ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ РАДИАЦИОННО-ПУЧКОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ПАЙКЕ МАТЕРИАЛОВ

В.В. Квасницкий[1)], В.Д. Кузнецов[1)], В.Ф. Квасницкий[2)], Н.Н. Коваль[3)], Д.П. Русальский[4)], И.А. Солодухин[4)], А.Д. Тересов[3)].

[1)]Национальный технический университет Украины "Киевский политехнический институт", пр. Победы, 37, 03056, Киев, Украина, тел.: +38 044 4890164, e-mail: kvas69@rambler.ru

[2)]Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова, пр. Героев Сталинграда, 9, 54025, Николаев, Украина, тел. +38 0512 431174, факс: +38 0512 421081, e-mail: welding@nuos.edu.ua

[3)]Институт сильноточной электроники СО РАН, пр. Академический, 2/3, 634055, Томск, Россия, тел.+7 3822 591684, e-mail: koval@opee.hcei.tsc.ru

[4)]Белорусский государственный университет, Белоруссия, 220030, Минск, пр. Независимости, 4, тел. +375 17 2265834, факс: +375 17 2095445, e-mail: cherenda@bsu.by

Исследовано влияние легирования поверхностей дисперсионнотвердеющих жаропрочных никелевых сплавов типа ЧС 88У-ВИ и Inconel 718 элементами снижающими температуру плавления (Zr, Hf, Nb) с применением низкоэнергетических сильноточных электронных пучков и формирование соединений при высокотемпературной пайке с давлением в вакууме.

Введение

Пайка является эффективным способом соединения материалов. Однако для узлов сложной формы существует проблема установки припоев в труднодоступных местах, что существенно усложняют сборку изделий. Кроме того, толщина припоев существенно влияет на возможность гомогенизации зоны соединения для достижения равнопрочности с основным материалом. Существуют также проблемы изготовления современных припоев. Поэтому поиск новых технологий формирования припоев непосредственно на поверхностях соединений является актуальным.

Целью данной работы было исследование возможности легирования поверхностей дисперсионнотвердеющих жаропрочных никелевых сплавов с применением радиационно-пучковых технологий, а именно, низкоэнергетических сильноточных электронных пучков (НСЭП) и формирование соединений при высокотемпературной пайке с давлением в вакууме.

Основная часть

Эксперименты по легированию поверхностей проводились на установке СОЛО [1], а пайка – на установке УДСВ – ДТ [2].

Изучали влияние легирования исследованных сплавов на топографию поверхности, структуру и свойства поверхностного слоя, распределение элементов дипрессантов (снижающих температуру плавления), их влияние на формирование соединений.

В работе исследовали легирование поверхности путем переплавки предварительно нанесенного на поверхность слоя легирующего элемента. Для легирования были выбраны элементы, не имеющие резкого негативного влияния на свойства сплавов, в частности, цирконий, гафний и ниобий [3]. При содержании гафния до 4,0, ниобия до 3,0, циркония до 2,5 % (масс.) долговечность сплава ЧС 70 ВИ при 900 °С и напряжении 250 МПа сохраняется не ниже 100 часов.

Предварительно определяли параметры режима обработки. Перед обработкой НСЭП на поверхность сплава ЧС 88У-ВИ ионно-плазменным методом наносили цирконий или гафний. На сплав Inconel 718 наносили ниобий.

После обработки НСЭП определяли концентрацию элементов на поверхности легированного слоя, а на косых шлифах – их распределение по толщине.

Анализ результатов показал, что при толщине напыленного слоя 1 мкм и плотности энергии пучка 15...20 Дж/см^2 достигается необходимая концентрация элемента дипрессанта, и формируется гладкая зеркальная поверхность. При большей плотности энергии на поверхности сплава ЧС 88У-ВИ образуются микротрещины. На поверхности сплава Inconel 718 микротрещины не обнаружены при любой исследованной плотности энергии (до 50 Дж/см^2).

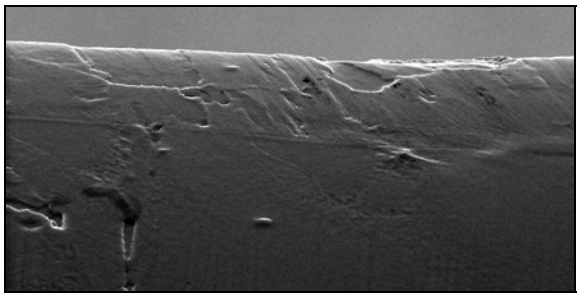
Концентрация легирующего элемента в модифицированном слое практически не зависит от марки жаропрочного никелевого сплава, а количество расплавленного металла регулируется толщиной напыленного слоя и режимом обработки.

Структура сплава ЧС88У-ВИ после легирования поверхностного слоя показана на рис. 1. Морфология сплава с легированным слоем одинакова независимо от легирующего элемента. Микроструктура приповерхностной области представлена оплавленным слоем, в котором при травлении выявляются мелкодисперсные карбиды. Ниже него хорошо выявляется структура основного металла, представляющая дендриты кристаллизации разных размеров и ориентировки. Внутри дендритов также выявляется мелкодисперсная карбидосодержащая структура. По границам дендритов формируются эвтектики.

Распределение легирующих элементов по поверхности легированного слоя, определяемое как среднее по площадке 3х3 мм, равномерное. При напылении на сплав ЧС88У-ВИ слоя циркония толщиной 1 мкм концентрацию элемента дипрессанта регулировали в пределах 6,6…11,2 % пу-

тем изменения режима обработки. Концентрация остальных элементов составила (%, масс.): 14,44…15,06 Cr; 9,3…10,64 Co; 1,45…1,6 Mo; 2,15…4,63 W; 1,48…2,57 Al; 3,36…3,8 Ti; никель – остальное. При легировании поверхности сплава Inconel 718 ниобием концентрация элементов составила (%): 14,34…15,3 Fe; 14,8…15,3 Nb; 15,2…16,7 Cr; 1,09 Ti, никель – остальное.

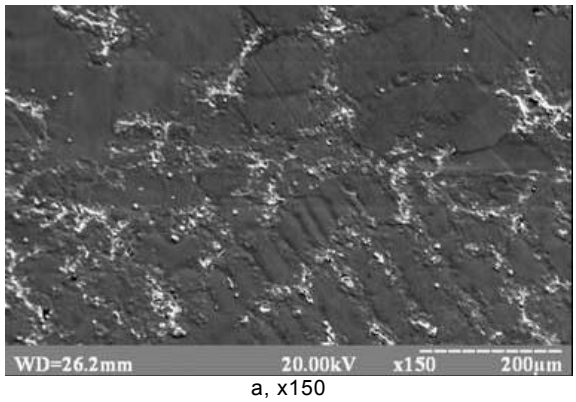
а



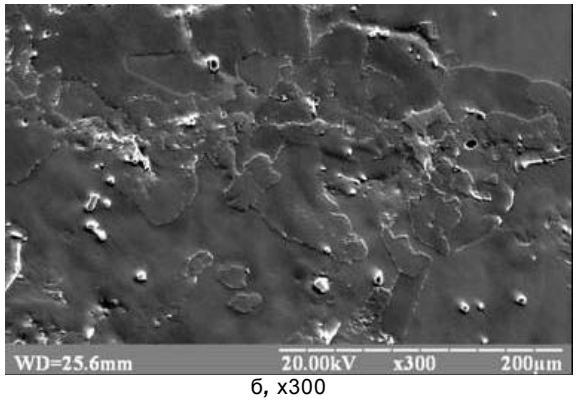
б

Рис. 1. Морфология поперечного сечения сплава ЧС88У-ВИ,, легированного цирконием (а; х 320) и гафнием (б; х1200) (косые шлифы)

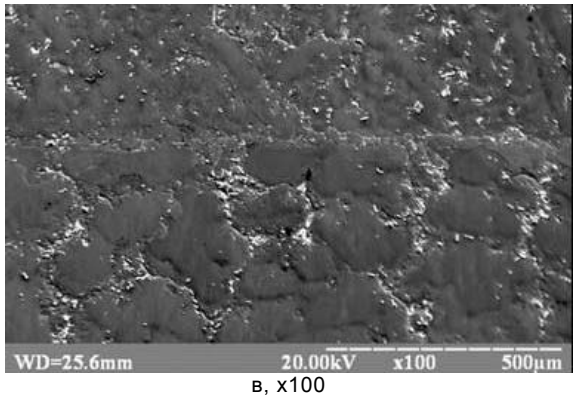
В работе исследовали соединения, полученные при легировании цирконием и гафнием одной из соединяемых поверхностей сплава ЧС88У-ВИ или обеих. Учитывая установленное ранее [4] положительное влияние теплосмен на формирование соединений, температуру пайки изменяли от 850 до 1180 °С (три цикла). При термоциклировании давление сжатия поддерживали постоянным. Изменение давления сжатия на структуру и свойства соединений влияет не существенно. Микроструктура соединений (рис. 2) схожа со структурой, полученной при диффузионной сварке с термоциклированием. Линия стыка практически не выявляется. Повышенная концентрация легирующего элемента в зоне стыка фиксируется только локальным рентгеноспектральным микроанализом. В стыке формируются общие для соединяемых заготовок зёрна. Однако, при легировании только одной из соединяемых поверхностей и при состоянии второй литой заготовки после замедленного охлаждения, чётко видно измельчение структуры модифицированного слоя и вытянутые вдоль стыка зерна, свидетельствующие о пластических деформациях в зоне соединения. Таким образом, поверхностный слой играет роль не только припоя, но и способствует развитию пластических деформаций и формированию общих зёрен в стыке.



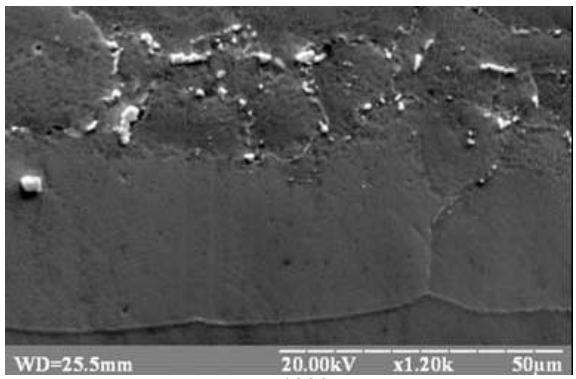
а, х150



б, х300



в, х100



г, х1200

Рис. 2. Микроструктура соединений при легировании обеих поверхностей гафнием (а), цирконием (б) и одной поверхности цирконием сплава ЧС88У-ВИ (в, г)

Заключение

Анализ результатов проведенных исследований показывает перспективность применения радиационно-пучковых технологий для легирования поверхностей дисперсионнотвердеющих жаропрочных никелевых сплавов с целью формирования тонких слоев припоев непосредственно на поверхности соединяемых деталей.

Установлено, что путем регулирования параметров режима обработки НСЭП и толщины предварительно нанесенного слоя элемента дипрессанта, в частности Zr, Hf, Nb, возможно получение необходимой его концентрации, близкой к концентрации в современных припоях.

Легированный слой играет роль не только припоя, но и способствует развитию пластических деформаций, и интенсификации процесса формирования общих зёрен в стыке, а его малая толщина и формирующееся напряженное состояние способствует интенсификации диффузионных процессов.

Это позволяет существенно снизить концентрацию элемента дипрессанта в соединении и является эффективным путем повышения качества и упрощения технологии высокотемпературной вакуумной пайки с давлением.

Список литературы

1. *V.F. Kvasnytskyy, V.D. Kuznecov, N.N. Koval, Yu.F. Ivanov and at.* // Surface Engineering and Applied Electrochemistry. – 2009. – V. 45. – 3. – P. 180 - 185.
2. *Квасницкий В.Ф.* Сварка и пайка жаропрочных сплавов в судостроении. – Л.: Судостроение, 1986. – 224 с.
3. *Kostin A.M., Kvasnitski V.V., Stepanov S.I.* // Brazing technologies of heatproof nickel alloy casting defects. DVS-Berichte: Band 192. Dusseldorf. – DVS–VERL. – 1998. – P. 270 – 2 71.
4. *Квасницкий В.В.* // Зб. наук. праць НУК. – 2009. – 6. – С. 62 – 69.

* Эта работа проведена при частичной финансовой поддержке Украинского государственного фонда фундаментальных исследований (грант F41.2/016).

PROSPECTS OF THE APPLICATION OF RADIATION- FASCICULAR TECHNOLOGIES FOR BRAZING MATERIALS

V.V. Kvasnytskyi[1)], V.D. Kuznecov[1)], V.F. Kvasnytskyy[2)], N.N. Koval[3)], D.P. Rusalskyi[4)], I.A. Soloduhin[4)], A.D. Teresov[3)]

[1)] *National Technical University of Ukraine – Kyiv Polytechnic Institute, 37, Peremogi ave., Kyiv, 03056, Ukraine, Ph.: +38 044 4890164, E-mail: kvas69@rambler.ru*

[2)] *Admiral Makarov National University of Shipbuilding, 9, Geroev Stalingrada ave., Mykolaiv, 54025, Ukraine, Ph.: +38 0512 431174, Fax: +38 0512 421081, E-mail: welding@nuos.edu.ua*

[3)] *Institute of High Current Electronics SB RAS, 2/3., Akademichesky ave., Tomsk, 634055, Russia, Ph.: +7 3822 591684, E-mail: koval@opee.hcei.tsc.ru*

[4)] *Belarusian State University, Nezavisimosti av., 4, 220030, Minsk, Belarus, Ph.: +375 17 2265834, Fax: +375 1) 2095445, E-mail: cherenda@bsu.by*

The influence of alloying surfaces of high-temperature nickel alloys with the application of radiation-fascicular technologies, high-current low-energy electronic beams and the formation of joints with high-temperature brazing with pressure in the vacuum was researched.

The effect of alloying ЧС 88У-ВИ and Inconel 718 with elements which lower the temperature of melting (Zr, Hf, Nb) on the surface topography, structure and properties of surface layer, allocation of elements was studied.

It was established that at thickness of evaporation layer in 1 mcm and density of energy of the beam in 15...20 J/sm^2 in reached necessary concentration of element-depressant, while the content of this element in modified layer almost don't depends on the brand of high-temperature nickel alloy, and the number of melted metal is regulating with thickness of evaporation layer and with data processing mode. Fine-dispersed carbides come to light in fire-polished layer of near-surface area of ЧС 88У-ВИ alloy. Distributing of alloying elements on the surface of the alloyed layer is even.

Joints, with alloying zirconium and hafnium of one of the connected surfaces of ЧС 88У-ВИ alloy or both, are researched. Brazing was conducted with a thermocycling. It is set that adjusting of pressure of compression influences on a structure and properties of joints insignificant, while a superficial layer is played a role of not only solder but also instrumental in development of flowages in the area of joint intensifying the processes of volume interaction.

Treatment of joints surfaces with using of radiation-fascicular technologies is effective way for upgrading and simplification the technology of a high temperature vacuum brazing with pressure.