

6. Bobrovnichii G. S., Monteiro S. N., Tardim R. C. Electrosintering production of novel grade diamond composites // Mater. Sci. Forum. – 2010. – 660. – P. 854–859.
7. Шмегера Р. С. Интенсивное электроспекания металлических матриц алмазо-содержащих композитов в присутствии жидкой фазы // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения. – К.: ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины, ИПЦ АЛКОН НАНУ, 2012. – № 15. – С. 507–510.
8. Cu–Ni–Sn: A Key System for Lead–Free Soldering / C. Schmetterer et al. // J. of electronic mater. – 2009. – 38. – N1. – P. 10–24.
9. A new investigation of the system Ni–Sn / C. Schmetterer et al. // Intermetallics. – 2007. – 15. – P. 869–884.
10. Подоба Я. О. Закономірності ущільнення та формування властивостей композиційних алмазовмісних матеріалів на металевій зв'язці при інтенсивному електроспінанні. – Автореф. дис. ... канд. техн. наук. –К., ІНМ НАН України, 2012.
11. Fields R. J., Low S. R., Lucey G. K., Jr. Physical and mechanical properties of intermetallic compaund commonly found in solder joints // Metal Science of Joining. – Proceedings of TMS Symposium, Cincinnati. – 1991. – Oct. 20–24.
12. Дуб С. Н., Куш В. И. Оценка упруго–пластических свойств материалов по данным наноиндентирования и компьютерного моделирования. 2. Экспериментально–теоретическая методика // Сверхтвердые матер. – 2012. – № 4. – С. 3–15.
13. Горячева И. Г. Механика фрикционного взаимодействия. – М.: Наука, 2001. – 478 с.
14. Rabinowicz E. Friction and wear of materials. – N.Y.: Wiley, 1965. – 244 p.

Надійшла 15.05.13

УДК 621.793

**Ю. Н. Никитюк<sup>1</sup>; В. И. Зеленин**, канд. техн. наук; **Е. В. Зеленин;**  
**М. А. Полещук** канд. техн. наук<sup>2</sup>, **А. Л. Майстренко**, чл.-корр. НАН Украины;  
**В. А. Лукаш**, канд. техн. наук<sup>3</sup>, **С. Д. Заболотный<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>ООО «Научно-производственная фирма «ВИСП», г. Киев

<sup>2</sup>Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины, г. Киев,

<sup>3</sup>Институт сверхтвердых материалов им. В. М. Бакуля НАН Украины, г. Киев

### **ТЕХНОЛОГИЯ РЕМОНТА МЕДНЫХ СЛЯБОВЫХ КРИСТАЛЛИЗАТОРОВ НАПЛАВКОЙ ТРЕНИЕМ С ПЕРЕМЕШИВАНИЕМ**

*Приведены результаты разработки технологии ремонта медных плит кристаллизаторов МНЛЗ с применением для этой цели способа наплавки трением с перемешиванием (НТП), который позволяет наносить на изношенные места кристаллизаторов слой меди того же химического состава и теплопроводности, что и материал плиты.*

*Наплавленный на плиту МНЛЗ слой меди достаточной толщины, имеет сплавление с основой, что позволяет рассматривать отремонтированные плиты, как равноценные новым. Разработанная технология значительно уменьшает площадь поверхности плиты, нуждающуюся в шлифовке при ремонте.*

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

С 2003 г. на металлургических предприятиях СНГ используют слябовые кристаллизаторы со щелевыми охлаждающими каналами [1]. Ресурс таких кристаллизаторов превосходит ресурс кристаллизаторов со сверленными каналами, тем более если их стенки покрыты более прочными и износостойкими материалами.

Однако несмотря на значительное продление срока службы медных плит с покрытиями, вопросы их ремонта остаются актуальными.



*Рис. 1. Общий вид кристаллизатора МНЛЗ после эксплуатации с ярко выраженными клинообразными зонами износа медной плиты*

Одним из характерных дефектов, из-за которых кристаллизаторы снимаются с эксплуатации, является износ боковин нижней части охлаждающих плит глубиной более 2,7 мм. Общий вид такой плиты показан на рис. 1. Наблюдаемая зона износа располагается клинообразно по бокам плиты (темные полосы) широкой частью к низу.

Схемы распределения износа на рабочей поверхности узких стенок кристаллизаторов, где каждая линия показывает увеличение износа на 0,5 мм, изображены на рис. 2 [1]. Наличие таких дефектов приводит к недопустимости их дальнейшей эксплуатации.

Схемы распределения износа на рабочей поверхности узких стенок кристаллизаторов, где каждая линия показывает увеличение износа на 0,5 мм, изображены на рис. 2 [1]. Наличие таких

дефектов приводит к недопустимости их дальнейшей эксплуатации. Цель настоящей работы – разработать технологию ремонта медных плит, при указанных дефектах путем наплавки трением с перемешиванием (НТП).

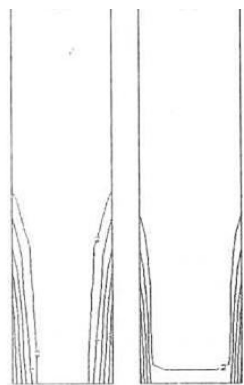
Наплавку выполняли вращающимся инструментом (рис. 3) с выступающим штырем, который, проникая сквозь наплавляемый (присадочный) металл и перемещаясь, смешивает наплавляемый металл с металлом основы [2].

При НТП достигается высокое качество сварки. Деформация и перемешивание металла в твердой фазе создают более плотную микроструктуру зоны соединения по сравнению с основным материалом.

Непосредственно инструмент и особенно его рабочий стержень подвергаются высокой термомеханической нагрузке, поскольку 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 опластичивания меди 700–800°C. Важным требованием является высокая прочность на изгиб инструментального материала. Рабочие инструменты изготавливали вольфрам-кобальтовых твердых сплавов с микродобавками тугоплавких соединений.

Особую роль при этом играет форма инструмента. Так, наилучшие результаты получили при использовании конусного штыря инструмента с диаметром основания конуса, равным одной трети диаметра торца инструмента. В этом случае изгибающие нагрузки передаются по касательной на основное тело инструмента, что очень важно в случае использования инструмента повышенной хрупкости.



а б

Рис. 2. Схемы распределения износа на рабочей поверхности узких стенок кристаллизаторов: а – опытного с никелевым покрытием; б – типового без покрытия (каждая линия свидетельствует об увеличении износа на 0,5 мм) [1]



Рис. 3. Общий вид рабочего инструмента (в оправке) для наплавки трением с перемешиванием

Наплавку осуществляли следующим образом. На ремонтируемый участок сегмента медной плиты, предварительно отфрезерованный до определенного уровня, накладывали медную пластину требуемого состава и формы и надежно закрепляли ее струбцинами. Затем вращающийся цилиндрический инструмент с выступающим штырем внедряли в наплавляемую пластину, создавая перемешивание наплавляемого металла с металлом основы.

Предварительно определяли оптимальное давление и температуру наплавки, что позволило скорректировать необходимые режимы

Для наплавки меди толщиной 3–5 мм оптимальным является боковое усилие около 2 т при осевой нагрузке до 5 т и частоте вращения 1200 об./мин.

При этом, температура наплавки для меди не превышала 660°C.

Общий вид образца плиты в собранном виде перед наплавкой медным листом толщиной 3 мм, закрепленным на изношенной части, показан на рис. 4.

Общий вид плиты при наплавке, показан на рис. 5. Общий вид наплавленной и отшлифованной части медной плиты показан на рис. 6 справа, части плиты, подготовленной к наплавке – слева. Как видим, наплавленный металл плотный, без трещин, непроваров и пор, что подтверждают металлографические исследования. Измерения микротвердости наплавленной меди свидетельствуют об идентичности твердости меди наплавляемой плиты.



Рис. 4. Общий вид образца собранной плиты с закрепленным на изношенной части медным листом 3 мм перед наплавкой



Рис. 5. Общий вид плиты при наплавке



Рис. 6. Общий вид наплавленной и отшлифованной медной плиты (справа); и часть плиты, подготовленная к наплавке (слева)

Таким образом, практически показана возможность ремонта медных плит кристаллизаторов путем наплавки трением с перемешиванием.

*Наведено результати розробки технології ремонту мідних плит кристалізаторів МБЛЗ із застосуванням для цієї мети способу наплавлення тертям з перемішуванням (НТП), який дозволяє наносити на зношені місця кристалізаторів шару міді того ж хімічного складу і теплопровідності, що і матеріал плити.*

*Наплавлений на плиту МБЛЗ шар міді достатньої товщини, має сплав з основою, що дозволяє розглядати відремонтовані плити, як рівноцінні новим. Розроблена технологія значно зменшує площу поверхні плити, яка потребує шліфовці при ремонті.*

**Ключові слова:** наплавлення, тертя з перемішуванням, ремонт, мідна плита, відновлення, кристалізатор, інструмент, пін.

*Here are presented the results of the development of technology to repair copper plates of caster using for this purpose the method of friction stir surfacing (FSS), which allows to apply on the worn areas of mold copper coating of the same chemical composition and thermal conductivity as the material of the plate.*

*Caster copper layer of sufficient thickness, weld on plate, has a fusion of the foundation that allows us to consider refurbished plates, as equivalent to new. Developed technology reduces significantly the surface area of the plates which needs polishing when repairing.*

**Keywords:** surface deposit, friction stir surfacing, repair, copper mould plates, continuous-casting machine, recovery, tool, pin.

### Литература

1. Радиальный слябовый кристаллизатор с щелевыми каналами и никелевым покрытием стенок / А. А. Макрушин, А. В. Куклев, Ю. М. Айзин, и др. // *Металлург. М.: Metallurgizdat, 2005. – № 2. – С. 38–41.*
2. К вопросу об упрочнении медных стенок кристаллизаторов МНЛЗ / Г. М. Григоренко, В. И. Зеленин, М. А. Полещук, и др. // *Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения. – К.: ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины, 2012. – Вып.15. – С. 548–552.*

*Поступила 31.05.13*