

ДИФФУЗИОННАЯ СВАРКА В ВАКУУМЕ ХРОМА С МЕДЬЮ

Г. К. ХАРЧЕНКО, д-р техн. наук, Ю. В. ФАЛЬЧЕНКО, канд. техн. наук, О. А. НОВОМЛИНЕЦ, инж.
(Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины),

В. Ф. ГОРБАНЬ канд. техн. наук (Ин-т проблем материаловедения им. И.М. Францевича НАН Украины)

Разработана технология диффузионной сварки в вакууме (ДСВ) хрома с медью применительно к изготовлению биметаллических катодов, используемых для создания износостойких слоев трения и декоративных покрытий. Установлено, что в процессе ДСВ в зоне контакта происходит напыление меди на хром. Изучен механизм деформации промежуточной перфорированной медной прослойки. Показана перспективность применения такой прослойки при ДСВ хрома с медью.

Ключевые слова: диффузионная сварка в вакууме, хром, медь, перфорированная прослойка, деформация

Разработка технологии сварки хрома с медью вызвана необходимостью применения в промышленности биметаллических катодов диаметром до 80 мм для распыления хрома в вакууме. Следует отметить, что данные о диффузионной сварке в вакууме (ДСВ) хрома с медью в литературе отсутствуют. Эти металлы значительно отличаются по физико-химическим и механическим свойствам, характеризуются незначительной взаимной растворимостью и, согласно диаграмме состояния, не образуют промежуточных соединений [1].

При ДСВ разнородных материалов для активации поверхностей свариваемых металлов и интенсификации диффузионных процессов используют промежуточные сплошные прослойки (СП) в виде покрытий, фольг, сеточных или порошковых материалов [2]. Существует также способ сварки, при котором для интенсификации процесса образования соединения и повышения прочностных характеристик металлокерамических соединений применяют перфорированные прослойки (ПП) из меди или чистого алюминия [3–6].

В настоящей работе изучено три варианта образования соединения при ДСВ хрома с медью: без прослойки (Cr–Cu); с СП из меди (Cr–СП–Cu); с ПП из меди (Cr–ПП–Cu).

Отработку режимов ДСВ, а также исследования особенностей деформации прослоек выполняли на образцах размером 2×10×10 мм из низколегированного сплава хрома ВХ-2К и меди марки М1. Перед сваркой контактирующие поверхности обезжиривали и зашабривали. Прослойки изготавливали из отожженной меди М1 толщиной 0,3 мм. Подготовка ПП состояла в нанесении на фольгу прямоугольной координатной сетки и высверливании отверстий. Коэффициент перфорации K_{Π} , составляющий 0,2, выбирали согласно рекомендациям работ [4–6]: $K_{\Pi} = \Sigma S_{\text{отв}} / S_{\text{св}}$ ($\Sigma S_{\text{отв}}$ – суммарная площадь отверстий, $S_{\text{св}}$ – площадь свариваемой поверхности).

С помощью оптического микроскопа «Neophot-32» на микрошлифах исследовали деформируе-

мость хрома, меди, СП и ПП, а также кинетику заполнения отверстий в процессе изменения толщины ПП при осадке.

Установлено, что при сварке на оптимальных режимах степень деформации СП на 30 % меньше, чем ПП.

В работах [4–6] показано, что деформирование промежуточных тонких прослоек по схеме давление–сдвиг реализуется не на СП, а на ПП. В отличие от СП скорость пластической деформации ПП в 15...30 раз выше, а размеры сдвиговых деформаций в приконтактных объемах в десятки раз больше. Это дает основание утверждать, что при ДСВ с применением ПП в структуре приконтактных объемов соединяемых материалов возникают области высокой концентрации дефектов (вакансий, дислокаций), фиксируются аномально высокие скорости массопереноса, возрастает скорость химических реакций, что в итоге активизирует физико-химические процессы взаимодействия между соединяемыми материалами [4].

Исследования деформируемости медной ПП и кинетики заполнения отверстий показали, что в нашем случае механизм деформации ПП отличается от механизма деформации ПП, показанном в работах [4–6], где ПП использовали между двумя твердыми материалами, а толщина мягкой ПП уменьшается настолько, что материал прослойки полностью заполняет отверстия в ней. В нашем случае отверстия в ПП заполняются не только материалом самой прослойки, но и материалом медной заготовки (рис. 1).

Установлено, что при сварке образцов указанных размеров при $K_{\Pi} = 0,2$ большая часть объема отверстия заполняется материалом прослойки, т. е. фиксируется интенсивная сдвиговая деформация приконтактных объемов соединяемых металлов, что обуславливает образование качественного сварного соединения хрома с медью (рис. 2).

Известно, что в герметичном зоре, разделяющем до сварки соединяемые поверхности, при нагреве образуется разрежение вследствие растворения газов воздуха в металле [7,8]. В работе [7] установлен факт сублимации никеля и его последующего осаждения. Можно предположить, что

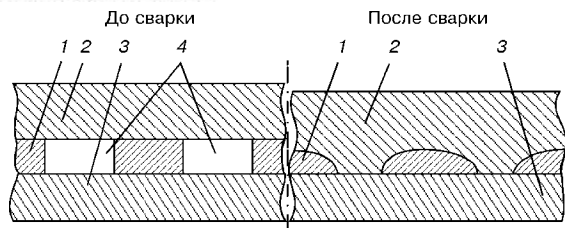


Рис. 1. Схема заполнения отверстий в ПП: 1 — медная ПП; 2 — медь; 3 — хром; 4 — местоположение отверстий в ПП

в случае ДСВ хрома с медью с использованием промежуточной медной ПП в герметичных зазорах (местах расположения отверстий в прослойке) возможен процесс сублимации меди или хрома с последующим их осаждением. Такое покрытие позволяет интенсифицировать образование зоны объемного взаимодействия при ДСВ металлов [2].

Отметим, что заметное испарение меди в вакууме 1,33 Па начинается при температуре 946 °С, хрома — при температуре более 1100 °С [9, 10]. Межслойный зазор деталей, соединяемых посредством сварки в твердой фазе, которые перед нагревом предварительно сжимают на воздухе, можно рассматривать как сумму герметичных микрообъемов, заполненных воздухом. В период нагрева в этих микрообъемах происходит самоочистка поверхности от оксидов, образование вакуума и сублимация металла [8].

Для изучения процессов, происходящих в замкнутых герметичных микрообъемах в стыке при ДСВ хрома с медью, были проведены следующие эксперименты. Сваривали пластины из хрома и меди, между которыми находилось медное кольцо, обеспечивающее в соединении зазор между хромовой и медной пластинами. После сварки ($T = 950\text{ }^{\circ}\text{C}$, $P = 8\text{ МПа}$, $t = 20\text{ мин}$) образцы разрезали и изучали поверхность хрома. Визуальное исследование и анализ поверхности хрома на растровом электронном микроскопе типа JSM-840 показали, что на хrome имеется напыленный слой меди.

На основе анализа полученных результатов и с учетом данных работ [7–10] можно предположить, что процесс ДСВ хрома с медью происходит в три этапа: автовакуумирование герметичных зазоров в стыке; напыление меди на хром; сварка меди с хромом через напыленный слой меди.

Испытывали на срез медную часть сварного соединения, а также оценивали теплопроводность биметаллического соединения*. Определено, что в случае сварки с применением ПП усилие среза несколько выше (до 15 %), чем при сварке без прослойки, а теплопроводность соединения составляет 60 % теплопроводности меди.

*Работа выполнена канд. техн. наук Б. М. Рассмахиним (НТУУ «Киев. политех. ин-т»).

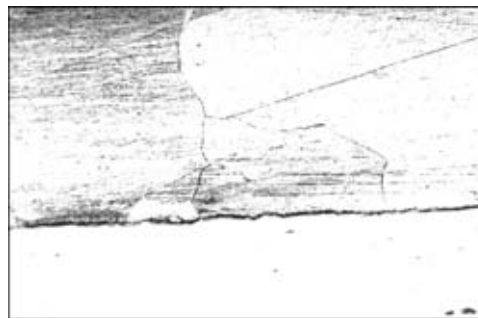


Рис. 2. Микроструктура ($\times 100$, уменьш. 2/3) соединения хром-медь с использованием перфорированной медной прослойки

После отработки оптимальных режимов сварки на модельных образцах эти режимы и коэффициент перфорации были откорректированы применительно к реальным размерам биметаллических узлов (диаметром до 80 мм и высотой до 65 мм). Применение медной ПП и специальной оснастки позволило локализовать пластическую деформацию меди в стыке и получить качественное сварное соединение со степенью деформации медной части катода не более 5 %.

Выводы

1. Установлено, что в процессе ДСВ в зоне контакта происходит напыление меди на хром.

2. Применение медной ПП при ДСВ меди с хромом обуславливает интенсификацию сдвиговых деформаций приконтактных объемов соединяемых металлов.

1. Барабаш О. М., Коваль Ю. Н. Структура и свойства металлов и сплавов. — Киев: Наук. думка, 1986. — 590 с.
2. Люшинский А. В. Критерии выбора промежуточных слоев при диффузионной сварке в вакууме разнородных материалов // Свароч. пр-во. — 2001. — № 5. — С. 40–43.
3. А. с. 1463415 СССР, МПК В 23 К 20/16. Способ сварки давлением с подогревом / Я. В. Лямин, Э. С. Каракозов, Р. А. Мусин. — Оpubл. 30.01.89, Бюл. № 4.
4. Применение перфорированных прокладок при диффузионной сварке / Р. А. Мусин, Я. В. Лямин // Свароч. пр-во. — 1991. — № 2. — С. 2–4.
5. Лямин Я. В. Разработка методов интенсификации процесса диффузионной сварки и повышение прочности металлургических соединений: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. — Пермь, 1998. — 19 с.
6. Лямин Я. В., Мусин Р. А. Деформируемость перфорированных прокладок при диффузионной сварке // Свароч. пр-во. — 1994. — № 6. — С. 24–26.
7. Сублимация никеля в замкнутом пространстве при нагреве / Е. В. Ткаченко, Б. И. Медовар, Г. А. Бойко и др. // Пробл. спецэлектрометаллургии. — 1986. — № 2. — С. 17–18.
8. Самоочистка от оксидов стыкуемых поверхностей при сварке в твердой фазе с нагревом (Аналитический обзор) / С. И. Кучук-Яценко, Г. К. Харченко, Ю. В. Фальченко, С. Г. Григоренко // Автомат. сварка. — 1998. — № 2. — С. 16–24.
9. Салли А., Брендз Э. Хром. — М.: Металлургиздат, 1971. — 360 с.
10. Кабанов Н. С., Слепак Э. III. Технология стыковой контактной сварки. — М.: Машиностроение, 1970. — 264 с.

Technology of diffusion vacuum welding (DVW) of chromium with copper for manufacture bimetal cathodes used for the creation of wear-resistant layers of friction and decorating coatings has been developed. It was established that deposition of copper on chromium is occurred in the zone of contact during DVW. Mechanism of deformation of intermediate perforated copper interlayer is studied. The prospects of use of this interlayer in chromium-copper diffusion welding is shown.

Поступила в редакцию 23.11.2001,
в окончательном варианте 22.06.2002