



УДК 669.187.004.18

## ТЕХНОЛОГИЯ ВОССТАНОВИТЕЛЬНОГО РЕМОНТА СЛЯБОВЫХ КРИСТАЛЛИЗАТОРОВ МНЛЗ СПОСОБОМ НАПЛАВКИ ТРЕНИЕМ С ПЕРЕМЕШИВАНИЕМ\*

Ю.Н. Никитюк<sup>1</sup>, Г.М. Григоренко<sup>2</sup>, В.И. Зеленин<sup>2</sup>,  
Е.В. Зеленин<sup>2</sup>, М.А. Полещук<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ООО «Научно-производственная фирма «ВИСП».  
04655. Киев, Московский пр-т, 23. E-mail: visp9@ukr.net  
<sup>2</sup>Институт электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины.  
03680, г. Киев, ул. Боженко 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

Приведены результаты разработки технологии ремонта медных плит кристаллизаторов МНЛЗ с применением для этой цели способа наплавки трением с перемешиванием (НТП), позволяющего наносить на изношенные места кристаллизаторов слой меди того же химического состава и теплопроводности, что и у материала плиты. Из-за незначительного клинообразного износа на краях плит (до 3 мм) медные плиты кристаллизаторов МНЛЗ несколько раз подвергаются перешлифовке по всей площади, при которой теряется значительное количество меди, плита утоньшается, приходит в негодность. Кроме того, при таком ремонте дополнительно расходуются большие материальные и человеческие ресурсы. Новая технология ремонта способом НТП открывает новые перспективы. Способ НТП, изобретенный в Британском институте сварки 20 лет назад, в настоящее время приобретает все большее распространение. Наплавку выполняют торцом вращающегося инструмента с выступающим штырем (пином), который, проникая сквозь наплавляемый (присадочный) металл, при перемещении смешивает наплавляемый металл с металлом плиты. При НТП вращающийся цилиндрический инструмент, вдавливаясь и нагреваясь при трении, проходит вдоль наплавляемой пластины, вставленной в место износа, внедряется в плиту кристаллизатора и, частично их смешивая, образует на границе прочное соединение. Материал инструмента для наплавки должен быть жаростойким и жаропрочным, что позволяет работать при температуре до 900 °С, при которой медь переходит в пластичное состояние. Основным фактором, влияющим на работоспособность медной плиты, является ее теплопроводность, которая напрямую зависит от химического состава металла, и прежде всего от растворенного в ней кислорода, который по границам зерен изменяет электрическое сопротивление. Показано, что теплопроводность промышленного образца кристаллизатора МНЛЗ при ремонте способом НТП не изменяется, что является одним из важнейших условий для дальнейшей эксплуатации. Результаты микрорентгеноспектрального анализа наплавленного слоя и основного металла также подтвердили их идентичность, обогащения кислородом не обнаружено. Металлографические исследования показали, что наплавленный металл плотный, трещины, непровары и поры отсутствуют. Наплавленный на плиту МНЛЗ слой меди достаточной толщины имеет сплавление с основой, что позволяет рассматривать отремонтированные плиты как равноценные новым. Согласно новой технологии значительно уменьшается площадь поверхности плиты, нуждающейся в шлифовке при ремонте. Библиогр. 5, ил. 7.

**Ключевые слова:** наплавка; трение с перемешиванием; ремонт; медная плита; восстановление; кристаллизатор; инструмент; пин

Критерием эффективности работы кристаллизаторов МНЛЗ является срок службы охлаждаемых медных плит, формирующих прямоугольную полость, в которой происходит затвердевание металла заготовки.

На металлургических заводах применяются преимущественно медные плиты из меди марки МСр (содержание серебра 0,08...0,12 %) с просверленными каналами и петлевой системой охлаждения,

\* В исследованиях принимали участие сотрудники отдела «Физико-химические исследования материалов» кандидаты технических наук Л.И. Адеева, А.Ю. Туник.



Рис. 1. Медная плита кристаллизатора МНЛЗ после эксплуатации

стойкость которых зачастую не превышает 80...100 плавков [1].

За рубежом в последние годы интенсивно внедряются плиты с покрытием из никеля и других материалов. Значительных успехов здесь достигла японская фирма «Mashima Kosan» [2], поставляющая плиты со щелевыми каналами охлаждения с никелевым и никель-кобальтовым покрытием. Хотя стоимость таких плит увеличилась в несколько раз, по сравнению со стоимостью медных плит без покрытий, в то же время резко сократились потери меди, а также расходы на переналадку кристаллизаторов, стойкость которых достигла 1000 плавков.

Определенных результатов добились фирмы, применяющие керамические покрытия на медных плитах кристаллизаторов [3]. Например, покрытие CASTCOAT английской фирмы «Cogus Process Engineering» значительно увеличило срок их службы.

В СНГ на ОАО «Северсталь» с 2003 г. ведутся работы по использованию слябовых кристаллиза-

торов, в том числе с никелевым покрытием, со щелевыми охлаждающими каналами [1]. Они имеют ряд преимуществ перед кристаллизаторами с просверленными каналами.

Однако несмотря на значительные успехи в продлении срока службы медных плит с покрытием вопросы их ремонта остаются актуальными и в настоящее время.

Одним из основных направлений в металлургии является создание технологий, позволяющих производить ремонт медных кристаллизаторов и применяемых на них покрытий. К одной из них можно отнести технологию наплавки меди при помощи трения с перемешиванием (НТП) [4].

Способ НТП практически не отличается от сварки трением с перемешиванием, где вращающийся цилиндрический инструмент особой конструкции с заплечниками и штырем в центре погружается до линии раздела двух свариваемых деталей, при этом выделяется такое количество тепла, которого достаточно для пластификации и перемешивания материала свариваемых деталей с образованием качественного сварного соединения.

В процессе НТП цилиндрический инструмент проходит сквозь наплавляемую пластину, внедряется в плиту кристаллизатора, и частично их смешивая, образует на границе прочное соединение.

Настоящая работа состояла в разработке технологических приемов ремонта способом НТП медных плит с дефектами.

При обследовании плит МНЛЗ ОАО «Северсталь» в работе [1] выяснено, что часто встречающимися дефектами, из-за которых кристаллизаторы выводятся из эксплуатации, является износ боковин нижней части охлаждаемых плит глубиной свыше 2,7 мм. На рис. 1 просматриваются клинообразные зоны износа в нижней части плиты.

На рис. 2 приведена схема распределения износа на рабочей поверхности узких стенок кристаллиза-

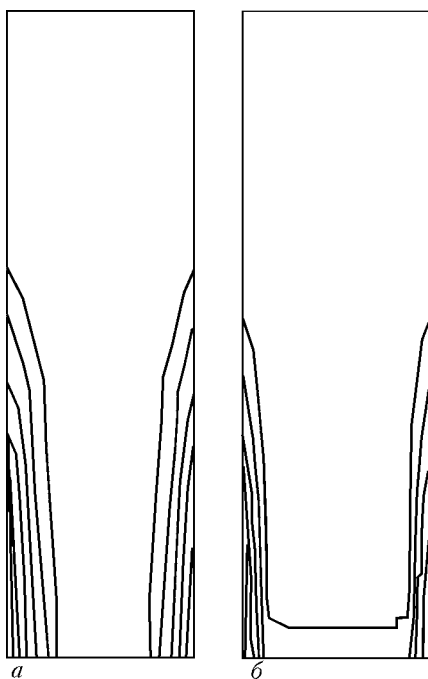


Рис. 2. Распределение износа на рабочей поверхности узких стенок кристаллизатора: а — опытного, с покрытием никелем; б — типового, без покрытия



Рис. 3. Рабочий инструмент для НТП

торов [1]. Каждая линия здесь показывает увеличение износа на 0,5 мм. Наличие таких дефектов делает недопустимым дальнейшую эксплуатацию плит и требует замены. Подобные дефекты характерны и для других МНЛЗ.

Наплавку выполняют торцом вращающегося инструмента (рис. 3), имеющего выступающий штырь, который, проникая сквозь наплавляемый (присадочный) металл при перемещении, смешивает наплавляемый металл с металлом плиты [4].

При НТП достигают высокого качества сварки. В процессе деформации и перемешивания металла в твердой фазе создается более плотная микроструктура металла зоны соединения, по сравнению с основным материалом.

Сам инструмент, особенно его рабочий стержень, подвергается высоким термомеханическим нагрузкам. На разогретый рабочий стержень одновременно действуют вращающий момент и знакопеременные циклические изгибающие силы.

Материал инструмента для наплавки подбирали жаростойким и жаропрочным, что позволило работать при температуре до 900 °С, при которой медь переходит в пластичное состояние. Важным условием для инструментального материала при этих температурах является достаточно высокая прочность на изгиб.

Особое значение имеет и форма инструмента. Так, наилучшие результаты получены при использовании конусного штыря инструмента. В этом случае изгибающие нагрузки передаются по касательной на основное тело инструмента, что очень важно

при использовании инструмента повышенной хрупкости [4].

Ремонт дефектов производили следующим образом. На ремонтируемый участок медной плиты, предварительно отфрезерованный до определенного уровня, накладывали медную пластину требуемого состава и формы, надежно закрепляли ее с помощью струбцин. Затем вращающийся цилиндрический инструмент с выступающим штырем (рис. 3) внедряли в пластину для перемешивания наплавляемого металла с металлом плиты.

Рабочие инструменты для наплавки меди изготавливали из сплавов, позволяющих использовать их до 900 °С.

Подбирали требуемые режимы оборотов шпинделя и давление на инструмент, а также скорость перемещения инструмента для получения качественного соединения.

Для наплавки на медную плиту кристаллизатора листа меди толщиной от 3 до 5 мм достаточной оказалась боковая нагрузка до 2 т при осевой нагрузке до 5 т и оборотах инструмента до 1200 об/мин. Скорость перемещения инструмента составляла 80 мм/мин, температура наплавки меди не превышала 660 °С.

Основным фактором, влияющим на работоспособность медной плиты, а также требованием к наплавленному слою является его теплопроводность, напрямую зависящая от химического состава металла и прежде всего от растворенного кислорода, который, образуя оксиды меди по границам зерен, изменяет электрическое сопротивление [5]. В связи

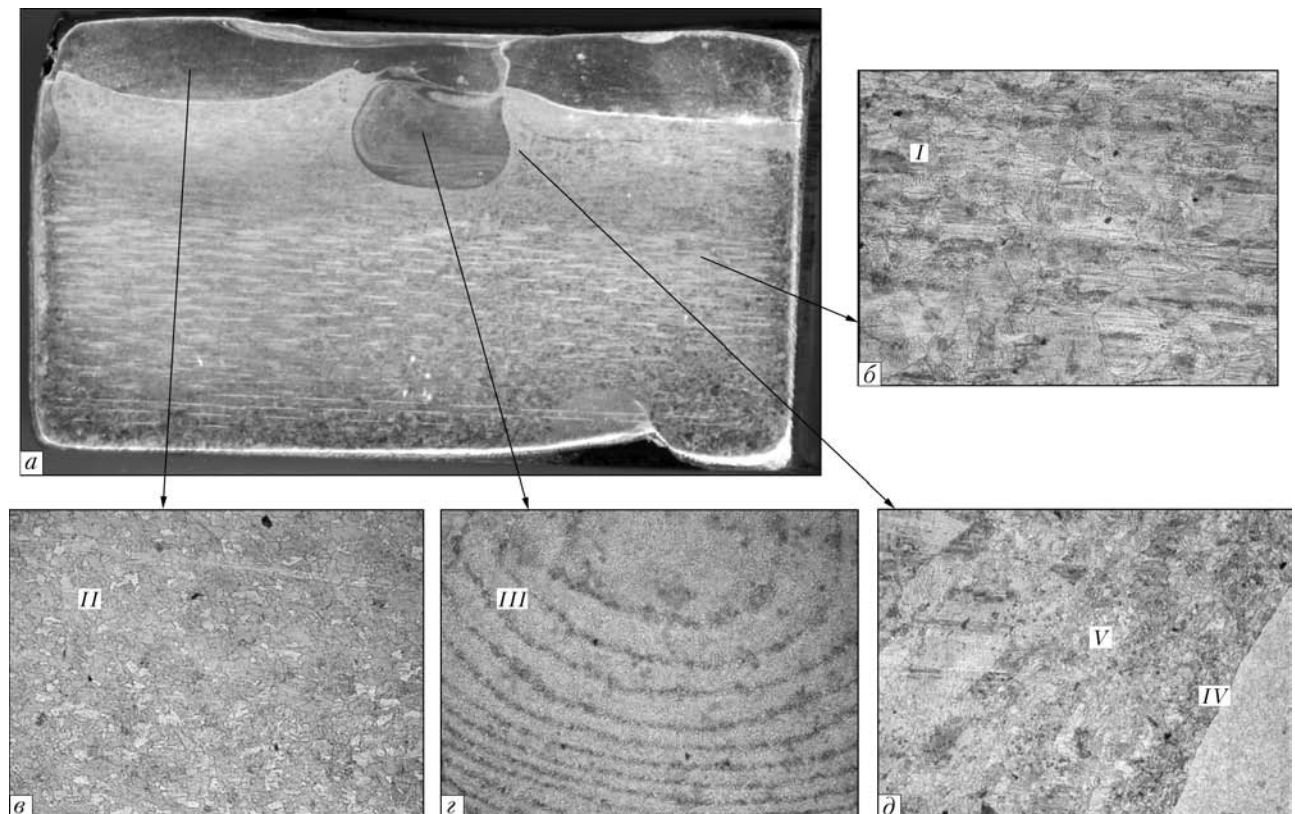


Рис. 4. Структура соединения, полученного при НТП медных пластин: *a* – общий вид; *b* – основной металл; *c* – наплавленный металл; *z* – ядро соединения; *d* – зона термомеханического влияния (ЗТМВ); *a* –  $\times 3$ ; *b*–*d* –  $\times 100$ ; обозначение I–V см. в тексте



Рис. 5. Образец плиты в собранном виде перед наплавкой медным листом 3 мм



Рис. 6. Процесс наплавки образца плиты

со сложностью определения теплопроводности на промышленном образце плиты применяли косвенный способ — через измерение электропроводности.

Согласно закону Видемана–Франца–Лоренца для металлов имеет место соотношение  $\kappa/\delta = LT$ , где  $\kappa$  — коэффициент теплопроводности;  $\delta$  — удельная электрическая проводимость;  $L$  — число Лоренца;  $T$  — температура. Поскольку для наплавки использовали медь той же марки (химического состава), что и для изготовления основной плиты, а замеры электрического сопротивления при постоянной температуре наплавленного слоя и основного металла дали равные показания  $S \approx 1,62(0...6)$  Ом·см, можно сделать вывод об одинаковой теплопроводности наплавленного и основного металлов.

Можно предположить, что теплопроводность промышленного образца кристаллизатора МНЛЗ при ремонте способом НТП не изменяется, что является одним из важнейших условий для дальнейшей эксплуатации.

Результаты микрорентгеноспектрального анализа наплавленного слоя и основного металла также подтвердили их идентичность, обогащения кислородом не обнаружено. Металлографические исследова-

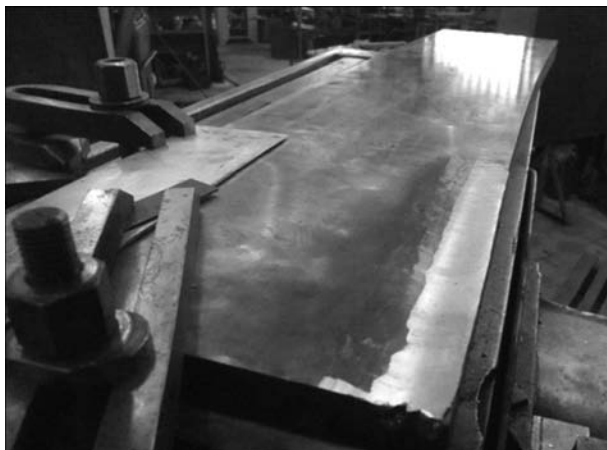


Рис. 7. Внешний вид наплавленной шлифованной медной плиты

ования показали, что наплавленный металл плотный, трещины, непровары и поры отсутствуют (рис. 4).

В соединении обнаружены зоны, представленные на рис. 4. Основной металл (зона I) показан на рис. 4, б. Структура наплавленного металла (зона II) представляла собой равноосные зерна размером 15...120 мкм с редкими двойниками (рис. 4, в). Замеры микротвердости основного и наплавленного металла установили ее идентичность. Микротвердость составляла соответственно 900 и 1000 МПа.

Структура центра соединения представляет собой ядро диаметром примерно 9 мм (зона III) с характерными концентрическими деформационными кольцами округлой формы (рис. 4, в). В этой зоне происходит динамическая рекристаллизация перемешиваемых металлов. Она состоит из равноосных зерен размером 5...30 мкм, твердость металла этой зоны достигает 1000 МПа.

Вокруг ядра расположены зоны термического IV и термомеханического влияния V. В зоне IV произошла полная перекристаллизация с образованием зерна такого же размера, как и в ядре. Протяженность этих зон равняется соответственно 300...350 и 400 мкм (рис. 4, д). Микротвердость металла ЗТВ и ЗТМВ составляет соответственно 1000 и 900 МПа. Ряд подобных параллельных структур, сливаясь, образуют сплошную наплавленную поверхность без дефектов.

На рис. 5 представлен образец плиты в собранном виде с закрепленным на изношенной части медным листом 3 мм.

На рис. 6 приводится процесс наплавки образца плиты. Ввод инструмента происходит на изношенной части плиты, а вывод — за ее пределами на специальный носок, который затем обрезают.

На рис. 7 показан внешний вид наплавленной шлифованной медной плиты.

Медная плита после шлифовки равноценна новой, следовательно, можно сделать вывод о перспективах дальнейшей разработки и применения способа НТП при ремонте медных плит кристаллизаторов.

1. *Радиальный* слябовый кристаллизатор со щелевыми каналами и никелевым покрытием стенок // А.А. Макрушин, А.В. Куклев, Ю.М. Айзин и др. // *Металлург.* — М.: Металлургиздат, 2005. — С. 38–41.
2. *Masato T.* Кристаллизаторы установок непрерывной разливки стали от «Mashima Kosan». Электроплакирование и термическое напыление: Междунар. науч.-практ. семинар. — Екатеринбург, 2009. — С. 1–19.
3. *Improvement* in continuous casting mold technology the first fully ceramic — coated molds // K. Goode, D. Preshaw, B. Stalker et al. // *Iron & Steel Technology.* — 7, № 2. — С. 74–76.
4. *Упрочнение* наплавкой трением с перемешиванием никелем медных стенок кристаллизаторов машин непрерывного литья заготовок // Г.М. Григоренко, В.И. Зеленин, П.М. Кавуненко, М.А. Полещук и др. // *Зб. наук. ст. за результатами, отриманими в 2010–2012 рр. цільової комплексної програми НАН України «Проблеми ресурсу і безпеки експлуатації конструкцій, споруд та машин»* — Киев: ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України, 2012. — С. 369–372.
5. *Абрамович В.Р.* Сварка плавлением меди и сплавов на медной основе. — М.: Машиностроение, 1988 с.

Presented are the results of development of technology of repair of copper plates of moulds of machines for continuous casting of billets (MCCB) using the method of friction stir surfacing (FSS), allowing deposition of copper coatings on the worn-out places of moulds with a copper layer of the same chemical composition and heat conductivity as the plate material. Due to a negligible wedge-type wear at the plate edges (up to 3 mm), the copper plates of MCCB moulds are subjected several times to regrinding over the entire area, where the a large amount of copper is lost, the plate is thinned, becoming unserviceable. In addition, at this repair the large material and human resources are consumed additionally. The new technology by the FSS method gives new challenges. Method of FSS, invented at The Welding Institute (UK) 20 years ago, has at present the more and more wide spreading. The surfacing is made by an edge of a rotating tool with a projected pin, which penetrating into depositing (filler) metal mixes the metal being surfaced with the plate metal. During FSS the rotary cylindrical tool, penetrating and heated in friction, passes along the plate being surfaced, inserted into the place of wear, then comes into the mould plate and, by their partial mixing, forms a strong joint at the interface. The tool material for surfacing should be heat-resistant and high-temperature, that allows operating at temperature up to 900 °C, at which copper is transformed into plastic state. The main factor, influencing the performance of the copper plate, is its heat conductivity, which depends directly on the chemical composition of metal, and, first of all, on oxygen, dissolved in it, which changes the electric resistance along the grain boundaries. It was shown that the heat conductivity of an industrial model of MCCB mould in repair by FSS method is not changed, that is one of the most important conditions for their further service. Results of X-ray microanalysis of the deposited layer and base metal confirmed also their identity, the oxygen enrichment was not observed. Metallographic examinations showed that the deposited metal is dense, there are no cracks, lacks of penetration and pores. The layer of copper of sufficient thickness, deposited on the MCCB plate, has an adhesion with a base thus allowing evaluation of repaired plates as similar to the new ones. According to the new technology the area of plate surface, requiring grinding in repair, is greatly decreased. Ref. 5, Figs. 5.

**Key words:** *surfacing; friction stir; repair; copper plate; restoration; mould; tool; pin*

Поступила 19.06.13

## ЗТМК ЗАПУСКАЕТ ПРОИЗВОДСТВО ТИТАНОВЫХ СЛИТКОВ



ГП Запорожский титано-магнийный комбинат (ЗТМК) является единственным в Украине и Европе производителем губчатого титана.

Запорожский титано-магнийный комбинат начал испытания нового оборудования и технологических процессов для производства титановых слитков и сплавов. Об этом сообщает пресс-служба Group DF. Инвестиции в модернизацию ЗТМК — часть программы Group DF по развитию титановой промышленности Украины, для реализации которой группа планирует инвестировать \$2,5 млрд до 2017 года.

Глубокая переработка титана позволит ЗТМК выпускать продукцию с более высокой добавочной стоимостью, что даст Украине возможность выхода на мировые рынки высоких технологий, такие как авиационное.

«Сегодня Украина делает только первый шаг в этом перспективном направлении. Мы — новый игрок на рынке, и нам еще предстоит наработать базу партнеров, расширить ассортимент продукции, провести ее сертификацию и запустить крупномасштабное производство», — отметил председатель совета Group DF Дмитрий Фирташ.

Ранее в 2013 году Group DF объявила о планах строительства на ЗТМК двух новых производств — титанового шлака и титановой губки, а также о планах строительства нового производства диоксида титана на предприятии «Крымский ТИТАН».

ЛІГАБізнесІнформ  
www.liga.net