

ного зерна в композиционной капсуле толщиной ≥ 50 мкм в целях создания высокопрочных металл-алмазных гетерогенных структур инструментального назначения.

Литература

1. Дуда Т. М. Металлизированные никелем, медью и титаном алмазные и кубонитовые шлиф- и микропорошки // Инструмент. світ. – 1999. – № 4–5. – С. 28–29.
2. Дуда Т. М. Эффективные покрытия для порошков алмаза и КНБ, их структурные особенности и области промышленного применения // Синтез, спекание и свойства сверхтвердых материалов: Сб. науч. тр. – К.: Изд-во ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины, 2005. – С. 86–95.
3. Ткач С. В. Особливості використання растрової електронної мікроскопії при дослідженні композитних надтвердих матеріалів та багатошарових пліткових покриттів // Сверхтвердые материалы. – 2001. – № 3. – С. 54–61.
4. Васько А. Т. Электрохимия молибдена и вольфрама. – К.: Наук. думка, 1977. – 172 с.
5. Кришталик М. И. Электродные реакции. Механизм элементарного акта. – М.: Наука, 1979. – 224 с.
6. Васько В. Т. Электрохимия тугоплавких металлов. – К.: Техника, 1983. – 160 с.
7. Гальванические покрытия в машиностроении: Справочник: В 2-х т. / Под ред. М. А. Шлугера, Л. Д. Тока. – М.: Машиностроение, 1985. – Т. 2. – 248 с.

Поступила 07.07.10

УДК 621.793

В. И. Зеленин¹, канд. техн. наук; **М. А. Полещук¹**, **Е. В. Зеленин¹**, **П. М. Кавуненко¹**,
И. М. Попович¹, **А. Л. Майстренко²**, д-р техн. наук; **В. А. Лукаш²**, **Н. М. Прокопий²**, кан-
дидаты технических наук; **О. В. Харченко²**

¹Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины, г. Киев

²Институт сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля НАН Украины, г. Киев

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ПЛИТ МЕДНЫХ КРИСТАЛЛИЗАТОРОВ НЕПРЕРЫВНОЙ РАЗЛИВКИ СТАЛИ МЕТОДОМ НАПЛАВКИ ТРЕНИЕМ С ПЕРЕМЕШИВАНИЕМ

The paper presents the design of the tool and materials, hard tungsten-containing alloys of VK type, for manufacture of the work tool for the process of friction stir welding (FSW).

В сталеплавильном производстве при непрерывной разливке стали используют кристаллизаторы из меди, имеющей высокую теплопроводность и обеспечивающей быстрое образование корки металла на поверхности слитка. При движении слитка через кристаллизатор в зоне взаимодействия его поверхности со стенкой из меди, наблюдается значительный абразивный износ меди. Это приводит к нарушению начальной геометрии кристаллизатора, выходу его из строя и значительным материальным потерям. В этой связи требуется их частое восстановление. Однако обычными методами сварки и наплавки плавлением восстановить кристаллизаторы трудно, вследствие снижения их теплопроводности и коробления. С этой целью исследовали возможность использования нового процесса сварки в твердой фазе методом трения с перемешиванием (СТП) [1;2].

Этот процесс (разработанный Британским институтом сварки в 1991 году), представляет собой сварку в твердой фазе и выгодно отличается от традиционных методов сварки. В этой связи области его применения постоянно расширяются. Только в Японии разрабатываются технологии СТП для таких отраслей, как вагоно-, автомобиле-, авиа- и судостроение.

В Украине технология сварки трением с перемешиванием активно разрабатывается в Институте электросварки им. Е.О.Патона НАН Украины для сварки алюминия, меди, титана. Инструмент для реализации этой технологии разрабатывается в Институте сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля (ИСМ) НАН Украины.

Этот же процесс (сварки в твердой фазе) используют для наплавки, в частности, восстановления медных плит кристаллизаторов непрерывной разливки стали.

Применение для этих целей наплавки трением с перемешиванием позволяет восстанавливать медные плиты кристаллизаторов без изменения их теплофизических характеристик.

Большинство исследователей [3;4] указывают следующие преимущества СТП и НТП по сравнению с другими способами получения неразъемных соединений: сохранение большинства свойств основного металла в зоне сварки по сравнению со способами сварки плавлением; отсутствие вредных испарений и ультрафиолетового излучения в процессе сварки; возможность получения бездефектных швов на сплавах, которые при сварке плавлением склонны к образованию горячих трещин и пористости в металле швов; отсутствие необходимости применения присадочного материала и защитного газа, удаления поверхностных оксидов на кромках перед сваркой, а также шлака и брызг после сварки.

Одной из главных проблем при сварке металлов методом трения с перемешиванием является стойкость вращающегося инструмента, который подвергается воздействию значительных нагрузок и высоких температур.

При сварке либо наплавке вращающийся инструмент погружается в свариваемый материал. Свариваемый материал за счет теплоты, выделяемой при вращении и трении инструмента, опластичивается и при поступательном движении вдоль обрабатываемого изделия перетекает в свободную зону за инструмент, образуя сварочный шов. При этом материал инструмента подвергается значительным знакопеременным термомеханическим нагрузкам.

Как показывают результаты простых расчетов, для успешного опластичивания и перемешивания металла сплава необходима температура на 50–100 °С превышающая температуру начала рекристаллизации наплавляемого металла, что при наплавке меди составляет 650–750 °С. Это подтверждается практическими замерами при наплавке меди. Таким образом, инструмент для наплавки под действием высокой температуры, должен обеспечивать технологический цикл при различных скоростях, являясь фактором управления микроструктурой и, следовательно, качеством сварки.

Применение опытных образцов инструмента, изготовленных из различных марок жаропрочных и труднообрабатываемых сталей, показало их непригодность для этих целей. Используя опыт создания высокоэффективных твердосплавных инструментов вращающегося типа для породоразрушающего инструмента, ИСМ НАН Украины использовали подобный тип инструмента для наплавки меди методом трения с перемешиванием.

Для выяснения возможности применения твердого сплава для такого инструмента предварительно из стандартной смеси ВК8 производства КЗТС (Россия) исследовали образцы, спеченные в метано-водородной среде и вакууме. Полученные физико-механические и структурные характеристики этих образцов приведены соответственно в табл.1 и 2.

Таблица 1. Физико-механические характеристики сплава ВК 8

Режим спекания	Средний диаметр зерна d_{cp} , мкм	Коэффициентная сила Н, кА/м	Плотность γ , г/см ³	Твердость HRa	Предел прочности при изгибе R_{bm} , МПа
стандартный	1,60-2,20	9,0-9,5	14, 5–14,8	88,0	170
метано-водородный	1,96	9,0	14,72	88,5	185
вакуумный	1,69	9,3	14,77	89,6	205

Таблица 2. Структурные характеристики сплава ВК 8

Режим спекания	Объёмная доля пор, %	Количество пор > 50 мкм,	Размер кобальтовой фазы, L, мкм	Содержание свободного углерода, %	Размер отдельных крупных зерен или их скоплений, мкм
стандартный	Д1-В2	–	0,1-0,5	>0,2	15-20
метано-водородный	Д1 0,01	55, 73	0,1-0,5	≈0,2	15-20
вакуумный	В1 0,01	–	0,1-0,2	–	10-15

Результаты анализа приведенных данных показывают, что спекание в вакууме обеспечивает более высокие по сравнению со спеканием в метано-водородной среде физико-механические свойства. Кроме того, структура сплава имеет меньшую пористость, меньший средний размер карбидных зерен и кобальтовых прослоек. Характерная структура образца вакуумного спекания и структура с включением отдельных крупных зерен показаны на рис 1.

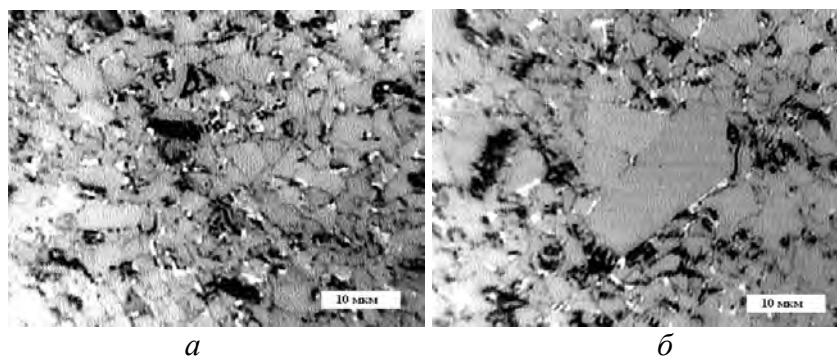


Рис. 1. Структуры сплава ВК 8 после вакуумного спекания, $\times 1600$:
а – характерная; б- с включением отдельных крупных зерен

С учетом полученных данных из сплава ВК8 изготовили опытную партию образцов инструмента, общий вид которых показан на рис. 2.



Рис.2. Общий вид инструментов для наплавки методом трения с перемешиванием

В качестве оборудования для восстановления кристаллизаторов непрерывной разливки стали использовали специально сконструированную установку для наплавки медных плит методом НТП. Технические характеристики этой установки следующие:

- мощность головного привода, кВт 30
- толщина наплавляемого слоя меди, мм, не более 10

- частота вращения инструмента, мин ⁻¹	500-3500
- усилие, воспринимаемое шпинделем, кг:	
осевое	5000
радиальное	2000
- скорость перемещения инструмента при наплавке листа толщиной 5 мм	200
- ширина захвата при наплавке листа толщиной 5 мм, мм, не более	10

Фото, иллюстрирующие процесс наплавки экспериментальной установкой методом НТП на медную плиту М 1 размером 800x200x25 медного листа М-1 толщиной 4 мм показаны на рис. 3. На площади, составляющей $\frac{2}{3}$ плиты, наплавку произвели в течение 30 мин. При этом внешний осмотр и экспресс исследование дефектов не выявили.

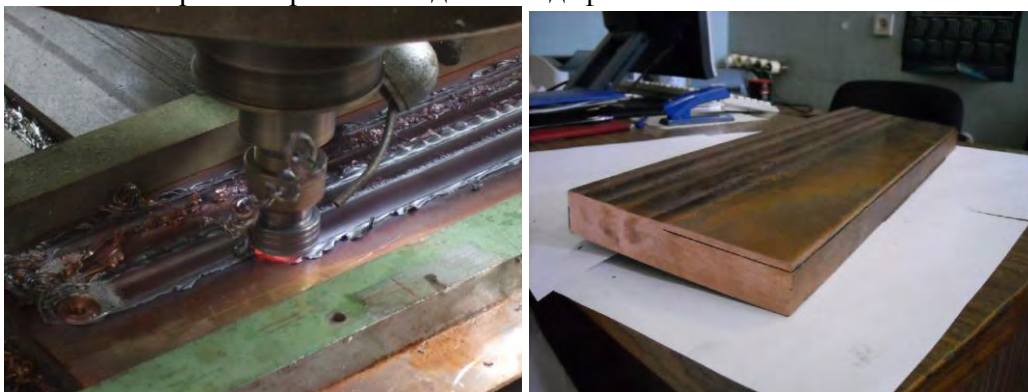


Рис. 3. Фото: а – процесса наплавки; б – плиты кристаллизатора после частичной наплавки и порезки.

Выводы

1. Созданный из сверхтвердых материалов инструмент позволяет методом трения с перемешиванием проводить наплавку и сварку меди и ее сплавов в производственных условиях.
2. Производственные испытания показали, что наиболее рациональным для использования в процессе НТП твердый сплав ВК8 вакуумного спекания.
3. Результаты анализа и изучения фрагмента наплавленной плиты показали, что образующийся в процессе НТП шов ровный и гладкий, коробления медной плиты и трещин в ней не обнаружено. Это свидетельствует о том, что в данном случае тепловложение в плиту значительно меньшее по сравнению с тепловложением в плиту в процессах сварки и наплавки плавлением. При этом резко снижаются остаточные напряжения, что позволяет производить наплавку больших площадей.
4. Применение метода НТП для восстановления наплавкой медных плит МНЛЗ позволит значительно сэкономить материальные ресурсы, благодаря многократному их использованию.

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) // Свароч. производство. – 2007. – № 10 – С. 25–32.
3. Pat. GB 2306366A, UK, В 23 К 20/12. Friction stir welding / T. W. Morris, E. D. Nicholas, J. C. Needham et al.; Оpubл. 1997.
4. Tool technology. The heart of FSW W. M. Thomas, P. Threadgill, D. Nicholas et al. // Connect. – 2000. – P. 3.

Поступила 07.07.10