




AM9900010

Препринт ЕФМ-1380(10)-92

ԵՐԵՎԱՆԻ ՖԻԶԻԿԱԿԱՆ ԻՆՏԻՏՈՒՏ
ЕРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
YEREVAN PHYSICS INSTITUTE



В.Ш.АВАГЯН

СВАРКА МЕДИ В ТВЕРДОЙ ФАЗЕ

30 - 21

ЦНИИатоминформ
Ереван 1992

DISCLAIMER

Portions of this document may be illegible in electronic image products. Images are produced from the best available original document.

Նախնատիպ ԵրՓԻ-1380 (10) -92

Վ.Շ.ԱՎԱԳՑԱՆ

ՊՂՆՁԻ ԵՌԱԿՑՈՒՄԸ ՊԻՆԴ ՎԻՃԱԿՈՒՄ

Վերլուծված են հողվածներ պինդ վիճակում դիֆուզիոն եռակցման
աբսոլուտ գիացի վերաբերյալ: Ուսումնասիրված են պղնձի դիֆուզիոն
եռակցումը արծաթի, ալյումինի, նիկելի, քրոմի, տիտանի, չժանգոտվող
պողպատի և դժվարահալ մետաղների հետ:

Երևանի ֆիզիկայի ինստիտուտ

Երևան 1992



Центральный научно-исследовательский институт информации
и технико-экономических исследований по атомной науке
и технике (ЦНИИ Атоминформ) 1992 г.

Благодаря тому, что медь имеет высокую электро- и теплопроводность, малую газопроницаемость и газовыделение, коррозионную стойкость, немагнитность, высокую пластичность, она находит широкое применение в электронной промышленности и других областях народного хозяйства [1]. Диффузионная сварка меди в вакууме или в среде инертного газа не вызывает особых затруднений. Равнопрочность соединения меди к основному материалу достигается при диффузионной сварке по режиму: $T = 1123\text{K}$; $P = 7\text{ МПа}$; $\tau = 20\text{ мин}$. [2,3,4,9].

Следует отметить, что нет единого мнения об оптимальных режимах диффузионной сварки меди [5,11]. При диффузионной сварке меди с медью повышение температуры при неизменном удельном давлении и выдержке приводит к увеличению прочности соединения [3,6]. Что касается микропластической деформации с увеличением температуры и удельного давления, то она повышается значительно, а с увеличением времени сварки она повышается незначительно.

Часто для уменьшения деформации свариваемых деталей, сварку выполняют при температуре 923 K ; при этом соединяемые детали имеют надежную вакуумную прочность, а механическая прочность

близка к прочности меди в отожженном состоянии [7] .

В работе [2] отмечается, что на границе стыкового соединения зерен меди МБ с медью МБ имеется микроредьбный деформированный слой. В основном металле по границам зерен имеются аналогичные деформированные слои. Образование сдвиговых деформаций объясняется тем, что в процессе сварки металл подвергается незначительной пластической деформации, которая в основном происходит по границам зерен и в месте контактирования свариваемых поверхностей. В микроучастке контактирующей поверхности имеется окисная пленка, наличие которой объясняется тем, что откачка газа из мест контакта поверхностей происходит медленнее, чем из всей камеры. При возникающих в процессе сварки нагрузках окисная пленка не может разрушиться, так как она пластична и деформируется вместе с основным металлом; часто для восстановления окисной пленки сварку выполняют в атмосфере особо чистого водорода [31] .

В работе [8] исследовано влияние режима сварки на процесс образования соединения меди в высоком вакууме при $T = 673$ К и показано, что высокий вакуум является дополнительным активирующим фактором, интенсифицирующим процессы развития физического контакта активации атомов соединяемых поверхностей и химического взаимодействия.

В работе [5] отмечается, что соединения меди МБ, полученные при 873-923 К в вакууме $1 \cdot 10^{-5} - 1 \cdot 10^{-6}$ Па, по прочности и вакуумной плотности не уступают соединениям, полученным при 1123 К в вакууме $1 \cdot 10^{-2}$ Па.

Предложенные [5, 11] регрессионные модели позволяют для сочетания медь МБ + медь МБ, медь МБ + сталь 3, медь МБ + сталь Х18Н9Т рассчитывать соотношения параметров, обеспечивающих на-

перед заданную прочность соединения при контролируемом уровне деформации и вакуумной плотности.

В работе [10] исследованы пластические деформации микровыступов меди при сварке давлением с нагревом в интервале температур от 373 до 973 К и давлений от 5 до 80 МПа; показано, что влияние одного из этих параметров на скорость процесса повышается с ростом другого. Это объясняется снижением энергии активации ползучести меди. Показано, что толщина поверхностного слоя меди с деформационно измененными прочностными характеристиками не превосходит параметра шероховатости.

В работе [11] исследована возможность диффузионной сварки псевдосплава $Cu - Cr$ с медью. Установлено, что максимальная прочность получается при минимальной изотермической выдержке; это объясняется тем, что хром окисляется даже в условиях глубокого вакуума, но минимальной изотермической выдержки еще недостаточно для образования оксидов хрома.

Большое влияние на образование сварного соединения оказывает состояние поверхности. В соединении меди чистотой 99,92%, в зависимости от наличия загрязнений на поверхности, разница в величине прочности соединения образца с зачищенной и незачищенной поверхностью уменьшается с повышением температуры нагрева и времени выдержки [13].

В работе [14] предложен способ диффузионной сварки деталей электротехники, например, электрических контактов из Cu , Ag , их сплавов или покрытых указанными металлами, который предусматривает сборку деталей в пакет и установку пакета между электродами. Затем пакет нагревают пропусканием тока через электроды до температуры 0,4-0,8 от температуры плавления указанных

сплавов или покрытий. В процессе нагрева пакета его сжимают давлением $0,02-1 \text{ кг/мм}^2$. Затем пакет быстро охлаждают с закалочными скоростями.

Соединение $\text{Cu} - \text{Ag} - \text{Ag} - \text{Cu}$ было получено при давлении в диапазоне $2-4 \text{ МПа}$ с нагреванием до температуры $600-700^\circ \text{C}$ в течение $1 \text{ ч } 30 \text{ мин}$. Оказалось, что между двумя промежуточными слоями серебра появлялся разрыв, который до химического воздействия не наблюдался; это объясняется структурными дефектами в зоне соединения, которые выявились в результате сильного химического воздействия, а не от неоднородности структуры промежуточных металлических слоев [15-16].

Большое количество публикаций посвящено соединению Cu с алюминиевыми деталями. В работе [17] предложен способ соединения, когда с алюминиевых деталей предварительно механическим или химическим путем удаляется окисная пленка. Далее медная деталь толщиной 3 мм размещалась на алюминиевой детали и нагревалась до температуры $540-578^\circ \text{C}$ в течение $40-90 \text{ с}$ при сжатии $140-200 \text{ кг/см}^2$. В сварном шве при этом не образовывались интерметаллические хрупкие фазы.

В работе [18] предложен способ диффузионной сварки Al и Al - сплавов, при котором соединяемые поверхности предварительно подвергают ионной очистке в тлеющем разряде, затем осаждают на них тонкий слой Cu , более стойкий против окисления. Диффузионную сварку осуществляют при температуре и давлении, обеспечивающих рассасывание промежуточного слоя. Описана диффузионная сварка Al - сплава через Cu - покрытие при температуре 600°C давлением $7-700 \text{ МПа}$ и выдержке $5-60 \text{ мин}$.

В работе [19] приведены результаты исследования диффузион-

ной сварки Cu и Al и описано влияние параметров сварки (T , P , τ) на образование интерметаллических включений и свойства сварных соединений. Прочность соединений, полученных диффузионной сваркой Cu и Al , близка к прочности Al , однако при увеличении длительности и температуры сварки в зоне контакта образуется слой интерметаллических соединений Al_2Cu и Al_4Cu_2 [19-20]. Прочность сварного соединения падает, когда толщина этого слоя достигает 10 мкм. В качестве промежуточного материала при сварке Cu с Al эффективно использовать Ag , который предотвращает охрупчивание.

В работе [21] предложен способ диффузионной сварки меди с алюминием в вакууме, при котором производится индукционный нагрев деталей до температуры размягчения их материалов и сжатие деталей, отличающийся тем, что дополнительно на детали подаются импульсы тока с частотой и амплитудой, соответствующими свойствам металлов свариваемых деталей.

В работе [22] сварку меди и алюминия производят в атмосфере защитного газа при сжимающем усилии 14-35 кгс/мм².

Значительным резервом уменьшения металлоемкости сварных конструкций при одновременном улучшении их технических характеристик является применение комбинированных медно-титановых соединений. Трудности, возникающие при соединении этих металлов, обусловлены прежде всего их склонностью к образованию в контакте хрупких промежуточных фаз.

В [23] предлагается диффузионная сварка титановых сплавов OT-4 и BT-14 с медью MI. В качестве прослоек использовали молибден и ниобий в виде напыленных на титан слоев и в виде фольги. Толщину прослоек при сварке выбирали минимальной. Увеличение

толщины напыленного металла приводило к снижению прочности сварного соединения. Равномерность толщины слоя достигалась его шлифованием, после отжига.

Для диффузионной сварки Cu с Ti предложено использовать многослойные промежуточные прокладки $Fe - Ag$ или $Ni - Fe - Ni - Ag$. При применении таких прокладок в зоне сварки образуются новые соединения, имеющие высокую прочность при температурах 1173–1223 К [24].

В работе [25] рассмотрены две схемы деформирования и структурные превращения в металле контактных слоев при сварке титана с медью. Хорошее качество соединения достигается, если совместная деформация сопровождается динамическим разупрочнением. Действующим механизмом разупрочнения является динамическая рекристаллизация, которая устраняет значительные макронапряжения, возникающие при схемах деформирования вследствие различия физико-химических свойств свариваемых металлов.

В работе [26] исследовали кинетику пластической деформации микровыступов и образование физического контакта на меди и никеле в интервале температур 973–1173 К и при давлении сжатия 15 МПа и 5 МПа. Показано, что величина относительной деформации микрорельефа и контактных площадок в период приложения давления и на последующих этапах процесса может составлять десятки процентов. Отмечены 4 этапа снятия микронеровностей и особенности их сглаживания. На всех этапах процесса величины относительной деформации микровыступов свариваемых поверхностей хорошо коррелирует с относительными значениями прочности соединения меди и никеля.

В работе [27] отмечается, что максимальная прочность свар-

ного соединения Cu с Ni получается при $600^{\circ}C$ (вакуум $5 \cdot 10^{-5}$ мм рт.ст., время сварки 30 мин.). Сварка при более высоких температурах вызывает появление интерметаллических включений. Уменьшение содержания O_2 в меди улучшает ее свариваемость.

В литературе многие работы посвящены сварке меди со сталью 12Х18Н10Т. Получаемый сплав применяется в электронике.

В работе [28] предложен способ получения плакированных пластин Cu и нержавеющей стали диффузионной сваркой с использованием промежуточных прокладок в виде тонкого слоя одного из металлов группы, включающей Ni , Ni - сплавы, Cr , $Cr - Ni$, и $Ni - Cr$ - сплавы с низким содержанием газов. Полученные композиционные пластины обладают высокой электропроводностью и теплопроводностью Cu .

В работе [29] предложен способ диффузионной сварки при низких напряжениях сжатия, обеспечивающий высокое качество сварных соединений Cu и нержавеющей стали, при котором между свариваемыми металлами помещают промежуточную прокладку из материала с меньшей температурой плавления, чем температура плавления свариваемых металлов.

При сварке многослойных пакетов теплообменных устройств из разнородных материалов - нержавеющей стали и меди с различной сопротивляемостью пластической деформации - физический контакт образуется за счет более пластичного материала (меди). При уменьшении относительной толщины медной прослойки до 0,33 наблюдается эффект ее контактного упрочнения. Отмечается, что в процессе диффузионной сварки разнородных материалов многослойных конструкций деформирование мягкой прослойки должно осуществляться со скоростью, при которой сопротивление пластическому деформированию

превышает предел текучести в условиях ее свободного деформирования в 2-4 раза [30].

Многие работы посвящены диффузионной сварке меди с тугоплавкими металлами [31-35].

В работе [31] предложен способ диффузионной сварки Mo с Cu , при котором на Mo предварительно наносят промежуточную прослойку. В качестве промежуточной прослойки используют Cu . Процесс сварки осуществляют в среде водорода. Часто эти металлы соединяют через никелевое покрытие (1-3 мм) [7,33-34]. Для улучшения качества сцепления гальванического слоя с молибденом, необходимо проводить спекание деталей в водородных печах при температуре 1223 К в течение 15 мин. [7].

В работе [35] приведен оптимальный режим диффузионной сварки инвара 32НКД с Cu и молибдена с Cu через промежуточный слой химически нанесенного никеля на одну из деталей. Диффузионная сварка с этим покрытием проходит одновременно с плавлением никеля, который сплавляется в диапазоне температур 1183-1223 К (в зависимости от количества фосфора в составе покрытия), при этом одновременно идет диффузия никеля в соединяемые детали. Оптимальный режим диффузионной сварки-пайки в среде водорода: $T = 1223$ К, $P = 4-8$ мПа, $t = 15-20$ мин. Испытания показали, что образцы, выполненные в вакууме и в водороде (с покрытием) имеют одинаково высокую механическую прочность, термическую устойчивость и вакуумную плотность.

ВЫВОДЫ

1. Диффузионное соединение меди с медью и с другими металлами не вызывает особых затруднений; считается, что эти соединения позволят внести коренные изменения в принципы проектирования и изготовления сложных конструкций.

2. Однако проблема полного сохранения исходных размеров деталей остается нерешенной.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Конюшников Г.В., Копылов Ю.Н. Диффузионная сварка в электро-
нике, М.: Энергия, 1974, 168 с.
2. Худышев А.В., Каракозов Э.С., Элбакидзе В.Г. Диффузионная
сварка деталей и узлов СВЧ приборов, "Вопросы радиоэлектро-
ники", 1963, сер. I, вып. 7, с. 78-95.
3. Афанасьев И.В., Худышев А.Ф. Исследование диффузионной сварки
применительно к электровакуумным приборам, "Автомат. Сварка",
1962, № 5, с. 57-63.
4. Афанасьев И.В., Косичкин Н.В., Худышев А.Ф. Диффузионная свар-
ка в вакууме и контролируемой атмосфере, "Сварочное произ-
водство", 1963, № 4, с. 28-29.
5. Конюшков Г.В. Особенности получения вакуумноплотного соеди-
нения материалов при диффузионной сварке, "Автомат. Сварка",
1985, № 8, с. 25-28.
6. Афанасьев И.В., Сидоров Н.Г. Диффузионная сварка меди с медью,
никелем и сплавами АМГ6 и Н29К18, "Автомат. Сварка", 1968, № II
с. 44-47.
7. Чугунов Б.Ф., Галкин Ю.А., Тонз Э.Р. Диффузионная сварка метал-
лов при изготовлении узлов электровакуумных приборов, "Элек-
тронная техника", 1967, сер. 10, вып. 6, с. 50-58.
8. Каракозов Э.С., Масленников В.Н., Мещяриков. Особенности обра-
зования соединения металлов в высоком вакууме под давлением,
"Физика и химия обработки материалов", 1969, № 5, с. 110-113.
9. Конюшников Г.В., Масленников В.Н. Соединение узлов электро-
вакуумных приборов при камерной и гнездовой откатке, ДДНП,
1979, с. 18.

10. Абрамов В.В., Ахундова Л.А., Алехин В.П. и др. Пластичность и микротвердость приконтактных слоев меди при сварке давлением с нагревом, "Сварочное производство", 1986, № II, с.23-24.
11. Сергеев С.А., Филиппенко А.Г. Диффузионная сварка металлов в электронной технике, в кн. "Новые методы сварки в машиностроении и приборостроении". Тезисы докладов, Саратов, Саратовский политехнический институт, 1988, с.33-36.
12. Сысоев А.П., Сергеев А.В., Казаков Н.Ф. Диффузионная сварка меднохромового псевдосплава с медью. "Порошковая металлургия", 1984, № 10, с.45-47.
13. Влияние поверхностного загрязнения на диффузионную сварку меди, Bradford J.M., Nagpal V. " Trans.ASME", 1973, N 95, N3, 170-173.
14. Пат. № 4493964 (США). Способ соединения электропроводных элементов, Shigemasa Saito; Fuji Electric Co., Ltd., заявл. 09.09.81., №300532, опубл.15.01.85.
15. Prev soldadura Madrid 19(2), 1989 J.A.Criado, M.P.Hierro, J.M.Nieto. Поведение промежуточных материалов: золота, серебра и никеля при диффузионной пайке меди и латуни.
16. Авагян В.Ш., Тунян И.В. Крупногабаритная вакуумная установка для диффузионной сварки и пайки изделий из меди", препринт ЕрФИ 1373(3)-92, Ереван, 1992.
17. Заявка 58-93587 (Япония). Сварка тонколистового элемента из меди с алюминием. Ковано Норихико, Одаки коити, заявл. 26.11.81, опубликовано 03.06.83.

18. Заявка № 2167329 (Великобритания) "Диффузионная сварка", Ball Michael John, Turner Brian John, Broad Kelvin Stephen, заявл. 27.II.85., опублик. 29.05.86.
19. Диффузионная сварка меди с алюминием. Onashi Osamu, Hashimoto Tatsuya, "Есэцу таккайси, J. Jap. Weld. Soc.", 1976, N 7. p. 590-597.
20. Je soudage par diffusion, B. Blanchet, F. Boulanger, S. S. Boulanger, connexes, 1975, 29, N 3-4, p. 93-110.
21. Пат. 106167 (ИИР), Способ диффузионной сварки, Godziemba-Maliszewski Jerry. Politechnika Warszawska. Опублик. 31.05.80.
22. Пат. 4252263 (США). Способ и установка для диффузионной сварки, Houston Douglas E. - опублик. 24.02.81
23. Бобров Г. В., Долгов Ю. С., Привезенцев В. И. и др. "Диффузионная сварка титановых сплавов с медью и медными сплавами через прослойки из молибдена и ниобия", "Сварочное производство", 1968, № II, с. 16-17.
24. Заявка 55-112190 (Япония), Диффузионная сварка меди с титаном: Убэ Мосемицу, Омаэ Така, Фукатани Ясухиро, опублик. 29.08.80, Р. Ж. "Сварка", 1982, № 4, 63.39 III.
25. Лариков Л. Н., Белякова М. Н., Замков В. Н. и др. Структура соединений титана с медью, выполненных диффузионной сваркой при различных схемах деформирования. "Автоматическая сварка", 1982, № 6, с. 21-23.
26. Абрамов В. В. Кинетика пластической деформации микровыступов меди и никеля при сварке в твердой фазе", "Сварочное производство", 1973, № 2, с. 3-4.

27. Диффузионная сварка меди с никелем, Terat Kiyoshi, Matsuda Shoro, Nagat Heroyoshi, Yamada Takeshi, "Trans. Jap. Weld. Soc", 1974, 5, N1, 14-21.
28. Пат. № 52-105925 (США) "Способ диффузионной сварки меди с нержавеющей сталью", Uto Yoshimitsu, Omac Takashi, Fukaya Yasuhiro, Yoshida Yasuyuki. Опубли. 04.04.80
29. Заявка 60-152382 (Япония). Способ диффузионной сварки меди и нержавеющей стали. Вати Хироси, Фунамото Такао, Като Цино, Такахаси Кацзюя, Огура Кэй. Опубли. 10.08.85.
30. Кесанашвили Т.Г., Малевский Ю.Б., Несних В.С. Исследование и разработка технологии соединения меди с нержавеющей сталью применительно к изготовлению многослойных пакетов теплообменных устройств. В сб. "Достижения и перспективы развития диффузионной сварки". Материалы конференции, М.: ИДНТП им.Ф.Э.Дзержинского, 1987, с.78-83.
31. Пат. 48-27193 (Япония). Метод диффузионной сварки, Тото Иосакира, Таура Акитика. опубли. 28.03.73.
32. А.С. 903033 (СССР). Способ диффузионной сварки молибдена с медью. Головкин Е.В., опубли. в Б.И., 1982, № 5.
33. Ушакова С.Е., Рожкова А.А. Соединение вольфрама и молибдена с медью диффузионной сваркой. "Автомат. сварка", 1968, № 6 с.73-74.
34. Пономаренко Е.П., Панфилова С.Я., Плишевский А.И., Романовский В.Ф., Елькин Н.Ф. Получение термостойкого соединения вольфрама с медью. "Автоматическая сварка", 1972, № 6, с.60-62

35. Котлягин Е.А., Ястребков А.И. "Диффузионная сварка в электронной технике", в сб. "Достижения и перспективы развития диффузионной сварки". Материалы конференции, М.: МДНТ им.Ф.Э.Дзержинского, 1987, с.34-39.

Рукопись поступила 2 сентября 1992 г.

В.Ш.АВАГЯН

СВАРКА МЕДИ В ТВЕРДОЙ ФАЗЕ

Редактор Л.П.Мукаян

Технический редактор А.С.Абрамян

Подписано в печать 5/ХП-92г.

Офсетная печать. Уч. изд. л. 0,8

Зак. тип. № 061

Формат 60x84/16

Тираж 100 экз. Ц, 7 р.

Индекс 3649

Отпечатано в Ереванском физическом институте

Ереван 36, ул. Братьев Аликханян, 2

The address for requests:
Information Department
Yerevan Physics Institute
Alikhanian Brothers 2,
Yerevan, 375036
Armenia,

ИНДЕКС 3649



ЕРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ