

– менше. Крім того, на більш жорстких режимах різання спостерігається зростання величини термоЕРС, для міді – незначне.

2. Для кубонітових кругів найвище значення термоЕРС зафіксовано при обробці кругами зі склопокриттям та металізованим покриттям титаном ріжучих зерен круга; в свою чергу найнижче значення зафіксовано при обробці кругами, в яких здійснено лише склопокриття кубонітових зерен.

3. Для алмазних кругів на меншій продуктивності процесу абсолютне значення термоЕРС при обробці кругами зі склопокриттям вище, ніж значення, зафіксоване при обробці кругами без покриття зерен, на вищій продуктивності – навпаки. З ростом продуктивності обробки значення термоЕРС зростає для всіх випадків.

*В данной работе было исследовано влияние характеристик и покрытий режущих зерен кругов с СТМ, а также режимов шлифования на величину термоЭДС в процессах абразивной обработки.*

**Ключевые слова:** алмазно-абразивный инструмент, инструмент с СТМ, абразивная обработка, покрытия режущих зерен, термоЭДС.

*In the present work was investigated the influence of the characteristics of coatings and cutting grains wheels with SHM, and modes of grinding on the value of thermopower in the process of abrasive processing.*

**Key words:** diamond grinding wheels, tool with the STM, abrasive machining, coating the cutting grains, thermopower.

### Література

1. Дубров Ю.С., Николаева Г.С. Электроэрозионный износ режущих инструментов и влияние электрических явлений на чистоту обработанной поверхности // Электрические явления при трении и резании металлов. – М.: Наука, 1969. – С. 56–69.
2. Лавріненко В.І., Девицький О.А., Ситник Б.В., Пасічний О.О. Методика вимірювання термоЕРС в процесах алмазно-абразивної обробки // Інженерія поверхності і реновація изделий: Матеріали 11-й Міжнародної науково-технічної конференції, 23–27 мая 2011 г., г. Ялта. – К.: АТМ України, 2011. – С. 103–105.
3. Ящерицын П.И., Фельдштейн Е.Э., Корниевич М.А. Теория резания: учеб. – Минск: Новое знание, 2006. – 512 с.

Надійшла 17.06.11

УДК 621.793

**В. И. Зеленин, М. А. Полещук**, кандидаты техн. наук, **Е. В. Зеленин, П. М. Кавуненко, И. М. Попович<sup>1</sup>, В. А. Лукаш, М. М. Прокопий**, кандидаты техн. наук, **А. Л. Майстренко**, д-р техн. наук, **Л. М. Вировец, О. В. Харченко<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины, г. Киев

<sup>2</sup>Институт сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля НАН Украины, г. Киев

### К ВОПРОСУ О ПОВЫШЕНИИ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ МЕДНЫХ ПЛИТ КРИСТАЛЛИЗАТОРОВ

*Показана возможность наплавки никеля на медную плиту, что может быть использовано для повышения работоспособности медных плит кристаллизаторов непрерывной разливки стали, значительно сэкономит материальные ресурсы металлургического производства.*

**Ключевые слова:** наплавка, медные плиты, кристаллизатор.

При движении стального слитка через медный кристаллизатор в зоне его контакта с плитой кристаллизатора, под воздействием высоких температуры и давления, наблюдается значительный износ и разрушение медной поверхности, что приводит к нарушению начальной геометрии кристаллизатора.

Предотвратить этот процесс можно путем применения новых материалов типа медь-цирконий, медь-серебро, либо путем нанесения на рабочую поверхность медных кристаллизаторов

более износостойких покрытий, что более перспективно [1, 2]. Так, на предприятиях ВАТ «Северсталь», прошли испытания покрытий фирмы «КМ Европа Металл (АМС-НН20 и АМС-НН40), показавшие стойкость в 2–3 раза большую, чем у медных плит без покрытия.

С успехом используются медные плиты кристаллизаторов немецких производителей с электролитическими никелевыми покрытиями на Алчевском металлургическом комбинате.

Применение покрытий дает возможность конструктивно изменить размеры медной плиты в сторону уменьшения ее толщины, что дает возможность использовать кристаллизаторы со щелевой системой водоохлаждения, значительно уменьшая их вес и снижая, тем самым, стоимость выпускаемой продукции.

Поэтому разработка альтернативной технологии нанесения покрытий на медные плиты, является одним из важных направлений в разработке технологии ремонта и повышения износостойкости кристаллизаторов непрерывной разливки стали.

Используя значительные успехи, достигнутые в последнее время в области сварки трением с перемешиванием (способ разработан Британским институтом сварки в 1991 г.), когда процесс сварки (наплавки) осуществляется в твердой фазе и позволяет без легирующих добавок и изменения химических свойств достаточно успешно соединять различные металлы, естественно попытаться использовать его в наших целях.

В Украине этот способ активно разрабатывается в ИЭС им. Е. О. Патона и ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины. При этом одной из главных проблем, сдерживающих более широкое применение этого способа, является стойкость (ресурс) рабочего инструмента, принципиальная схема которого и варианты изготовления приведены в [3]. При сварке и наплавке трением с перемешиванием вращающийся инструмент погружается в свариваемый материал таким образом, чтобы его штырь, пройдя привариваемую (наплавляемую) пластину, внедрялся на глубину 1–2 мм в основную плиту, а бурт (запечник) упирался в привариваемую (наплавляемую) пластину. При этом бурт, за счет генерируемой инструментом теплоты, нагревает свариваемые материалы до необходимой температуры, а штырь инструмента, за счет своих конструктивных особенностей, перемешивает опластиченные материалы.

Как показали эксперименты, при этом опластичивание происходит при температурах, превышающих на 50–100 °С температуру рекристаллизации свариваемого или наплавляемого материала, что для наплавки никеля на медь составляет 1050–1150 °С.

Ранее в работе [4] авторами показано, что наиболее подходящим материалом для сварки меди трением с перемешиванием оказались материалы группы ВК и ТК. Для наплавки на медную плиту никеля, имеющего более высокую температуру плавления по сравнению с медью, понадобилось использовать не только другие материалы но и изменить конструкцию инструмента. Лучшие результаты показывают твердые сплавы с содержанием кобальта с добавками в пределах 6–10 %, спекаемые в вакууме по специальным режимам.

Такие инструменты обладают повышенной прочностью и жаропрочностью, что позволяет их использовать до температур 1000–1200 °С.

Наплавку производили на установке для наплавки медных плит, описанную ранее [4]. Для уменьшения окисления инструмента в процессе работы использовался обдув его инертными газами.

На медную плиту толщиной до 15 мм, моделирующую медную плиту кристаллизатора, накладывали и закрепляли никелевую плиту толщиной до 4 мм. Затем через никель в медь внедряли вращающийся инструмент диаметром штыря (у основания) 10 мм и длиной до 7 мм. Режим работы инструмента:

- число оборотов в минуту – 1250,
- подача (скорость наплавки) – 80 мм/мин.

При этом осевое усилие достигало 5000 кг и последующим перемещением инструмента с боковой нагрузкой до 2000 кг.

Качество наплавки на медную плиту и сварных швов исследовалось на оптическом и растровом микроскопах.

Общий вид микрошлифа образца меди, наплавленный никелем, приведен на рис. 1 (поперечный разрез).

На рисунке 2 представлены фотографии микрошлифов, полученных из наплавленных образцов.

Наблюдается перемешивание слоев никеля и меди без активного взаимодействия. В поле зрения по толщине никелевого покрытия (на рис. 1 обозначено темным цветом) видны вкрапления светлых участков меди, не влияющие на износостойкость покрытия в целом.



Рис. 1. Внешний вид образца меди с никелевым покрытием (оптический микроскоп – поперечное сечение образца)

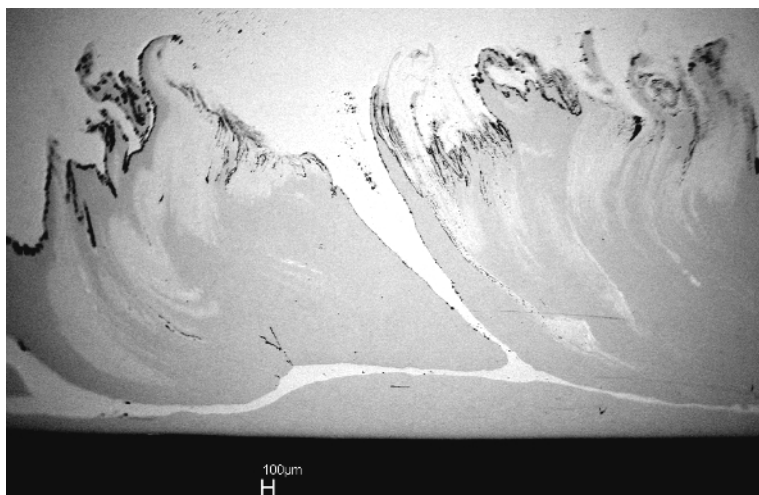


Рис. 2. Поперечное сечение образца меди с никелевым наплавленным слоем (растровый электронный микроскоп)

Частичное смешивание меди плиты с никелевым покрытием наблюдается на глубину 3–4 мм. При этом видны как бы завихрения никеля с медью. Удалить такое покрытие с медной плиты можно только механической обработкой, что говорит о прочном сцеплении. В зависимости от величины штыря зона завихрения уменьшается. При длине штыря чуть больше толщины никелевой плиты, она почти отсутствует. Микротвердость поверхности наплавленного слоя составила  $140 \text{ кг/мм}^2$ , микротвердость медной основы до  $80 \text{ кг/мм}^2$ , а в переходной зоне микротвердость в слоистых участках колебалась от 80 до  $130 \text{ кг/мм}^2$ .

Распределение микротвердости по глубине наплавленного никелевого слоя на медную основу приведено на рис. 3.

Результаты металлографических исследований показали, что метод наплавки трением с перемешиванием (НТП) обеспечивает высокое качество никелевого покрытия. При этом сцепление покрытия с медной основой равно прочности меди.

Таким образом, показана возможность наплавки никеля на медную плиту, что может быть использовано для повышения работоспособности медных плит кристаллизаторов непрерывной разливки стали, значительно сэкономят материальные ресурсы металлургического производства.



Рис. 3. Распределение микротвердости по глубине наплавленного никелевого слоя на медную основу

Показана можливість наплавлення нікелю на мідну плиту, що може бути використано для підвищення працездатності мідних плит кристалізаторів безперервного розливу сталі, значно заощадити матеріальні ресурси металургійного виробництва.

**Ключові слова:** наплавлення, мідні плити, кристалізатор.

The possibility of surfacing nickel on a copper plate that can be used to increase the efficiency of copper plates crystallizers of continuous pouring of steel, save significant material resources of metallurgical production.

**Key words:** surfacing, copper plates, crystallizer.

#### Литература

1. Ларс Седерквист. Сварка на тысячелетия // Светсарен, 2005. – № 2. – С. 31–32.
2. Штрикман М. М. Состояние и развитие процесса сварки трением линейных соединений (обзор) // Сварочное производство, 2007. – №10. – С. 25–32.
3. Зеленин В. И., Третьяк Н. Г., Лукаш В. А., Н.М.Прокопів и др. Инструменты для наплавки меди трением с перемешиванием // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения. – Киев: ИСМ им. В.Н. Бакуля, ИПЦ АЛКОН НАНУ, 2009 – С. 464–466.
4. Зеленин В.И., Полещук М. А., Зеленин Е. В. и др. Восстановление плит медных кристаллизаторов непрерывной разливки стали методом наплавки трением с перемешиванием. // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения. – Киев: ИСМ им. В.Н. Бакуля, ИПЦ АЛКОН НАНУ, 2010. – С. 476–479.

Поступила 06.07.11