

8. Шмегера Р. С. Интенсивное электроспекания металлических матриц алмазосодержащих 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 НАН Украины, 2012. – № 15. – С. 507–510.
9. Интенсивное электроспекание алмазосодержащих композиционных материалов / А. Л. Майстренко, С. А. Иванов, В. П. Переяслов, М. Н. Волошин // Сверхтвердые матер. – 2000. – № 5. – С. 39–45.
10. Вплив контактної провідності міжфазної границі «алмаз-металева зв'язка» на теплопровідність алмазовмісних композитів / Р. С. Шмегера, Я. О. Подоба, В. І. Куш, А. С. Беляєв // Сверхтвердые матер. – 2015. – № 4. – С. 39–52.
11. Новый ультратвердый поликристаллический композиционный материал / А. А. Шульженко, Е. Е. Ашкинази, А. Н. Соколов и др. // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: Сб. науч. тр. – К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2009. – Вып. 12. – С. 143–154.
12. Виноградова О. П. Руйнування гірських порід інструментом з функціональними елементами із композиційних алмазовмісних матеріалів: дис. канд. техн. наук: спец. 05.15.09. – К., 2015. – 196 с.
13. Майстренко А. Л. Формирование структуры композиционных алмазосодержащих материалов в технологических процессах. – К.: Наук. Думка, – 2014. – 342 с.

Надійшла 11.07.17

УДК 621.702.5

Г. М. Григоренко, академик НАН Украины¹; **М. А. Полещук, В. И. Зеленин**, кандидаты технических наук¹; **В. М. Теплюк, Е. В. Зеленин, И. В. Доценко**¹;
М. П. Беженар, д-р техн. наук²; **В. А. Лукаш, Н. М. Прокопів**, кандидаты технических наук²; **С. Д. Заболотный**², **Ю. А. Никитюк**³

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

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

³ООО «Научно-производственная фирма «Внедрение инженерных сварочных процессов», г. Киев, Украина

НОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ И УПРОЧНЕНИЯ МЕДНЫХ ПЛИТ ОХЛАЖДЕНИЯ КРИСТАЛЛИЗАТОРОВ МНЛЗ

Рассмотрено применение метода сварки трением с перемешиванием для восстановления медных плит охлаждения кристаллизаторов непрерывного литья заготовок.

Ключевые слова: наплавка, трение с перемешиванием, плита, медь, кристаллизатор, инструмент.

В Институте электросварки им. Е. О. Патона и Институте сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля НАН України процесс сварки в твердой фазе –трением с перемешиванием (СТП) – использовали для восстановления медных плит охлаждения кристаллизаторов непрерывного литья заготовок (МНЛЗ), одного из основных узлов установки непрерывной разливки стали.

В настоящее время стойкость медных плит кристаллизаторов непрерывной разливки стали (МНЛЗ) в металлургии в среднем составляет 150–350 плавов [1].

Обычными методами сварки и наплавки плавлением восстановить медные плиты кристаллизаторов без снижения их теплопроводности затруднительно.

Медь при плавлении на воздухе быстро окисляется, резко ухудшается ее теплопроводность, что недопустимо для охлаждающих устройств. Кроме того медные плиты коробятся с образованием трещин.

Применение наплавки трением с перемешиванием позволяет восстанавливать медные плиты кристаллизаторов на воздухе, с минимальными изменениями их теплофизических свойств и исключить их коробление.[2].

Отработанная технология наплавки меди на медь с последующей наплавкой никеля на восстановленные медные плиты, была реализована в НПФ «ВСП» при ремонте плит охлаждения кристаллизаторов непрерывной разливки стали Новолипецкого металлургического комбината.

Ремонтировали плиты следующим образом. На отработавшую ресурс плиту или ремонтируемый участок ее сегмента, предварительно отфрезерованный до необходимого уровня, накладывали пластину требуемого состава меди, и надежно закрепляли ее струбцинами. Затем специальный для СТП вращающийся инструмент внедряли в наплавляемую пластину, разогревали ее до температуры пластичности, создавая перемешивание наплавляемого металла с металлом основы. На рис.1–3 показан процесс наплавки.



Рис. 1. Общий вид процесс наплавки медной плиты

В качестве промышленного оборудования для восстановления кристаллизаторов непрерывной разливки стали использовали фрезерный станок с двигателем мощностью 30 кВт.

Наплавки меди на всю площадь плиты осуществлялась путем выполнения последующих сварочных швов с перекрытием. Инструмент вводили на неизношенной части плиты, а выводили – за ее пределами на специальный носок, который затем обрезают. Результаты измерения температуры меди в районе наплавки (зона сварочного шва) показали, что она не

превышает температуру рекристаллизации меди.

Подготовленная к наплавке часть плиты (слева) и часть наплавленной и отшлифованной медной плиты (справа) показаны на рис. 2.

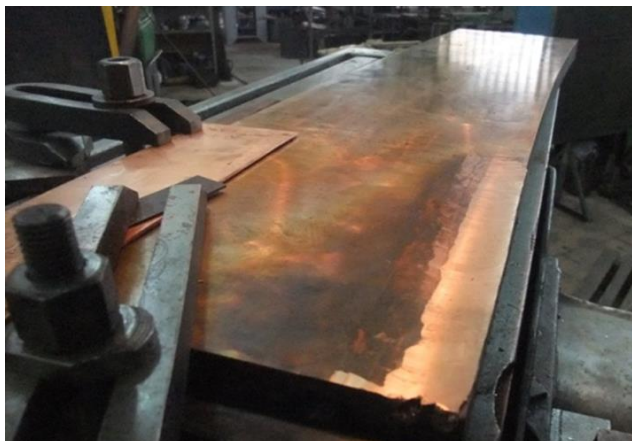


Рис. 2. Общий вид наплавленной и отшлифованной медной плиты (слева видна часть подготовленной к наплавке плиты)

Исследования наплавленного участка плиты показали, что в результате получили плотный наплавленный металл, без трещин, непроваров и пор, что и подтвердили последующие металлографические исследования [3]. Измерение микротвердости наплавленной меди свидетельствует о ее идентичности с основной плитой.

Развитие и совершенствование технологии СТП свидетельствует, что основным элементом процесса является инструмент, который в процессе работы подвергается высоким термомеханическим нагрузкам. На разогретый рабочий инструмент

одновременно действуют вращающий момент и знакопеременные, циклические изгибающие силы. Поэтому материал инструмента для наплавки подбирался жаростойким и высокопрочным. Особое значение при этом имели конструкция и материал из которого изготовлен инструмент. Наилучшие результаты по надежности и долговечности обеспечивает использование инструмента с рабочей частью конической формы. В этом случае изгибающая нагрузка на инструмент передается по касательной на основное тело инструмента, что особенно важно при использовании инструмента из материалов повышенной хрупкости.

Учитывая, что наплавку проводили в два этапа (наплавка меди на отдельные участки плиты, а затем наплавливали лист никеля на всю ее поверхность), использовали два типа инструментов, что обусловлено различием физико-механических и теплофизических характеристик меди и никеля. И если в первом случае достаточно было инструмента из твердого сплава марки ВК10, для наплавки никеля с температурой плавления более чем в полтора раза выше в сравнении с медью, понадобился инструмент из кубического нитрида бора. Чрезвычайно важен для получения качественного соединения режим наплавки (скорость вращения инструмента, осевое давление и подача стола). Оптимальные режимные параметры процесса позволяют исключить коробление плиты и обеспечить достаточную стойкость инструмента для СТП. Сохранению этих показателей способствует своевременное и достаточное охлаждение инструмента и плиты в процессе работы. Именно поэтому использовали специальную оправку с подключением проточного водяного охлаждения.

Медную пластину толщиной 3–5 мм наплавливали при частоте вращения инструмента до 1400 об/мин. Скорость перемещения стола составляла 80–110 мм/мин, шаг между проходами инструмента – 15 мм.

Результаты анализа образцов сваренных пластин показали, что в зоне перемешивания происходит динамическая рекристаллизация меди. Структура состоит из равноосных зерен размером 5–30 мкм, микротвердость этой зоны составила 1157 ± 50 МПа.

В результате наличия градиента температур и деформации в локальном объеме образуется структура, существенно отличающейся от основного металла что способствует возникновению напряжения между отдельными элементами структуры (структурное напряжение) т. е. напряжения второго рода. Подобное наблюдалось при наплавке плиты без охлаждения. Наплавленная плита с образовавшимися трещинами показана на рис. 3



Рис. 3. Общий вид деформации и трещины на обратной стороне плиты МНЛЗ после нанесения слоя меди вдоль плиты методом НТП без дополнительного охлаждения

Одним из этапов восстановления медных плит кристаллизаторов является нанесение методом НТП мм слоя никеля толщиной 3 мм.

Для нанесения на медную плиту никеля, с более высокой температурой плавления по сравнению с медью использовали не только другие материалы, но и изменили конструкцию инструмента. Лучшие результаты показали твердые сплавы вольфрам-окобальтовой группы и кубический нитрид бора.

Такие инструменты обладают повышенной жаропрочностью, что позволяет их использовать до температуры 1200 °С.

Никель наносили так же с помощью установки для наплавки медных плит. Дополнительно, для уменьшения окисления

инструмента в процессе работы использовали охлаждающий обдув его инертными газами.

Сравнение затрат в производстве при использовании НТП и наплавки плавящимся электродом показало, что начальные капиталовложения при НТП более высокие, но с увеличением объема производства применение НТП становится экономически выгоднее чем другой вид наплавки, а в некоторых случаях наплавка НТП является единственной возможностью как, например, для меди и никеля.

Разработанную технологию сварки (наплавки) можно рекомендовать для ремонта и повышения срока службы медных кристаллизаторов МНЛЗ.

Розглянуто застосування методу зварювання тертям з перемішуванням для відновлення мідних плит охолодження кристалізаторів безперервного лиття заготовок.

Ключові слова: наплавлювання, тертя з перемішуванням, плита, мідь, кристалізатор, інструмент.

NEW TECHNOLOGY OF RESTORATION AND FIXING OF COPPER COOLERS OF COOLING CRYSTALLIZERS OF CCM

The application of the friction stir welding method for the reduction of copper plates for cooling molds for continuous casting of blanks is considered.

Key words: surfacing, friction with mixing, plate, copper, crystallizer, tool.

Литература

1. Радиальный слябовый кристаллизатор с щелевыми каналами и никелевым покрытием стенок / А. А.Макрушин, А. В.Куклев, Ю. М.Айзин и др./ Металлург. – 2005. – № 2. – С. 38–41.
2. Масато Т. Кристаллизаторы установок непрерывной разливки стали от «Mishima Kosan» // Электроплакирование и термическое напыление; междунар науч-практ семинар. – Екатеринбург, 2009. – С. 4–19.
3. Металлургические особенности и механические свойства соединений нержавеющей сталей, выполненных сваркой трением с перемешиванием / К. Окамото, С. Хирано, М. Инагаки и др./ Автомат. сварка. – 2003. – № 10/11. – С. 197–203.

4. К вопросу об упрочнении медных стенок кристаллизаторов МНЛЗ / Г. М. Григоренко, В. И. Зеленин., В. А. Лукаш и др. / Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: Сб. науч. тр. – К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2012.– Вып. 15.– С. 548–552.

Поступила 12.07.17

УДК 669.018.25:621.762.5

В. П. Бондаренко, чл.-кор. НАН України, **С. І. Шестаков**, **М. О. Юрчук**, кандидати
технічних наук

Інститут надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля НАН України, м. Київ

ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНА ПОВЗУЧІСТЬ ТВЕРДОСПЛАВНИХ ЗРАЗКІВ, СПЕЧЕНИХ ЗА ОДНООСЬОВОГО СТИСКАННЯ

Наведено результати комп'ютерного моделювання та експериментального дослідження високотемпературної короточасної повзучості зразків з твердого сплаву ВН20, що спікаються під дією постійного стискаючого осьового навантаження.

Ключові слова: *твердий сплав, зразок, одноосьове стискання, температура, повзучість, комп'ютерне моделювання, пошкодження, напруження, деформація.*

Вступ

Нині основними споживачами вольфрамових твердих сплавів є виробники гірничодобувного і металообробного обладнання, розробники техніки високих тисків і температур, у тому числі апаратів високого тиску, які застосовують для синтезу алмазів, спікання наноструктурних та інших матеріалів, а також алмазно-твердосплавних пластин для бурового інструменту [1; 2]. З урахуванням того, що для виготовлення зазначених виробів щороку використовують сотні тон дорогих марок вольфрамокобальтових твердих сплавів, залишається актуальність проблеми підвищення їх експлуатаційної стійкості. Відомо, що статична і втомна міцність твердосплавних виробів багато в чому залежить від виду та неоднорідності їх напружено-деформованого стану, а також від термомеханічних характеристик твердих сплавів, які, у свою чергу, залежать від складу і структури останніх [3]. У цьому разі, крім регламентованих досліджень властивостей твердих сплавів залежно від їх мікроструктури потребується комп'ютерне моделювання термопружно-пластичного деформування твердих сплавів з метою оцінювання їх тривалої міцності в умовах сталої і змінної повзучості. Таке моделювання може дати додаткову інформацію про основні закономірності деформування і руйнування як твердосплавних зразків, що спікаються під дією розтягуючих або стискаючих навантажень, так і готових виробів, що експлуатуються тривалий час в умовах високого тиску і високої температури, а також значної швидкості деформування.

Методика досліджень

Основні етапи моделювання повзучості твердих сплавів за високої температури і високого напруження доцільно розглянути на прикладі пружно-пластичного деформування і