



# ВОССТАНОВЛЕНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ МЕДНОЙ ПЛИТЫ КРИСТАЛЛИЗАТОРА МНЛЗ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПЛАЗМЕННО-ДУГОВОЙ ТЕХНОЛОГИИ

**В.Г. Кожемякин, В.А. Шаповалов, В.Р. Бурнашев, Д.В. Ботвинко**

Институт электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины.  
03680, г. Киев-150, ул. Боженко, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

Процесс непрерывной разливки стали на машинах непрерывного литья заготовки (МНЛЗ) благодаря технико-экономическим показателям позиционируется как наиболее рациональный способ получения заготовок для дальнейшего передела. Основным узлом МНЛЗ является медный кристаллизатор, который в процессе непрерывной разливки изнашивается в результате теплового и механического воздействия образовавшейся твердой корочки закристаллизовавшегося металла. Такой износ рабочей поверхности приводит к образованию дефектов, а также к изменению исходной геометрии кристаллизатора, что негативно сказывается на качестве отливаемых заготовок. Проанализированы основные дефекты на поверхности кристаллизатора МНЛЗ (царапины, задиры, раковины, износ в углах, износ нижней части). Для проведения исследований по удалению дефектов изготовлена модель плиты кристаллизатора, на поверхности которой смоделированы износ и дефекты. Путем плазменно-дуговой наплавки удалены дефекты и восстановлен поверхностный слой модели плиты кристаллизатора МНЛЗ. Металлографические исследования показали, что восстановленный слой является плотным, трещины, поры, смоделированные дефекты отсутствовали. Результаты исследований показали, что восстановленный слой практически идентичен металлу основы модели плиты кристаллизатора по механическим и физическим свойствам. Библиогр. 14, табл 1, ил. 4.

*Ключевые слова:* плазменно-дуговая наплавка; поверхностный слой; дефекты; износ; медная плита; кристаллизатор МНЛЗ; восстановление

При движении металла через кристаллизатор в зоне взаимодействия поверхностей движущаяся корочка затвердевшего металла при контакте вызывает сильный износ поверхности кристаллизатора, приводящий к изменению его исходной геометрии.

В результате нескольких разливок рабочая сторона медных стенок изнашивается и деформируется. На ней могут возникать такие основные дефекты: царапины, задиры, раковины, износ в углах, износ нижней части [1–6]. Царапины образуются из-за абразивного воздействия застывших капель стали на поверхность плиты. Грубые задиры на рабочих поверхностях могут привести к подвешиванию слитка в кристаллизаторе, обрыву слитка или образованию поверхностных трещин. Также на поверхности стенки могут возникать полосы каплевидных раковин длиной от 5 до 10 мм и глубиной от 1 до 2 мм, вытянутые по ходу движения непрерывного литья заготовки (НЛЗ). Глубокие раковины (глубиной от 5 до 8 мм и диаметром 10...15 мм) возникают в околугловых областях и на границах рабочей поверхности стенки кристаллизатора. Они появляются в результате по-

ступательного движения слитка вниз, повреждая покрытие и материал стенки кристаллизатора. Износ в углах может возникать уже примерно на 5–7 см ниже линии мениска. Причиной такого износа является быстрое затвердевание металла и образование твердой корочки в углах вследствие двумерного теплового потока. Износ нижней части связан с усадкой широкой стороны заготовки в направлении, перпендикулярном поверхности узкой стенки. Согласно данным работы [6], зона износа стенки составляет 400...650 мм от низа кристаллизатора.

Удаление поверхностных дефектов и восстановление поверхностного слоя плиты кристаллизатора МНЛЗ возможно с помощью разработанного в ИЭС им. Е.О. Патона способа плазменно-дугового рафинирования поверхности (ПДРП) [7–10]. Плазменно-дуговой переплав поверхностного слоя – это безотходное устранение дефектов в виде газовых пузырей, крупных неметаллических включений и окисных плен, образующихся в наружном слое слитков и заготовок в процессе их формирования. Он разработан с целью замены существующих способов подготов-

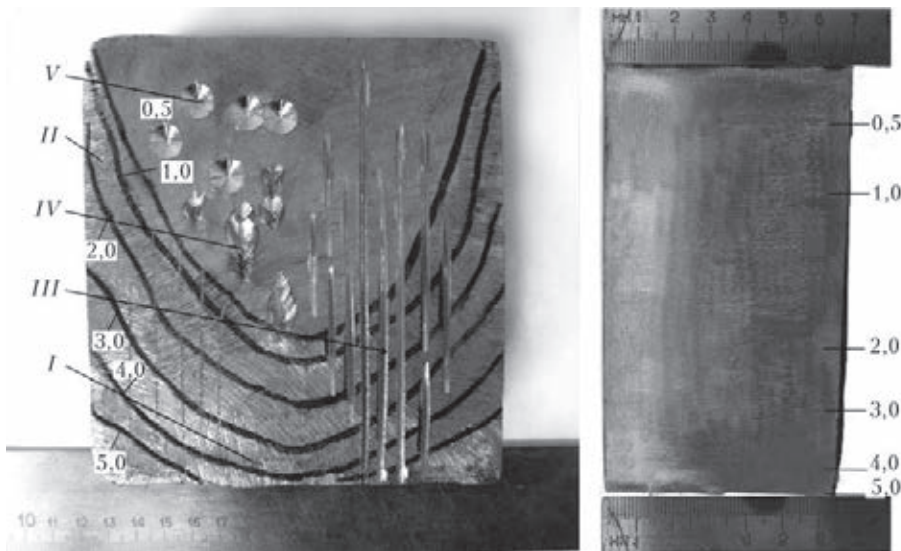


Рис. 1. Дефекты на поверхности модели кристаллизатора МНЛЗ: I — износ нижней части; II — износ в углах; III — царапины; IV — задиры; V — раковины; цифры у кривых обозначают глубину износа

ки слитков, основанных на удалении дефектного слоя [9, 10].

Для проведения экспериментов по удалению поверхностных дефектов и восстановлению поверхностного слоя изготовили модели кристаллизаторов МНЛЗ из меди марки М1, форму и размеры которых рассчитывали исходя из литературных данных [11]. Модели имели размеры 135×120×70 мм с тремя каналами для охлаждающей воды, расположенными по среднему сечению плиты, диаметром 20 мм. На рабочей поверхности кристаллизаторов смоделировали такие основные дефекты, как износ нижней части, износ в углах, царапины, задиры, раковины (рис. 1).

Данные о размерах и характере дефектов заимствованы из литературы [1–6]. Износ нижней части и в углах показан линиями, каждая из них определяет глубину износа (0,5...5,0 мм). Царапины имеют глубину 3...4 мм по всей длине, задиры

составляют 5...10 мм длиной и 5 мм глубиной, раковины имеют длину 10 мм и глубину 4...5 мм.

Эксперименты по восстановлению и удалению дефектов поверхностного слоя проводились на установке ОБ-1957 по методике, описанной в работе [8]. На рис. 2 показана схема установки для плазменно-дуговой наплавки поверхностного слоя ОБ-1957.

Перед процессом наплавки на поверхность заготовки закладывали чистую электротехническую медь в виде лома общей массой 0,5...1,0 кг (в зависимости от толщины восстанавливаемого слоя).

Перед наплавкой проводили предварительный нагрев заготовки до температуры, равной 0,3...0,6 температуры плавления меди.

Технологические режимы плазменно-дуговой наплавки поверхностного слоя указаны в работе [8]. В качестве плазмообразующего газа применяли аргон и аргоно-гелиевую смесь.

**Основные технологические характеристики процесса плазменно-дуговой наплавки**

Ток плазменной дуги, А	300...450
Напряжение на плазматронах, В	40...60
Скорость перемещения заготовки, мм/мин	10...15
Частота колебаний плазматронов, 1/мин	6
Амплитуда колебаний плазматронов, мм	60
Длина плазменных дуг, мм	30...50
Мощность дуги, кВт	18...22
Расход плазмообразующего газа (контролировали с помощью ротаметров РС-3 и РС-3А), л/мин	5...7
Давление газа в рабочей камере, Па	(1,2...1,4) 10 <sup>5</sup>

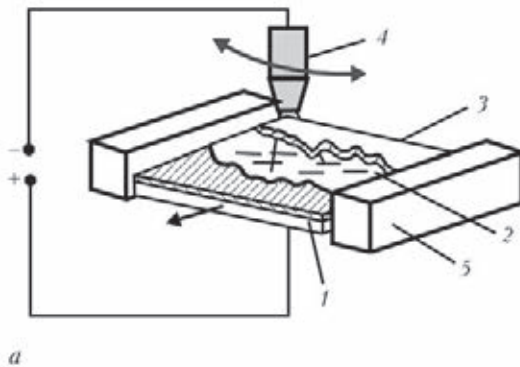


Рис. 2. Схема работы плазменно-дуговой установки ОБ-1957 (а) и процесс плазменно-дугового восстановления и удаления дефектов поверхностного слоя плиты кристаллизатора (б): 1 — обрабатываемая заготовка; 2 — ванна жидкого металла; 3 — лигатура; 4 — плазматрон; 5 — кристаллизатор



В процессе экспериментов удалены дефекты и восстановлен поверхностный слой (рис. 3). Из полученных образцов в местах смоделированных дефектов вырезаны продольные и поперечные темплеты, проведены их металлографические исследования.

Из вырезанных темплетов изготовили макрошлифы (рис. 4). На продольных и поперечных темплетах видно, что в зоне сплавления металл плотный, трещин, пор и других дефектов не обнаружено, все дефекты были удалены.

Наплавленный поверхностный слой имеет толщину 2...7 мм, глубину проплавления — от 3...6 мм по длине модели кристаллизатора. Результаты проведенных исследований свойств восстановленного слоя и основы модели плиты кристаллизатора МНЛЗ приведены в таблице.

Результаты измерения показали, что восстановленный слой и основа имеют одинаковую твердость.

Установлено, что значения временного сопротивления восстановленного слоя и основы и составляют 164...170 МПа.

Результаты исследований восстановленного слоя на ударную вязкость  $KCU$  показали значения 51,6...54,2 Дж/см<sup>2</sup>, что соответствует свойствам меди серии М1.

Основное назначение кристаллизатора — формообразование слитка и отвод от кристаллизующейся стали тепла, поэтому теплопроводность стенки кристаллизатора после восстановления не должна снижаться. Оценку теплопроводности проводили путем измерения электросопротивления образца, вырезанного из восстановленного слоя. Сопротивление измеряли с помощью микрометра Ф4104-М1 по методике, приведенной в паспорте прибора «Ба2.722.054 ПС» [12]. Результаты измерений и расчетов показали, что удельная электропроводимость восстановленного слоя немного выше, чем у основы. Таким образом, восстановление поверхностного слоя не снижает уровень теплопроводности плиты.

Одним из важнейших показателей эффективности

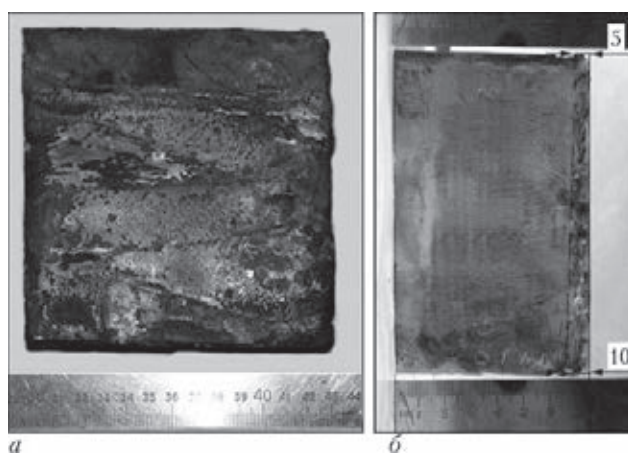


Рис. 3. Внешний вид восстановленной модели плиты кристаллизатора МНЛЗ: *а* — поверхностный слой; *б* — поперечное сечение наплавленного слоя

процесса непрерывного литья является эксплуатационная стойкость кристаллизаторов. Чем она выше, тем меньше простое установок, связанные с их заменой, ниже расходы на изготовление и ремонт кристаллизаторов.

Для проведения исследований на истирание при повышенных температурах с целью определения износостойкости восстановленного слоя по методике, описанной в работах [13, 14], сконструировали специальную установку. Установка на истирание моделирует основные параметры, протекающие во

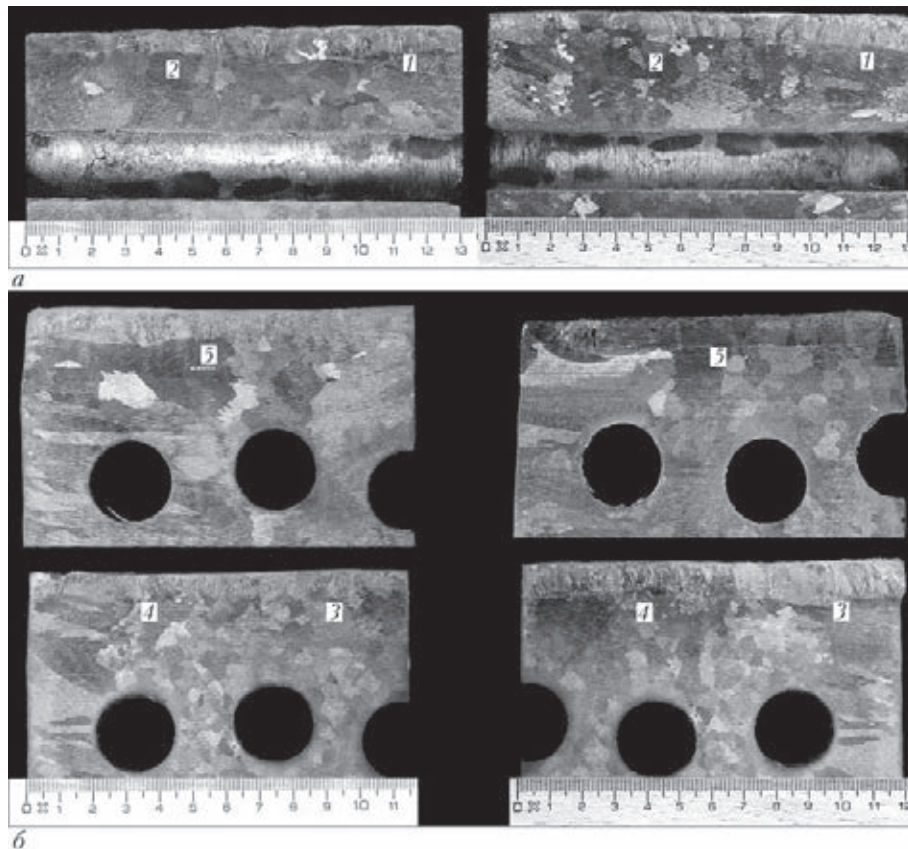


Рис. 4. Макрошлифы восстановленного продольного (*а*) и поперечного (*б*) сечений моделей плит кристаллизатора. Цифрами 1–5 обозначены места исправленных дефектов (см. рис. 1)



Свойства восстановленного слоя и основы модели плиты кристаллизатора МНЛЗ					
Место отбора пробы	Твердость <i>HRB</i>	Временное сопротивление при растяжении, МПа	Ударная вязкость <i>KCU</i> , Дж/см <sup>2</sup>	Удельная электропроводность, Мсм/м	Износостойкость (при температуре 400 °С), км/год
Наплавленный слой	14	164	51,6	54,064	0,642
Граница	14	—	—	—	—
Основа	15	170	54,2	51,921	0,736

время разливки стали — движение льющейся стали и качание кристаллизатора, температуру поверхности кристаллизатора, а также давление затвердевшей корочки на стенки кристаллизатора. Результаты проведенных исследований показали, что значения износостойкости восстановленного слоя и основы практически равны.

## Выводы

1. Определены основные дефекты на поверхности кристаллизатора МНЛЗ (царапины, задиры, раковины, износ в углах, износ нижней части).

2. Плазменно-дуговая наплавка позволяет восстанавливать дефектный поверхностный слой модели плиты кристаллизатора МНЛЗ.

3. Результаты исследований показали, что восстановленный слой практически идентичен основе модели плиты кристаллизатора по механическим и физическим свойствам.

1. Смирнов А.Н., Ухин В.Е., Подкорытов А.Л. Исследование особенностей износа гильз кристаллизаторов высокоскоростных сортовых МНЛЗ // Наук. праці Донец. нац. техн. ун-ту. Сер. Металургія. — 2010. — Вып. 12. — С. 157–164.
2. Особенности разрушения покрытий гильз кристаллизаторов высокоскоростных сортовых МНЛЗ / И.В. Лейрих, А.Н. Смирнов, Е.Ю. Жибоедов, Е.Н. Любименко // Там же. — 2005. — Вып. 102. — С. 155–161.
3. Лейрих И.В., Жибоедов Е.Ю. Влияние условий эксплуатации на разрушение гильз кристаллизаторов сортовых МНЛЗ // Там же. — 2007. — Вып. 9. — С. 104–112.
4. Romana Garzinová, David Jiří, Švec Pavel. Modelling the crystallizer's mold state depending on its wear // Acta Metallurgica Slovaca. — 2014. — Vol. 4. — P. 129–137.

5. Радиальный слябовый кристаллизатор с щелевыми каналами и никелевым покрытием стенок. Наука, техника, производство / А.А. Макрушин, А.В. Куклев, Ю.М. и др. // Металлургия. — 1956. — № 2. — С. 39–41.
6. Расчет формы поверхности узкой стороны сляба в зоне кристаллизатора / А.А. Макрушин, А.В. Куклев, Ю.М. Айзин и др. // Сталь. — 2004. — № 4. — С. 27–30.
7. Причины разрушения и способы упрочнения медных плит кристаллизаторов МНЛЗ / В.Г. Кожемякин, В.А. Шаповалов, В.Р. Бурнашев и др. // Современ. электрометаллургия. — 2014. — № 4. — С. 37–45.
8. Кожемякин В.Г. Влияние технологических параметров на размеры жидкой металлической ванны при плазменно-дуговой наплавке (ПДН) медных плит кристаллизаторов МНЛЗ / В.Г. Кожемякин, В.А. Шаповалов, В.Р. Бурнашев, Д.В. Ботвинко // Там же. — 2015. — № 1. — С. 21–25.
9. Особенности плазменно-дугового переплава поверхностного слоя заготовок из металлов с высокой теплопроводностью / Ю.В. Латаш, Г.Ф. Торхов, М.И. Таранов, А.А. Куранов // Спец. электрометаллургия. — 1984. — Вып. 55. — С. 80–85.
10. Некоторые закономерности плазменно-дугового переплава поверхностного слоя плоских заготовок / Ю.В. Латаш, Г.Ф. Торхов, В.К. Кедрин, М.И. Таранов // Там же. — 1981. — Вып. 47. — С. 101–106.
11. Машины непрерывного литья заготовок. Теория и расчет / Л.В. Буланов, Л.Г. Корзунин, Е.П. Парфенов и др. — Екатеринбург: Уральский центр ПР и рекламы «Марат», 2003. — 320 с.
12. Паспорт. Микрометр Ф4104-М1 Ба2.722.054.ПС // [energoaudit.ru/local/files/energoaudit/f4104\\_m1.pdf](http://energoaudit.ru/local/files/energoaudit/f4104_m1.pdf).
13. Рябцев И.И., Черняк Я.П., Осин В.В. Блочно-модульная установка для испытаний наплавленного металла // Сварщик. — 2004. — № 1. — С. 18–20.
14. Ланин А.Г. Методы определения термпрочности (Обзор) // Завод. лаб. Диагностика материалов. — 1998. — № 3. — С. 31–47.

The process of continuous casting of steel in machines of continuous casting of billets (MCCB) is positioned as the most rational method of producing billets for the further processing due to its technical-economic characteristics. The main unit of the MCCB is a copper mould, which is worn out during the process of continuous casting as a result of thermal and mechanical effect of a formed hard crust of the solidified metal. This wear of the working surface leads to the formation of defects, and also to the change in initial geometry of the mould, thus negatively influencing the quality of billets being cast. Analyzed are the main defects on the surface of the MCCB mould (scratches, tears, cavities, wear in corners, wear of the bottom part). To carry out the investigations for removal of defects, the model of the mould plate was manufactured, on the surface of which the wear and defects were modeled. Using plasma-arc surfacing the defects were removed and surface layer and surface layer of the MCCB mould plate model was restored. Metallographic examinations showed that the restored layer is dense, the cracks, pores, modeled defects are absent. The results of investigations showed that the restored layer is almost identical to the metal of base of the mould plate model in mechanical and physical properties. 14 Ref., 1 Table, 4 Figures.

**Key words:** plasma-arc surfacing; surface layer; defects; wear; copper plate; MCCB mould; restoration

Поступила 20.05.2015