution ratio of the base metal. Despite this, the chromium content of the third layer is not less than 11 %. At the same time, the improved parameters of the hardfacing process allowed to achieve the better weld shape and to reduce the number of welding defects. When deposited on continuous casting rolls, the chemical composition of the deposited metal insures the corrosion

¹ д-р техн. наук, профессор, г. Бостон, США

² д-р техн. наук, профессор, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь, matviyenko@mail.ru

resistance of the rolls and increases their longevity.

Keywords: *continuous casting rolls, submerged arc hardfacing, strip electrode, base metal, penetration, non-uniformity, dilution, weld shape, chromium content.*

Постановка проблеми. Получение коррозионно-стойкого состава наплавленного металла и снижение вероятности образования в нём дефектов, провоцирующих зарождение и распространение термоусталостных трещин в поверхностном слое роликов МНЛЗ, во многом зависит от выбора оптимальных размеров ленточного электрода и параметров режима наплавки под флюсом.

Анализ последних исследований и публикаций. Среди деталей металлургического оборудования, восстанавливаемых путём наплавки, роликовые направляющие машин непрерывного литья заготовок играют ведущую роль. Объём наплавляемого на ролики металла, как и масса наплавленных роликов, намного превышают аналогичные показатели для других изделий. Отсюда стремление к повышению эффективности процесса наплавки роликов путём совершенствования применяемых материалов и технологии [1].

Результаты аналитического обзора, проведенных ранее исследований свидетельствуют [2, 3] о том, что ролики разливочного ручья слябовой МНЛЗ эксплуатируются в условиях коррозионно-механического и окислительного износа. Кроме того, на скорость термоусталостного разрушения поверхностного слоя влияют напряжения, вызванные изгибом ролика. Ролики радиального и криволинейного участков разливочного ручья, обеспечивающие изгиб, а затем распрямление заготовки, испытывают нагрузки, связанные с преодолением ферростатического давления жидкого металла и жёсткостью закристаллизовавшейся оболочки сляба. Высокие (до 600 МПа) циклические напряжения в ролике вызваны нагревом до 500...600 °С кристаллизующейся заготовкой, движущейся со скоростью не более 0,5...1,2 м/мин, и водо-воздушным охлаждением. Для роликов горизонтального участка, наиболее удалённых от кристаллизатора, уровень циклических напряжений – ниже, но выше интенсивность износа поверхностью сляба, температура которой значительно снизилась (при контактных напряжениях до 200...250 МПа). Исходя из этого, наплавленный слой роликов горизонтального участка должен обеспечить необходимую коррозионную стойкость, а также высокую твёрдость и сопротивление износу. Сопротивление материала ролика термоусталостному разрушению зависит от изменений структуры и свойств металла в зоне термического влияния (ЗТВ) под воздействием термического цикла процесса наплавки [2]. Поэтому при выборе параметров режима наплавки нужно избегать неравномерного нагрева, тем более перегрева зоны термического влияния основного металла, провоцирующего рост зерна, разнотернистость, охрупчивание границ зёрен, что повышает риск образования холодных трещин в ЗТВ. На характер нагрева ЗТВ под воздействием термического цикла процесса наплавки влияет геометрия электрода и параметры режима.

Применение для наплавки роликов ленточных электродов позволяет резко ограничить проплавление основного металла и долю его участия в шве. Однако при использовании ленты толщиной $\leq 0,5$ мм даже небольшие отклонения от оптимальных параметров режима наплавки приводят к неравномерному проплавлению и возникновению дефектов в зоне сплавления. В то же время, с увеличением толщины и уменьшением ширины ленты растёт глубина проплавления. Это вызвано тем, что от размеров ленточного электрода зависит характер процесса наплавки под флюсом, степень рассредоточенности источника тепла, влияющие на эффективность проплавления основного металла, форму и размеры сварочной ванны. При наплавке ленточным электродом под флюсом роликов диаметром 350...380 мм следует ограничить объём и время существования сварочной ванны. Для этого необходимо уменьшить ширину ленты и погонную энергию наплавки, не превышая, однако, допустимое значение доли участия и не допуская образования дефектов формирования валика (шва). Исходя из этого, необходимо проведение исследований с целью обоснования выбора ширины и толщины ленточного электрода для наплавки роликов МНЛЗ.

Цель статьи. Изучение эффективности проплавления и степени разбавления наплавленного металла основным и выбор оптимальных размеров ленточного электрода для наплавки роликов горизонтального участка МНЛЗ.

Изложение основного материала. Необходимую коррозионную стойкость металла наплавленных роликов МНЛЗ должно обеспечить легирование хромом. При содержании хрома

6,5...7,0 %, когда достигается первая критическая концентрация и атомы хрома присутствуют в координационной сфере объёмно-центрированной кристаллической решётки железо-углеродистого сплава, заметно возрастает коррозионная стойкость. При достижении второй критической концентрации хрома (11...13 %) – “тамманого предела”, изменяется электронная структура железо-углеродистых сплавов и металл становится нержавеющей [4]. Поскольку основным материалом роликов являются стали 24ХМ1Ф, 25Х1М1Ф, 35ХМ1, 40Х1МФА, а величина допустимого износа ролика и потому число наплавленных слоёв строго ограничены [5], степень разбавления наплавленного металла основным должна быть минимальной. При трёхслойной наплавке, чтобы обеспечить долю участия основного металла в третьем слое менее 5 %, её значение в первом слое должно быть < 25...30 %. Согласно технологической инструкции на упрочнение роликов МНЛЗ [6] для роликов горизонтального участка диаметром 380 мм применяется трёхслойная наплавка порошковой проволокой ВЕЛТЕК-Н470. Наплавленный металл (не содержащий примесей основного) соответствует коррозионно-стойкому составу 15Х14Н2М1ФБ, твёрдость которого 375...415 НВ (после термической обработки по режиму отпуска). Однако инструкцией предусмотрена проточка под наплавку с уменьшением диаметра лишь на 6 мм (3 мм на сторону) при высоте наплавленного металла 6,0...7,0 мм на сторону. После удаления припуска оставшийся наплавленный металл соответствует составу первого – второго слоя, отличаясь от марочного, в том числе по содержанию хрома. Сохранить второй и частично третий слой позволяет проточка на 10 мм (5 мм на сторону) при высоте наплавки 7,5...8,0 мм.

В исследованиях влияния размеров ленты на долю участия в каждом из наплавленных слоёв использовались ленточные электроды Св-2Х13 размерами 60×0,5 мм, 45×0,7 мм, 30×1,0 мм, имеющие одинаковое поперечное сечение. Режим наплавки под флюсом АН-26П: ток постоянный обратной полярности $I_H = 650...700$ А, $U_d = 34$ В, $v_H = 8...12$ м/ч, вылет ленточных электродов 40 мм. В случае одинакового сечения ленточных электродов и постоянного режима наплавки, площадь зоны проплавления основного металла (как и площадь наплавки) зависит от рассредоточенности источника нагрева. Обработка экспериментальных данных (рис. 1) позволила установить, что если для ленты 60×0,5 мм доля участия от 1-го слоя к 3-му изменяется от 23 до 3 %, то для ленты 30×1,0 мм – от 37 до 7 %. В то же время, указанным выше требованиям отвечает применение для наплавки ленты 45×0,7 мм (доля участия изменяется от 30 до 5 %). С увеличением скорости наплавки доля участия основного металла в первом наплавленном слое возрастает (рис. 2), но не превышает 30 % для ленты 45×0,7 мм при скорости 12 м/ч.

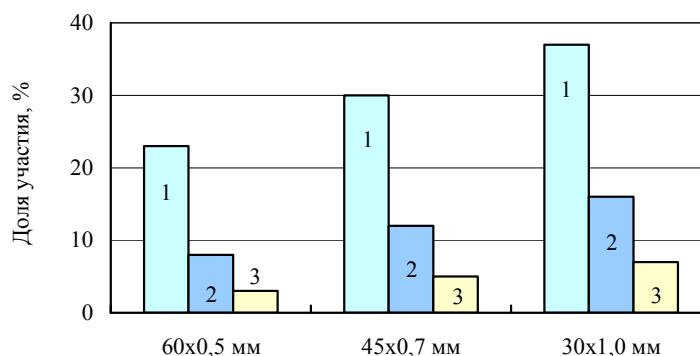


Рис. 1 – Доля участия основного металла при трёхслойной наплавке ленточным электродом

Установленное влияние размеров ленточного электрода на изменение доли участия при переходе от первого слоя к третьему согласуется с результатами химического анализа наплавленного металла. В таблице такие данные представлены для слоёв, наплавленных лентами 60×0,5 и 45×0,7 мм (скорость наплавки $v_H = 10$ м/ч). В соответствии со степенью разбавления основным металлом содержание хрома в слоях, наплавленных лентой 45×0,7 мм, ниже, чем для ленты 60×0,5 мм. Однако даже в 1-м наплавленном слое содержание хрома выше первой критической концентрации (6,5...7,0 %), а в 3-м слое превышает 11 %, обеспечивая коррозионную стойкость поверхности ролика.



Рис. 2 – Доля участия основного металла в первом наплавленном слое в зависимости от скорости наплавки: 1 – 60×0,5 мм; 2 – 47×0,7 мм; 3 – 30×1,0 мм

Таблица

	Содержание хрома, масс. %	
	лента 60×0,5 мм	лента 45×0,7 мм
в ленточном электроде	13,88	13,57
в первом слое	8,25	7,10
во втором слое	11,00	9,30
в третьем слое	12,23	11,00

Важнейшей характеристикой геометрии наплавленного валика, зависящей от условий образования валика, в то же время, влияющей на вероятность возникновения дефектов формы, является отношение глубины проплавления к высоте валика. Вместе с тем, при малой глубине проплавления, характерной для наплавки ленточным электродом, не менее важна величина отклонений от среднего значения глубины проплавления, что оценивается коэффициентом вариации W . С увеличением толщины (от 0,5 до 0,7 мм) и уменьшением ширины (от 60 до 45 мм) ленты растёт глубина и надёжность проплавления, снижается коэффициент вариации (рис. 3).

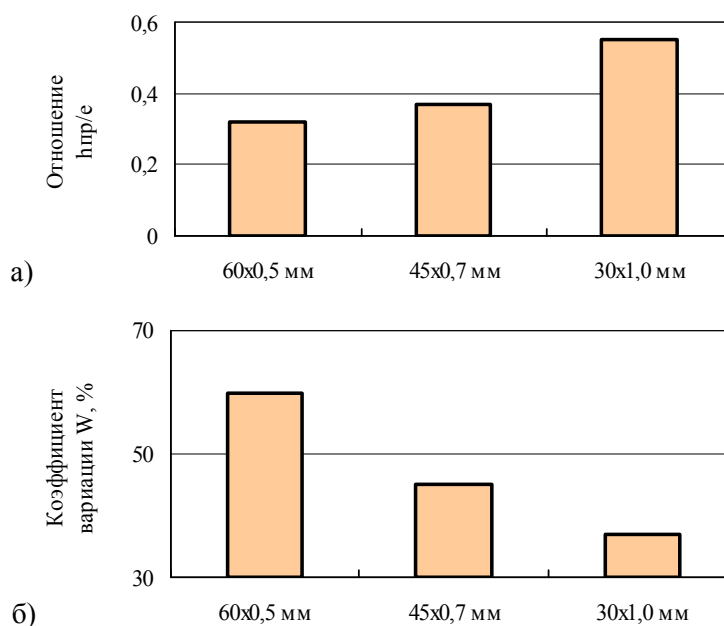


Рис. 3 – Отношение глубины проплавления $h_{пр}$ к высоте e валика (а) и коэффициент вариации W глубины проплавления (б) при наплавке ленточным электродом

Выводы

1. Определены допустимые значения доли участия основного металла при трёхслойной наплавке ленточным электродом под флюсом роликов горизонтального участка МНЛЗ. На основании проведенных исследований показано, что при использовании ленты Св-2Х13 размерами 45×0,7 мм обеспечивается необходимое содержание хрома (более 11 %) и коррозионная стойкость третьего слоя.
2. С увеличением скорости наплавки лентой 45×0,7 мм до 12 м/ч доля участия возрастает, не превышая, однако, значения, при котором содержание хрома ниже допустимого.

Список использованных источников:

1. Strathy B. Roll and Overlay Technologies to Improve Operational Performance / B. Strathy, J.K. Brower // Iron & Steel Technology. – 2007. – №12. – P. 49-60.
2. Домбровский Ф.С. Работоспособность наплавленных роликов машин непрерывного литья заготовок / Ф.С. Домбровский, Л.К. Лещинский. – Киев : Институт электросварки им. Е.О. Патона, 1995. – 197 с.
3. Лещинский Л.К. Слоистые наплавленные и упрочнённые композиции / Л.К. Лещинский, С.С. Самотугин. – Мариуполь : Новый мир, 2005. – 392 с.
4. Реформаторская И.И. Развитие представлений о роли хрома в процессах пассивирования и коррозии сплавов Fe–Cr / И.И. Реформаторская, А.Н. Подобаев, Е.В. Трофимова, И.И. Анцеулова // Защита металлов. – 2004. – Том 40. – №3. – С. 229-235.
5. Самотугин С.С. Инструментальные материалы. Свойства и упрочнение / С.С. Самотугин, Л.К. Лещинский, В.А. Мазур, Ю.С. Самотугина. – Мариуполь: ГВУЗ «ПГТУ», 2013. – 430 с.
6. Технологическая инструкция ТИ-414-04:2014 «Упрочнение наплавкой роликов радиально-криволинейного и горизонтального участков МНЛЗ № 3, 4, 5». – Мариуполь : ООО «МЕТИНВЕСТ-МРМЗ», 2014. – 18 с.

Bibliography:

1. Strathy B. Roll and Overlay Technologies to Improve Operational Performance / B. Strathy, J.K. Brower // Iron & Steel Technology. – 2007. – №12. – P. 49-60.
2. Dombrovskiy F.S. Capacity of surfacing rollers of machines of the continuous casting of purveyances / F.S. Dombrovskiy, L.K. Leshchinskiy. – Kiev : Institute of the electric welding the name of E.O. Patona, 1995. – 197 p. (Rus.).
3. Leshchinskiy L.K. Multilayer compositions: surfacing and hardening / L.K. Leshchinskiy, S.S. Samotugin. – Mariupol: Noviy mir, 2005. – 392 p. (Rus.).
4. Reformatorskaya I.I. Development of ideas about the role of chrome in the processes of passivation and corrosion of alloys of Fe–Cr / I.I. Reformatorskaya, A.N. Podobaev, E.V. Trofimova, I.I. Antseulova // Defence of metals. – 2004. – T.40. – №3. – P. 229-235. (Rus.).
5. Samotugin S.S. Instrumental materials. Properties and work-hardening / S.S. Samotugin, L.K. Leshchinskiy, V.A. Mazur, Yu.S. Samotugina. – Mariupol : PSTU, 2013. – 430 p. (Rus.).
6. Technological instruction TI-414-04:2014 «Work-hardening of surfacing of rollers radial, curvilinear and horizontal areas of MNLZ № 3, 4, 5». – Mariupol : LTD. «METINVEST-MRMZ», 2014. – 18 p. (Rus.).

Рецензент: В.И. Щегина
д-р техн. наук, проф., ГВУЗ «ПГТУ»

Статья поступила 22.12.2014