

УДК 621.793

Г. М. Григоренко<sup>1</sup>, акад. НАН Украины, В. И. Зеленин<sup>1</sup>, М. А. Полещук<sup>1</sup>, кандидаты технических наук; П. М. Кавуненко<sup>1</sup>, инж, В. А. Лукаш<sup>2</sup>, канд. техн. наук, Е. В. Зеленин<sup>3</sup>, инж.

<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

<sup>3</sup>Национальный технологический университет Украины «НТУУ КПИ» НАН г. Киев

## К ВОПРОСУ ОБ УПРОЧНЕНИИ МЕДНЫХ СТЕНОК КРИСТАЛЛИЗАТОРОВ МНЛЗ

Показана возможность наплавки никеля на медную плиту методом трения с перемешиванием с использованием инструмента из твердосплавных вольфрамсодержащих материалов и кубического нитрида бора. Определены усилия, действующие на инструмент при наплавке никеля на медные плиты кристаллизаторов непрерывной разливки стали методом трения с перемешиванием.

**Ключевые слова:** наплавление трением с перемешиванием, медные кристаллизаторы, машины непрерывного литья заготовок, никель, карбид вольфрама, нитрид бора, рабочий инструмент, форма инструмента, сварочная головка, технология.

В процессе непрерывной разливки стали в зоне ее контакта с медной плитой кристаллизатора под воздействием высокой температуры и давления существенно изнашиваются и разрушаются контактирующие поверхности плиты. Срок их эксплуатации можно продлить нанесением на рабочую поверхность медных кристаллизаторов износостойких покрытий [1, 2].

Для повышения надежности медных кристаллизаторов в фирме «Mishima Kosan», Япония [3], наносят толстые гальванические Ni и Co–Ni покрытия на их стенки. При этом стойкость кристаллизаторов повышается с 200 до 2000 плавов.

Цель настоящей работы – создать технологию нанесения покрытия никеля на медные плиты МНЛЗ методом НТП.

Сварку трением с перемешиванием (СТП) [4, 5] выполняют вращающимся инструментом с выступающим штырем, который перемещается в направлении сварки в металле шва при температуре его рекристаллизации. Пластификацию металла осуществляют путем перемешивания инструментом металла по стыку его свариваемых поверхностей с формированием сварного шва без расплавления. При этом достигается высокое качество сварки. Деформация и перемешивание металла в твердой фазе иногда создают микроструктуру



Рис. 1. Рабочий инструмент установки для наплавки трением с перемешиванием

прочнее, чем основного материала. Инструмент, а особенно его рабочий стержень, подвергаются высоким термомеханическим нагрузкам. Рабочая температура инструмента для наплавки никеля достигает 800 °С и более. В этой связи одним из важнейших условий качества наплавки является высокая прочность инструментального материала.

Рабочие инструменты изготавливали из вольфрамкобальтовых твердых сплавов с микродобавками тугоплавких соединений и кубического нитрида бора конфигурации, близкой к показанной на рис. 1.

При наплавке методом НТП скорость вращения инструмента и продольного перемещения (скорость

наплавки) установили из расчета 0,1–0,2 мм/об. шпинделя. В это время никеля перемешивается с медью, т. е. осуществляется процесс наплавки.



Рис. 2. Технология наплавки покрытия методом НТП

Параметры измеряли непосредственно в рабочем процессе и их значения выводили на компьютер. Образец компьютерной записи действующих на инструмент усилий во времени (верхняя кривая – осевое усилие, а нижняя кривая – боковое усилие) показан на рис. 4.

При анализе кривых рис. 4, можно заметить, что в начале эксперимента, когда инструмент углубляется в плиту (в течение ~120 с), прибор фиксирует только осевое усилие, наибольшее значение которого (8–9 кН) наблюдается в момент максимального углубления инструмента в материал. Впоследствии усилие снижается поскольку температура в рабочей зоне инструмента достигает необходимой для сварки и прочность металла снижается.

После включения горизонтальной подачи, т. е. с момента начала процесса наплавки, система начинает фиксировать боковое усилие. Одновременно повышается осевое усилие, достигая 10 кН в момент совпадения оси инструмента с осью датчика. Однако следует иметь в виду, что значение, записанное компьютером и показанное на рис. 4 не полностью отвечает реальному его значению. Связано это с тем, что датчик, фиксирующий усилие, движется и его ось не совпадает с осью инструмента. В этой связи для получения реального значения усилия необходимо с помощью разработанной программы учитывать расстояние (плечо) от датчика к инструменту в каждый конкретный момент в процессе движения прибора.

Значение бокового усилия при этом не нужно пересчитывать, поскольку прибор вместе с инструментом перемещается, нагружая датчик.

Проведенные эксперименты по изучению силовых нагрузок на инструмент в зоне его взаимодействия с металлом при наплавлении методом НТП оказались очень важными, так как позволили определять необходимые физико-механические характеристики рабочего инструмента и оптимальные режимы его работы.

Регулируя заглубление штыря в медную плиту через никель, можно уменьшить или увеличить площадь зоны взаимного перемешивания.

При перемещении инструмента образуется нахлесточный прорезной шов. Последовательное наложение таких швов с перекрытием позволяет наплавить никель на медную плиту (рис. 2).

Поскольку наплавка в данном случае проходит в твердой фазе без перегрева, в сварочном шве возникают значительно меньшие напряжения, что позволяет успешно наплавить плиту без короблений и изменения размеров.

Для определения механического воздействия на инструмент в процессе наплавки разработали отдельную методику и изготовили специальное устройство. Общий вид устройства с датчиками приведен на рис. 3.

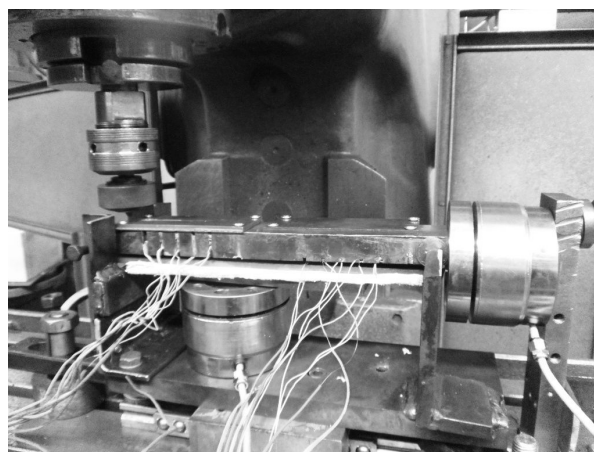


Рис. 3. Общий вид устройства с датчиками и инструментом

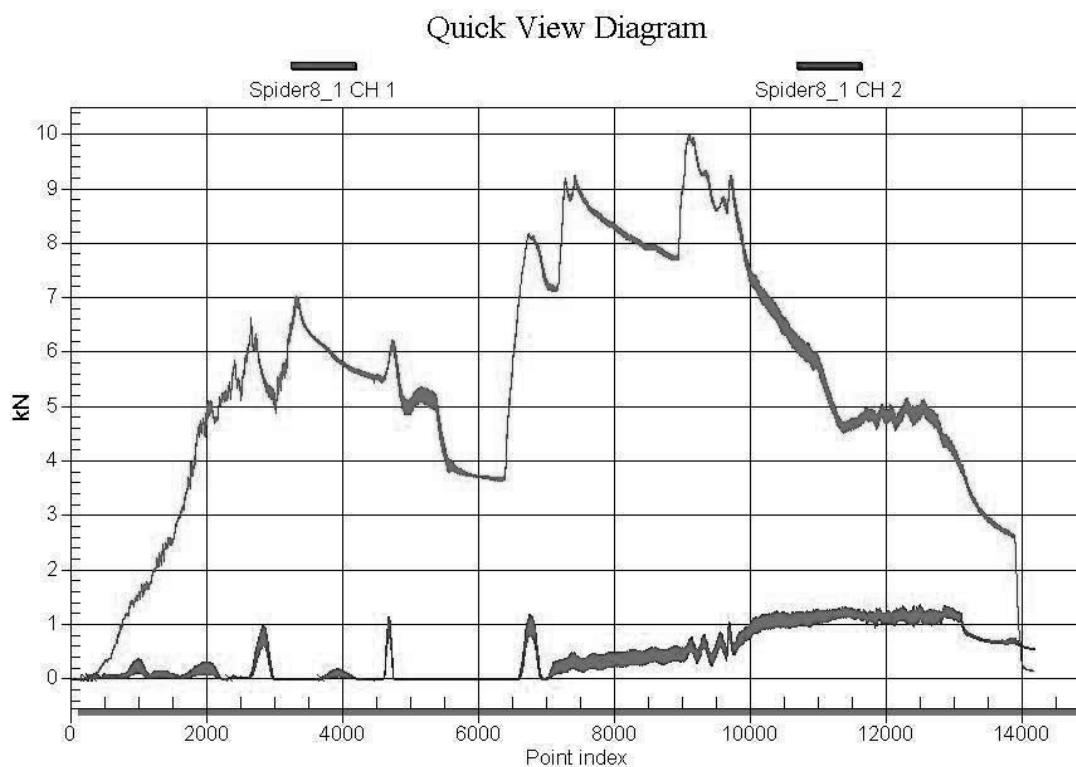


Рис. 4. Кривые распределения действующих на инструмент усилий

Микроструктура поперечного разреза медной плиты с заглублием штыря в медь через никель до 3 мм показана на рис. 5, а, до 0,3 мм – на рис. 5, б.

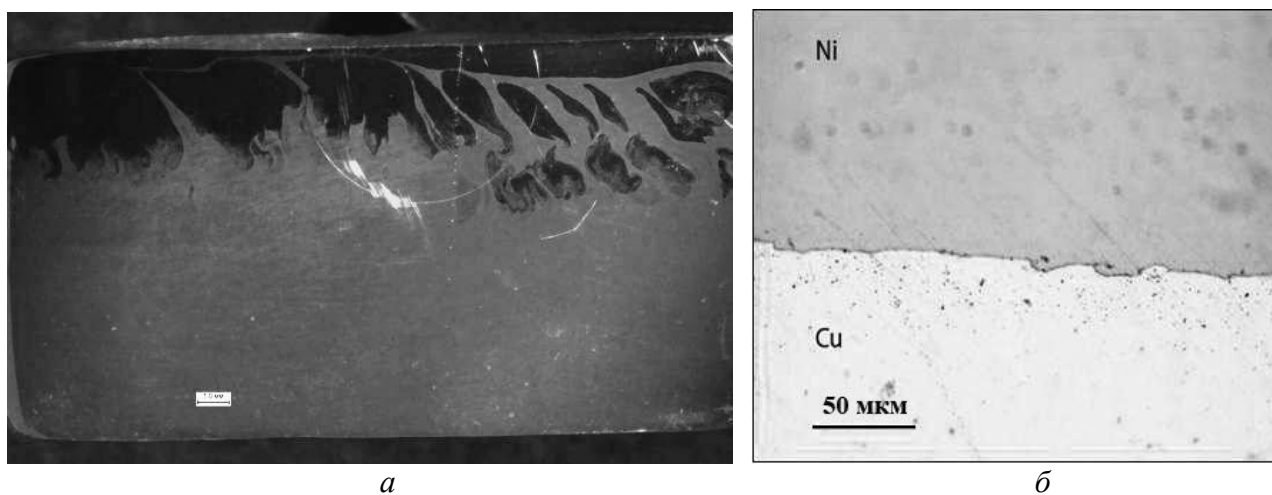


Рис. 5. Фотографии микрошлифа образцов меди с никелевым покрытием, нанесенным методом НТП (оптический микроскоп – поперечное сечение образца,  $\times 500$  при глубина заглублиения штыря в медь: а – до 3 мм; б – до 0,3 мм

На фотографиях прослеживаются попадающие в никель зоны меди (рис. 5 а) и наоборот, на рис. 5 б зоны не перемешиваются.

При рассмотрении микроструктуры зоны перемешивания (рис. 5, а) при большем увеличении (рис. б) наблюдается четко выраженная граница раздела фаз, а также зон термомеханического перемешивания и термического влияния.

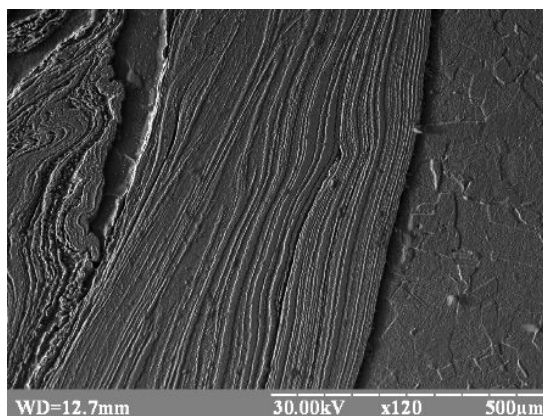


Рис. 6. Микроструктура из границы раздела зон термомеханического перемешивания и термического влияния

Как видно на рис. 6, зона термомеханического влияния состоит из крупных вытянутых зерен никеля в меди размерами 30–100 мкм. приведен График зависимости микротвердости по глубине покрытия, нанесенного методом НТП при заглублении инструмента до 3 мм (рис. 7).

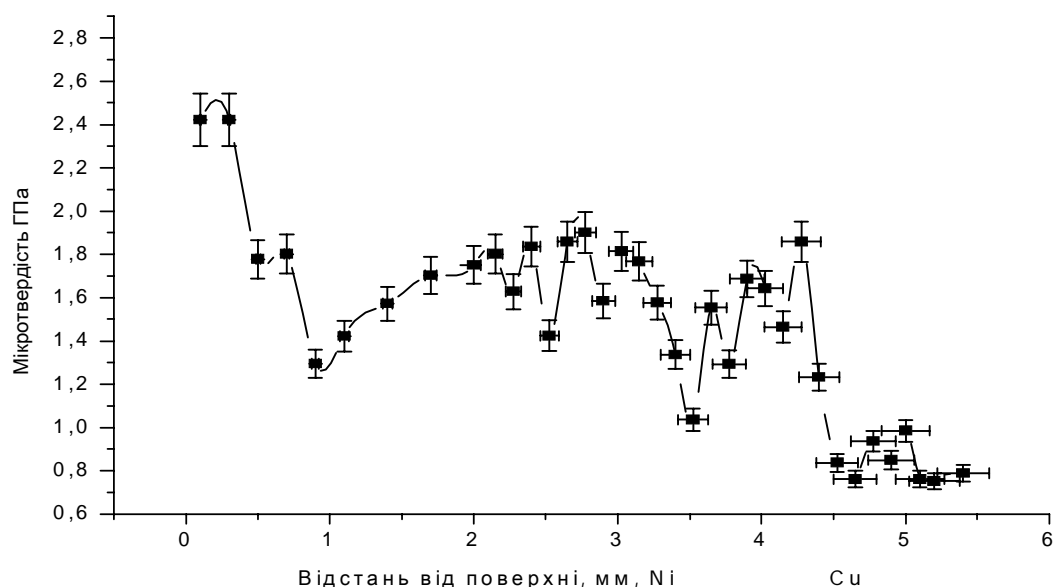


Рис. 7. График зависимости микротвердости по глубине образца с никелевым покрытием, нанесенным методом НТП на медь марки М1

При определении прочности сцепления покрытия с медью образец разрушается как монолитный.

На основании результатов исследований было разработано техническое задание на создание установки для наплавления методом НТП и спроектирована установка НТП02УЗ.

#### Выводы

1. Установлена принципиальная возможность нанесения покрытий на основе никеля и никелевых сплавов на медные плиты кристаллизаторов.
2. Разработана технология наплавления никелевого покрытия на медные плиты кристаллизаторов методом трения с перемешиванием.
3. Разработан рабочий проект опытного образца оборудования, наплавочной головки, шкафа управления для наплавления никелем медных плит кристаллизаторов.

*Показано можливість наплавлення нікелю на мідну плиту методом тертя з перемішуванням при використанні інструменту з твердосплавних вольфрамівісних матеріалів і кубічного нітриду бору. Визначено зусилля, що діють на інструмент при наплавленні нікелю на мідні плити кристалізаторів безперервного розливання сталі методом тертя з перемішуванням.*

**Ключові слова:** *наплавлення тертям з перемішуванням, мідні кристалізатори, машини безперервного лиття заготівель, нікель, карбід вольфраму, нітрид бору, робочий інструмент, форма інструменту, зварювальна головка, технологія.*

*Demonstrated the possibility surfacing of nickel on a copper plate by the friction stir welding using a tools from materials containing tungsten carbide and cubic boron nitride. Determined by forces acting on the tool for surfacing of nickel on copper plate molds for continuous casting of steel by friction stir welding.*

**Key words:** *friction stir surfacing, copper plate molds for continuous casting of billet, nickel, carbide of tungsten and cubic boron nitride, working instrument, form of instrument, welding head, technology.*

### **Литература**

1. Седерквист Л. 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. Масато Т. Кристаллизаторы установок непрерывной разливки стали от «Mashima Kosan» // Междунар. науч.-практ. семинар «Электроплакирование и термическое напыление». – Екатеринбург, 2009. – С. 1–19.
4. Инструменты для наплавки меди трением с перемешиванием / В. И. Зеленин, Н. Г. Третьяк, В. А. Лукаш, и др. // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника, технология его изготовления и применения. Вып. 12. – К.: Изд-во «ЛОГОС», 2009. – С. 464–466.
5. Восстановление плит медных кристаллизаторов непрерывной разливки стали методом наплавки трением с перемешиванием. / В. И. Зеленин, М. А. Полещук, Е. В. Зеленин и др. // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника, технология его изготовления и применения. Вып. 13. – К.: Изд-во «ЛОГОС», 2010. – С. 476–479.

*Поступила 13.06.12*