

УДК 621.7.044

Гайкова Т. В.

**ВЛИЯНИЕ ТЕРМООБРАБОТКИ НА КАЧЕСТВО МЕТАЛЛИЧЕСКОГО СОЕДИНЕНИЯ РАЗНОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ, ИЗГОТОВЛЕННЫХ СВАРКОЙ ВЗРЫВОМ**

Развитие современной промышленности связано с получением новых материалов, обладающих уникальными свойствами и сочетающих противоречивые механические характеристики, например, такие как, хорошие электрические и тепловые свойства для отдельного взятого материала. Поэтому, плакированные металлы, состоящие из двух или больше слоев, получают все большее распространение из-за их уникальных свойств [1–3]. В настоящее время существуют различные методы изготовления многослойных металлов, такие как, сварка взрывом, прокатка, самораспространяющийся высокотемпературный синтез, выдавливание, вытяжка с утонением стенки и сварка трением [1–8]. Среди этих методов, метод сварки взрывом занимает особое место, из-за его эффективности и экономии. Его преимуществами являются простота оснастки и возможность изготовления деталей больших габаритных размеров, удаление загрязнения со слоев во время соединения, кумулятивной струей, которая предшествует волне детонации [4]. Так как, сварка взрывом основана на высокой степени деформации, то соединяемые металлы получают большую степень упрочнения, особенно в слоях, примыкающих к зоне приваривания. Поэтому, композиция должна пройти термообработку, для последующего процесса деформирования.

Сварка взрывом применяется для соединения разнородных металлов, таких как алюминий/медь, сталь/алюминий/медь и титан/сталь [4, 9]. Большое применение получили многослойные металлы на основе меди и алюминия. Для примера, плакированный лист двумя слоями алюминия/меди может почти на 40 % уменьшить вес изделия с эквивалентной электропроводностью и теплопроводностью по сравнению с медью или медным сплавом. Экономия – около 60 % медного сплава. По этим причинам биметалл Al/Cu часто используется для бронирования кабелей, хомутов обмотки в телевизорах, охлаждающих пластин и шин для соединения проводников. Однако, исследования, направленные на изучение прочности соединения алюминия с медью, полученного сваркой взрывом все еще недостаточно освещены в литературе.

Целью работы является исследование влияния термообработки на механические характеристики приконтактных слоев с тремя составляющими композиции.

Исследовали металлический лист с тремя слоями, состоящий из меди (М2), алюминия (АД35) и меди (М2), который был изготовлен сваркой взрывом.

Для соединения использовали отожженный алюминиевый лист (АД35) (применяется для производства чушек, слитков, катанки, ленты; проволоки для проводов и кабелей, а также проволоки для сварочных и других целей, для изготовления полуфабрикатов методом горячей или холодной деформации) и медная полоса (М2) (используется для высококачественных полуфабрикатов и сплавов на медной основе, обрабатываемых давлением, для изготовления изделий криогенной техники) с толщиной 11 мм и 0,8 мм, соответственно. Уменьшение толщины медной пластины составляло 20 % и алюминиевой – 40 %. Использовали микрошлифы термически не обработанного и нагретого металла до температур 150 °С, 300 °С, 400 °С в течение 2 ч, 5 ч, 20 ч, 50 ч соответственно.

Применяемое оборудование: растровый электронный микроскоп РЭМ–106И, оптический микроскоп OLYMPUS GX41, дисперсионный спектрометр Smart Raman DXR.

Морфология микрошлифа полилиста Cu/Al/Cu с различной температурой отжига показана на рис. 1. Видно, что соединение Al/Cu не прошедшее термообработку не гладкое, и Al и Cu внедрены друг в друга. Низкая температура отжига сглаживает контактную зону,

как показано на рис. 1, в. Такое явление, должно быть, происходит благодаря выравниванию температуры между алюминием и медью. С увеличением температуры термообработки появляется слой переходной зоны вдоль границы Al/Cu, как показано на рис. 1, с и d. Кроме того, ширина переходного слоя увеличивается с ростом температуры.

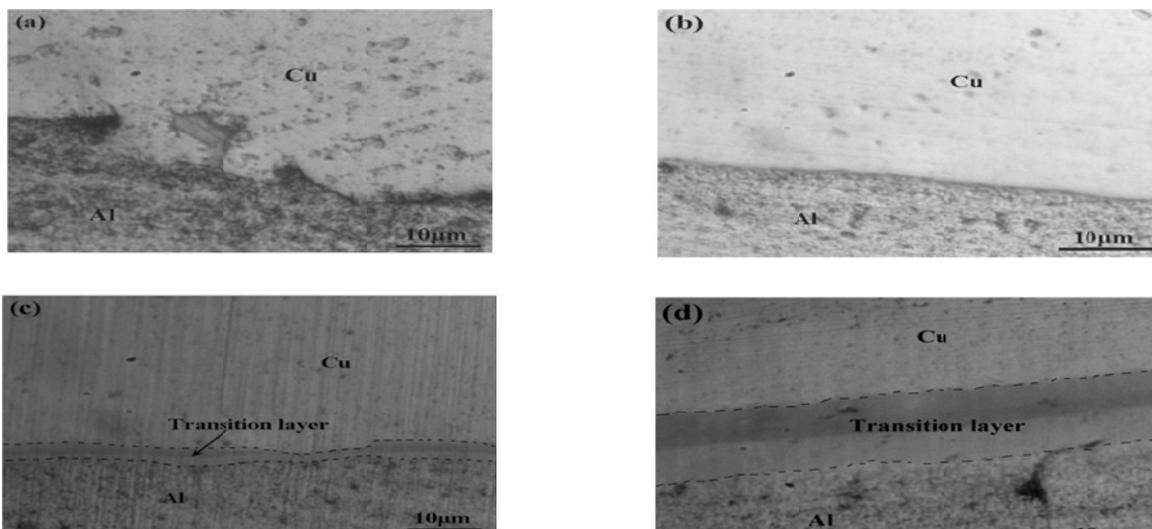


Рис. 1. Морфология граничного слоя медно-алюминиевого соединения с различной температурной обработкой:

a – после сварки взрывом; b – 150 °C/2 ч; c – 300 °C/2 ч; d – 400 °C/2 ч

Плакированная заготовка подвергалась термообработке при различной температуре и с разным временем нагрева для изучения изменения размеров приконтактного слоя и концентрации элементов в зоне соединения композиции Cu/Al. Графики концентрации элементов Al и Cu в приконтактном слое при температуре нагрева 150 °C и 300 °C показаны на рис. 2.

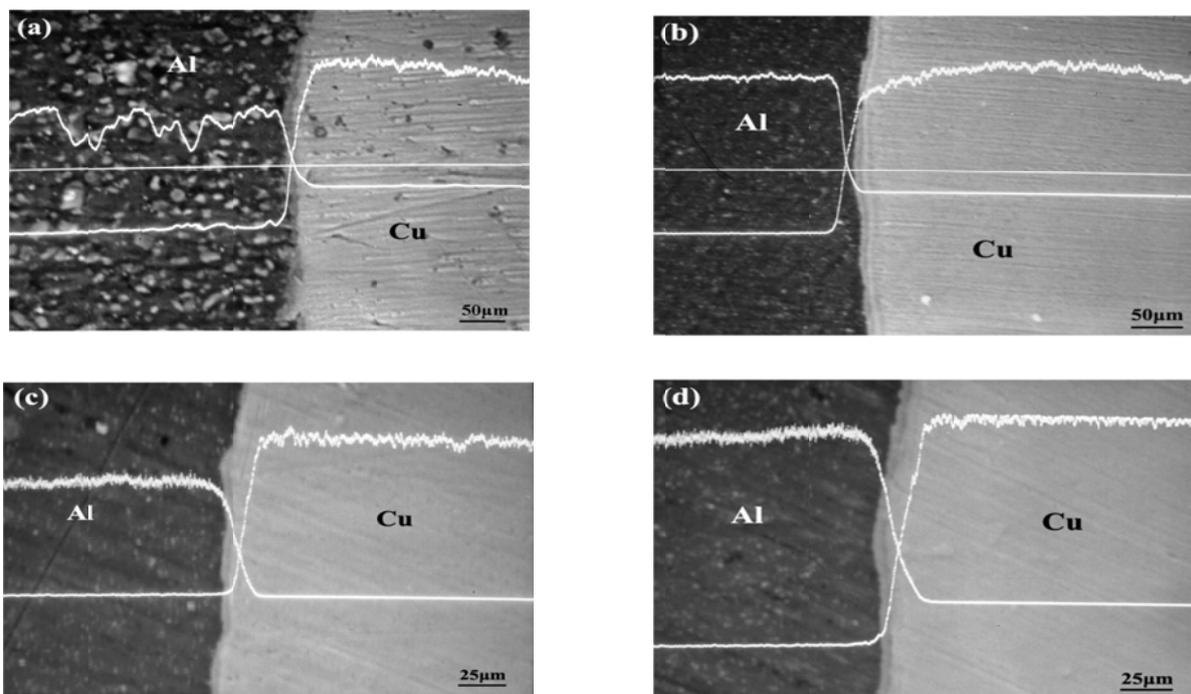


Рис. 2. Профили электронного микроанализа элементов Al – Cu в приконтактном слое плакированной листовой заготовки Cu/Al/Cu с различной термообработкой:

a – 150 °C/2 ч; b – 150 °C/50 ч; c – 300 °C/2 ч; d – 300 °C/20 ч

По фотографіям мікрослифів можна зробити наступні висновки: обробка при температурі 150 °С, 5 ч привела до формуванню міжшарової інтерметалічної прослойки. Ширина прослойки збільшується, коли час термообробки зростає. Крім того, концентрація елементів змінюється з течією часу нагріву, як показано в рис. 2, б. При температурі 300 °С і 2 ч часу відбувається також формування міжшарових інтерметаллідів, але їх концентрація не однорідна. Коли час нагріву збільшується до 20 ч, товщина шару інтерметаллідів зростає майже вдвічі, але зростання товщини прослойки практично зупиняється з збільшенням часу нагріву.

Морфологічна структура приконтного шару і його склад при термообробці 300 °С в течение 20 ч, показані в рис. 3 і табл. 1 відповідно. Наблюдення показують, що міжшарова прослойка складається з кількох видів шарів. Тести на дисперсійному спектрометрі показують, що у шару, сусіднього до Al, знаходиться велика кількість Cu в пропорції Al до Cu 2:1, як показано в рис. 3, б. Коли випробування видаляються від пластини Al, його концентрація збільшується знову (рис. 3, с і d).

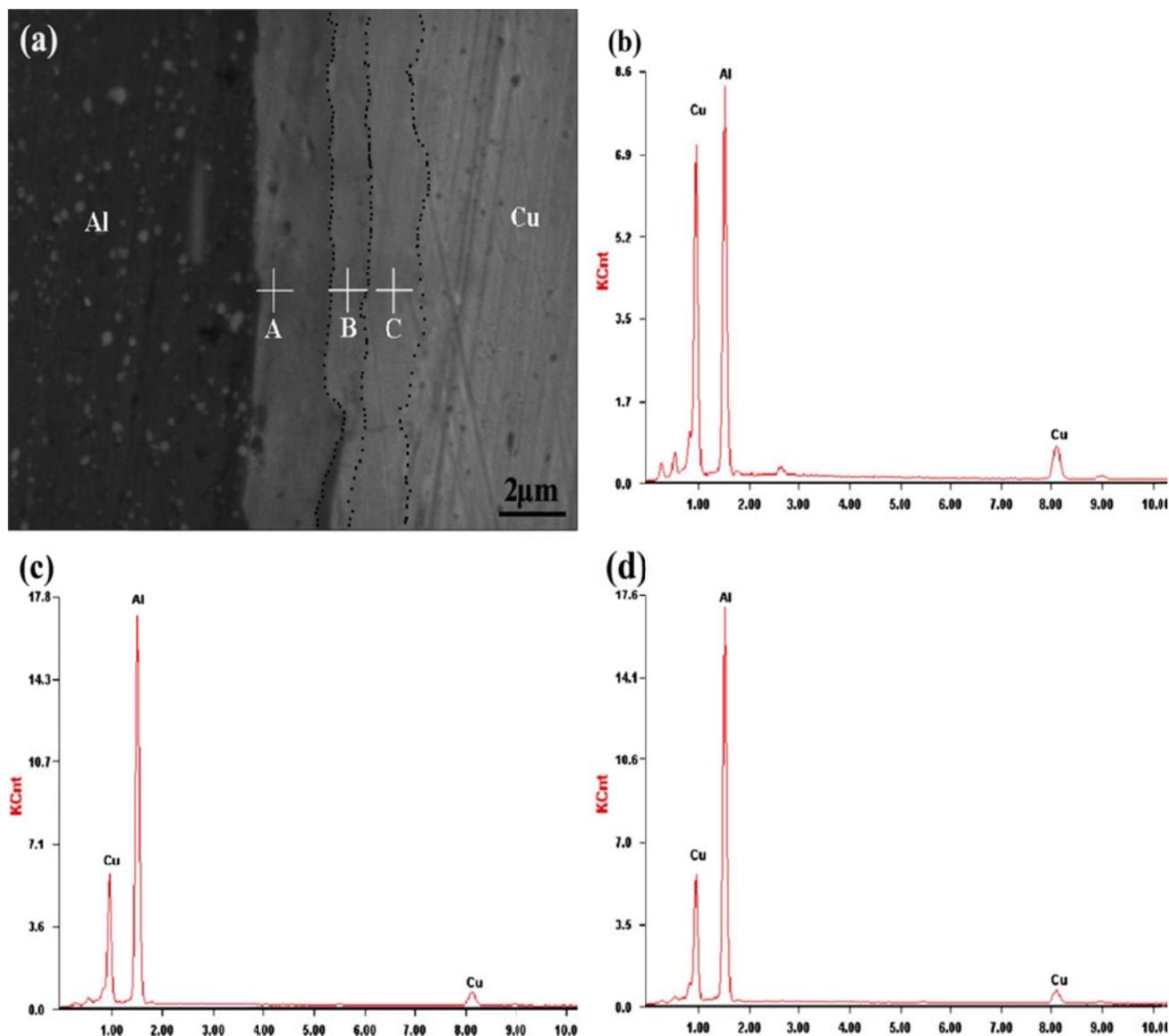


Рис. 3. Мікрослиф з'єднання Cu/Al (а), термічно оброблений при температурі 300 °С в течение 1 ч; (б) – концентрація елементів в точці А; (с) – концентрація елементів в точці В; (д) – концентрація елементів в точці С

Таким образом, можно прийти к заключению, что с увеличением времени термообработки значительно увеличивается число слоев в прослойке и химический состав сформированного соединения.

Таблица 1

Составы различных слоев вдоль соединения в Cu/Al/Cu (%)

Положение испытания	Cu	Al
A	32,21	67,79
B	18,52	81,48
C	23,77	76,23

Чтобы оценить эффект термообработки на прочность связи алюминия с медью, использовали стандартную методику испытаний многослойных металлов на срез (ГОСТ 10885-64). Изменение напряжений сопротивления срезу в зависимости от режима термообработки показаны на рис. 4, откуда видно, что прочность связи зависит от выбранного режима отжига. Наибольшая прочность связи наблюдается у плакированного листа, подвергнутого нагреву 150 °С в течение 20 ч. Самую низкую сопротивляемость срезу между слоями имеет композиция, прошедшая термообработку 300 °С в течение 20 ч.

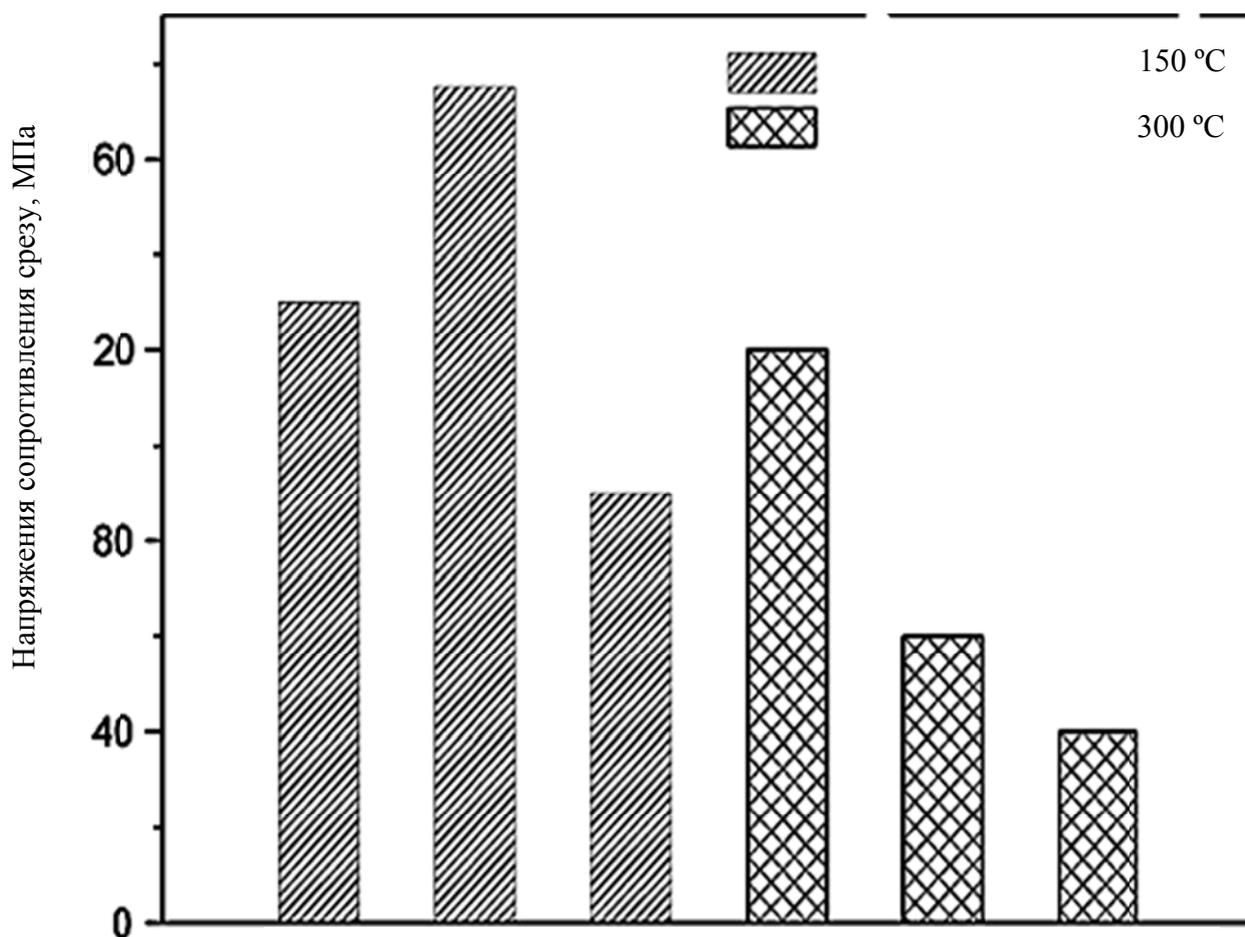


Рис. 4. Напряжения сопротивления срезу Cu/Al/Cu полилиста с различной термообработкой

Наблюдается понижение прочности связи с повышением температуры и времени обработки. Согласно наблюдениям, проведенным выше, более высокая температура и длительное время термообработки может привести к быстрому росту объема интерметаллидов вдоль границы Cu и Al. Как показывают исследования [10], интерметаллидный состав имеет высокую прочность, но низкую пластичность. Кроме того, получающиеся соединения имеют большие различия в размерах кристаллов Al и Cu, которые приводят к высоким остаточным напряжениям вдоль границы и снижают прочность связи соединения. Поэтому, нужно проводить термообработку при низкой температуре с коротким промежутком времени для улучшения прочностных характеристик зоны соединения плакированного металла.

## ВЫВОДЫ

Термообработка может привести к формированию объемного интерметаллидного слоя, и температура оказывает большее влияние на рост интерметаллидной фазы, чем время термообработки.

Когда слой интерметаллидов достигает определенной величины, эффекты от повышения температуры и времени ослабляются.

Низкая температура отжига с коротким промежутком времени термообработки могут значительно улучшить прочность связи плакированной композиции.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Драгобецький В. В. Особливості оптимізації технології виробництва листових заготовок / В. В. Драгобецький, О. В. Пирогов // Наукові нотатки. Міжсвузівський збірник. – Луцьк, 2001. – Вип. 9. – С. 146–161.
2. Дорошко В. И. Выдавливание биметаллических рабочих деталей штампов и пресс-форм / В. И. Дорошко, В. М. Дубасов // Вестник Восточноукраинского национального университета. – Луганск : Издательство ВНУ, 2001. – № 4. – С. 97–100.
3. Пузырь Р. Г. Преимущества использования материалов с особыми свойствами и анализ их деформирования в процессах обработки металлов давлением / Р. Г. Пузырь // Прикладні аспекти механіки та матеріалознавства в новітніх технологіях: колективна монографія. – Харків : Точка, 2012. – С. 44–53.
4. Драгобецький В. В. Использование взрывной обработки для получения деталей из слоистых металлических композиций / В. В. Драгобецький, Е. В. Шаповал // Вестник Харьковского политехнического университета. Обработка металлов давлением. – Харьков : ХГПУ, 1999. – № 76. – С. 32–34.
5. Тітов В. А. Розрахунок напружено-деформованого стану при витягуванні з потоншенням двошарового металу / В. А. Тітов, Р. С. Борис // Обработка материалов давлением : сборник научных трудов. – Краматорск : ДГМА, 2012. – № 1 (30). – С. 45–52.
6. Мержанов А. Г. Самораспространяющийся высокотемпературный синтез / А. Г. Мержанов // Физическая химия. Современные проблемы. Ежегодник / под ред. акад. Я. М. Колотыркина. – М. : Химия, 1983. – С. 6–44.
7. Сварка трением : Справочник / В. К. Лебедев, И. А. Черненко, Р. Михальски и др. ; под общ. ред. В. К. Лебедева, И. А. Черненко, В. И. Вилля. – Л. : Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1987. – 236 с.
8. Засуха П. Ф. Биметаллический прокат / П. Ф. Засуха, В. Д. Корциков, Б. О. Бувалов. – М. : Металлургия, 1970. – 263 с.
9. Кудинов В. М. Сварка взрывом в металлургии / В. М. Кудинов, А. Я. Королев. – М. : Металлургия, 1978. – 168 с.
10. Miyazaki S. Plastic deformation of Al–Cu–Fe quasicrystals embedded in Al<sub>2</sub>Cu at low temperatures / S. Miyazaki, S. Kumai, A. Sato // Mater Sci Eng. – 2005. – A 300–5. – P. 400–401.

Статья поступила в редакцию 21.09.2012 г.