

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА НАПЛАВЛЕННЫХ КУПРИДОВ МАГНИЯ

Ковтунов А.И., Бочкарев А.Г., Машкин В.В., Зеленцов Е.А.

Тольяттинский государственный университет, Тольятти

Ключевые слова: медь, магний, лазерная наплавка, присадочная проволока, наплавленные валики, структура.

Аннотация. Представлены результаты исследования процессов лазерной наплавки купридов магния на магний с применением присадочной проволоки из алюминиевой бронзы (CuAl8). Установлено влияние режимов наплавки на геометрические параметры наплавленного валика. Показано влияние режимов наплавки на химический и фазовый состав и твердость наплавленных сплавов.

STRUCTURE AND PROPERTIES OF DEPOSITED MAGNESIUM CUPRIDES

Kovtunov A.I., Bochkarev A.G., Mashkin V.V., Zelentsov E.A.

Tolyatti State University, Tolyatti

Keywords: copper, magnesium, laser cladding, filler wire, deposited beads, structure.

Abstract. The article presents the results of a study of the processes of laser cladding of magnesium cuprides on magnesium using a filler wire made of aluminum bronze (CuAl8). The influence of the cladding modes on the geometric parameters of the deposited bead is established. The influence of the cladding modes on the chemical and phase composition and hardness of the deposited alloys is shown.

Введение

Магний и магниевые сплавы отличаются: малой плотностью, высокой удельной прочностью и жесткостью, хорошими демпфирующими и усталостными характеристиками, технологичностью и свариваемостью [1-3] и являются весьма перспективными материалами в различных отраслях современной техники [4, 5].

Однако низкая твердость и износостойкость магния и магниевых сплавов приводит к преждевременному выходу из строя деталей из магния и магниевых сплавов [6, 7]. Для повышения износостойкости изделий из магния и магниевых сплавов применяют металлические и неметаллические износостойкие покрытия, которые получают микродуговым оксидированием [6], химическим осаждением [8], ионо-плазменным напылением [9]. В качестве износостойких покрытий предложено применяться сплавы на основе интерметаллидных фаз системы магний-медь. В системе Mg-Cu образуются интерметаллидные фазы: CuMg_2 и Cu_2Mg [10-12], которые обеспечивают повышение прочности и твердости медных сплавов, композиционных материалов с медной матрицей [13-16] и могут обеспечивать повышение твердости и износостойкости магниевых сплавов.

Для формирования на магнии интерметаллидных покрытий системы Mg-Cu предложено использовать лазерную наплавку с присадочной проволокой из меди или медных сплавов.

Таким образом, целью работы является повышение твердости и износостойкости поверхности изделий из магния и магниевых сплавов за счет формирования на их поверхности покрытий на основе купридов магния.

Методика исследования

Лазерную наплавку покрытий проводили на пластины (110x60x10 мм) из магния МГ90 с медной присадочной проволокой, легированной алюминием (CuAl8) диаметром 0,8 мм. Легирование алюминием купридов магния положительно сказывается на их механических свойствах [17]. В качестве защитного газа использовали аргон высшего сорта по ГОСТ 10157-2016. Для наплавки использовали сварочный аппарат для лазерной сварки LW1200 с подающим механизмом, выполненный на основе инфракрасного волоконного лазерного источника, мощность излучения которого достигает 1200 Вт. Лазерный источник LW1200 генерирует лазерное излучение в диапазоне от 1070 до 1090 нм в режиме непрерывной накачки при использовании одномодового оптического кабеля.

Режимы лазерной наплавки изменяли в широком диапазоне: мощность лазерного излучения (P) 1000-1200 Вт; частота сканирования лазерного луча (f) 40-120 Гц; скорость подачи присадочной проволоки ($V_{n/n}$) 0,8-1,2 м/мин; скорость наплавки (V_n) 0,1-0,2 м/мин; ширина сканирования лазерного луча составляла 5 мм. Наплавка осуществлялась в непрерывном режиме (CW).

Качество формирования наплавленных валиков, наличие трещин и другие поверхностные дефекты оценивались методом визуально-измерительного контроля с применением лупы, измерительных инструментов и шаблонов.

Исследование химического состава и микроструктуры наплавленного металла проводились методами растровой электронной микроскопии на комплексе сканирующего электронного микроскопа LEO 1455 VP (ZEISS, Германия) с блоками рентгеновского энергетического спектрометра INCA Energy-300 и рентгеновского волнового спектрометра INCA Wave-500.

Твердость измеряли с помощью стационарного универсального твердомера HBRV-187.5 по шкале HRC. Показатели твердости образцов определяли как среднеарифметическое значение трех измерений.

Результаты и обсуждение результатов исследований

Проведенный визуально-измерительный контроль показал, что при установленных режимах наплавки формируются наплавленные валики со стабильными геометрическими параметрами, не содержащие наружных дефектов, в том числе и трещин (рис. 1). Однако в объеме наплавленного валика наблюдается повышенная пористость и неметаллические (оксидные включения).

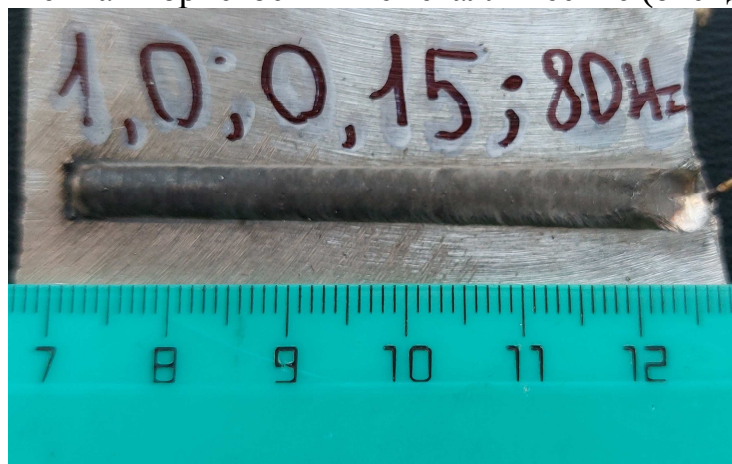


Рис. 1. Внешний вид наплавленного валика

Глубина проплавления основного металла при наплавке зависит от режимов и изменяется в пределах от 4,0 до 6,2 мм. Ширина валиков находится в диапазоне от 4,7 до 5,4 мм, а величина усиления от 0,25 до 1,4 мм. Увеличение скорости подачи присадочной проволоки приводит к увеличению высоты усиления и ширины наплавленного валика. Глубина проплавления при увеличении скорости подачи присадочной проволоки уменьшается.

Наплавленные валики отличались значительной неоднородностью химического состава по своему сечению. В зависимости от режимов наплавки содержание магния по сечению наплавки изменялось на 3-7 ат.%, а меди на 1-3 ат. %. Увеличение скорости наплавки и скорости подачи присадочной проволоки повышало среднее содержания меди и алюминия в наплавленном металле, а также и неоднородность по химическому составу наплавленного металла (рис. 2). Среднее содержание меди в наплавленных валиках составляло 9-25 ат.%, а алюминия 3-7 ат.%.

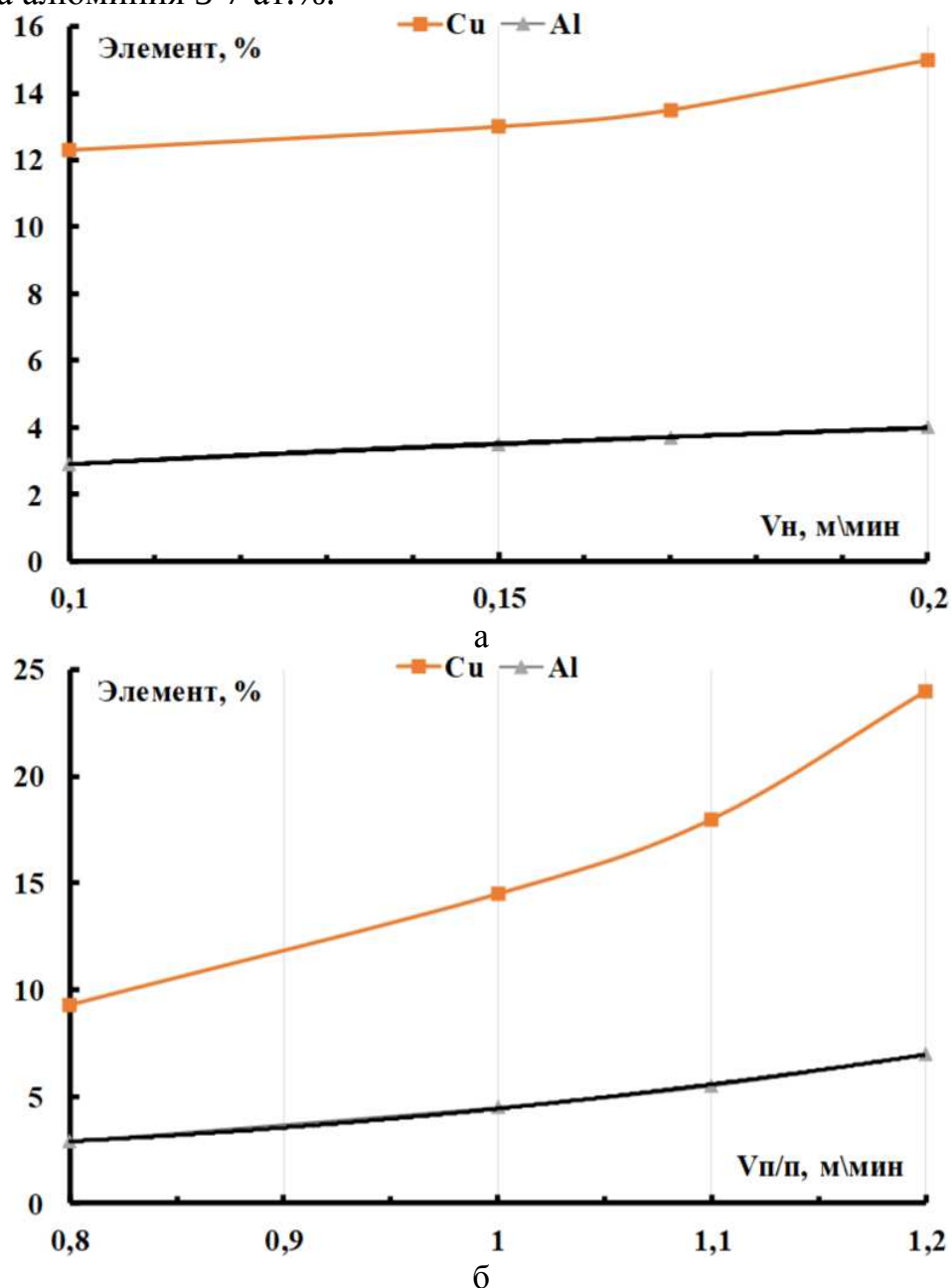


Рис. 2. Зависимость среднего содержания меди и алюминия от: а) скорости наплавки при $V_{п/п} = 1,2 \text{ м/мин}$; б) скорости подачи присадочной проволоки при $V_n = 1 \text{ м/мин}$

Структура наплавленного металла (рис. 3), исходя из химического состава и литературных данных, представлена следующими фазами: интерметаллидной фазой Mg_2Cu и тройной фазой $Al_nCu_mMg_k$ с содержанием меди – 37,4-43,9 ат.%; алюминия – 16,3-21,4 ат.%, также в структуре наблюдается эвтектика ($Mg+Mg_2Cu$) [11, 12]. Кроме того, в наплавленных валиках фиксируется значительное количество оксидных включений, исходя из химического анализа это оксид магния (MgO).

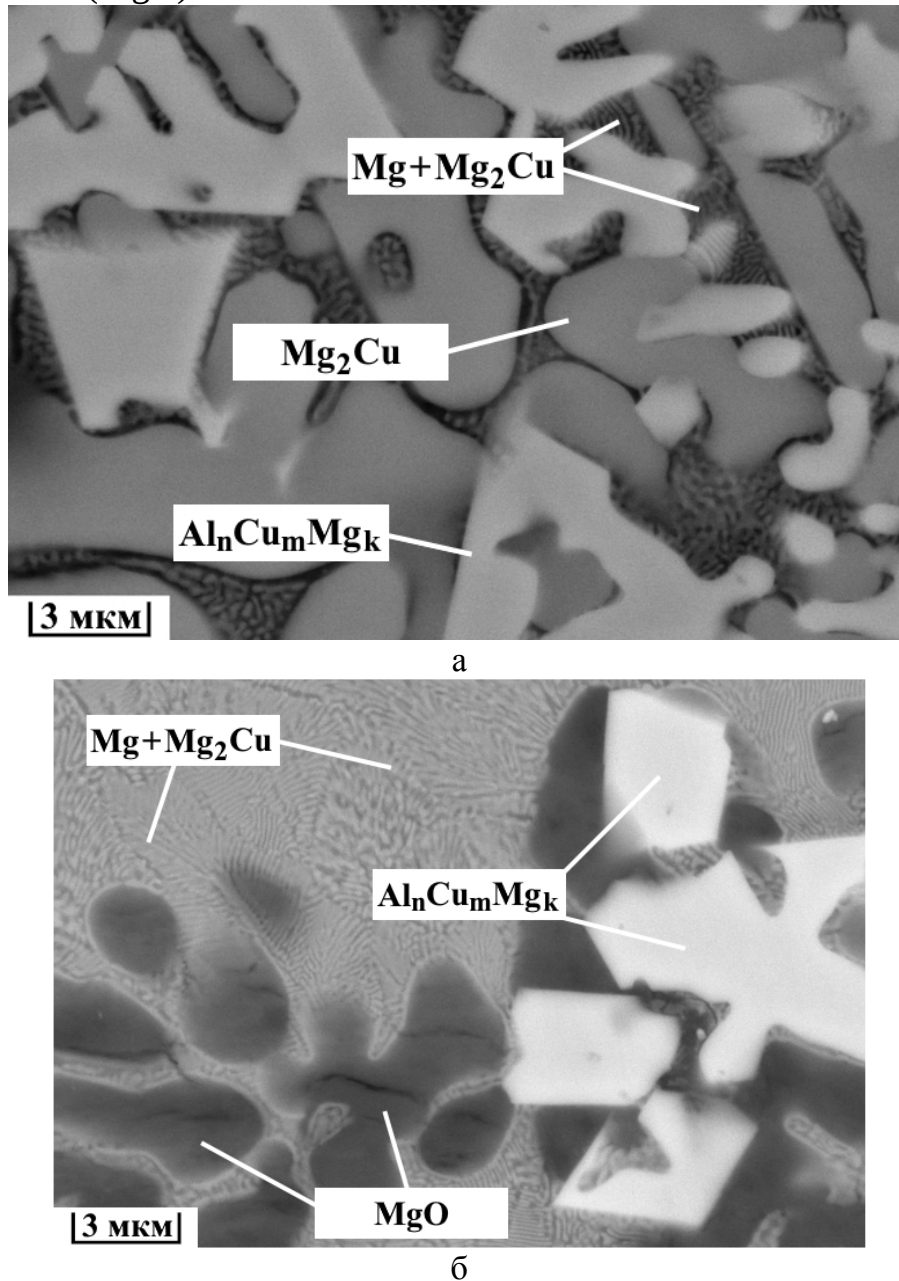


Рис. 3. Структура наплавленных валиков

Твердость наплавленного металла в зависимости от режимов наплавки, определяющих химический состав валиков, изменялась в пределах 130-300 НВ (рис. 4), а твердость магния Мг90 составляла 30 НВ. Увеличение содержания меди и алюминия, а, следовательно, и увеличение объема интерметаллидов в структуре, позволяет получить максимальные значения твердости.

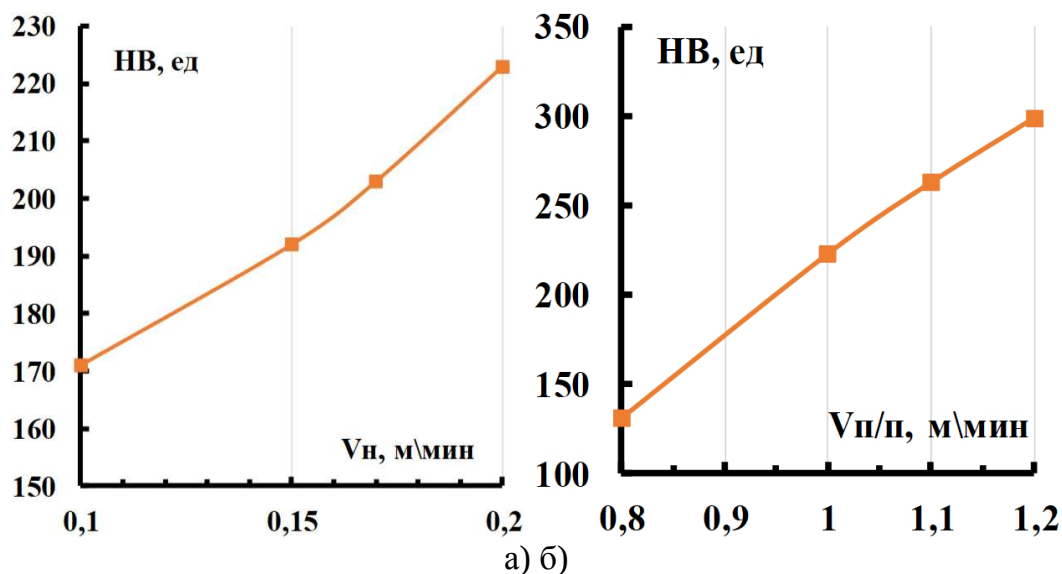


Рис. 4. Зависимость твердости наплавленного металла от: а) скорости наплавки при $V_{n/n} = 1$ м/мин; б) скорости подачи присадочной проволоки при $V_n = 1,2$ м/мин

Выводы

1. Лазерная наплавка с присадочной проволоки из сплава CuAl8 на магний Mg90 позволяет формировать наплавленные слои со стабильными геометрическими параметрами без наличия трещин и поверхностных дефектов.

2. Химический и фазовый состав наплавленных валиков определяется режимами наплавки. Лазерная наплавка позволила сформировать валики со средним содержанием меди 2-25 ат.% и алюминия 3-7 ат.%. Твердость наплавленного металла увеличивалась при повышении содержания меди и алюминия и составляла 130-300 НВ, что в 3,7-8,5 раз выше твердости магния Mg90.

Благодарности. Коллектив авторов выражает благодарность компании VESKO за предоставленное оборудование для лазерной сварки и наплавки при проведении экспериментов.

Список литературы

1. Арзамасов Б.Н., Соловьева Т.В., Герасимов С.А. Справочник по конструкционным материалам. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. – 640 с.
2. Волкова Е.Ф., Дуюнова В.А., Мостяев И.В., Акинина М.В. Закономерности формирования и особенности влияния тонкой структуры на свойства магниевого сплава нового поколения // Вестник Концерна ВКО «Алмаз – Антей». – 2020. – №1 (32). – С. 55-63.
3. Корнышев И.С., Волкова Е.Ф., Гончаренко Е.С., Мухина И.Ю. Перспективы применения магниевых и литейных алюминиевых сплавов // Авиационные материалы и технологии. – 2012. – №8. – С. 212-222.
4. Волкова Е.Ф. Перспективы развития технологии производства магния и его сплавов // Металловедение и термическая обработка металлов. – 2006. – №11. – С. 3-4.
5. Каблов Е.Н. Инновационные разработки ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ по реализации «Стратегических направлений развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года» // Авиационные материалы и технологии. – 2015. – №1. – С. 3-33.
6. Шелег Д.Д., Вялый И.Е., Харченко У.В., Егоркин В.С., Сирота В.В., Синябрюхов С.Л., Гнеденков С.В. Шпинель-оксидные покрытия для защиты сплавов магния от коррозии и износа // Электрохимия 2023: Труды Всероссийской конференции по электрохимии. – М.: ИФХЭ РАН, 2023. – С. 174-175.

7. Назаренко А.Д., Думаницкий М.А., Гирн А.В., Трушкина Т.В. Микродуговое оксидирование магниевых сплавов // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. – 2017. – Т. 1, №13. – С. 77-79.
8. Шендюков В.С., Перевозников С.С., Цыбульская Л.С. Никелевые покрытия с улучшенными адгезионными свойствами, осажденные на поверхности магниевого сплава МА2-1 // Журнал Белорусского государственного университета. Химия. – 2023. – №2. – С. 42-51.
9. Линдеров М.Л., Афанасьев М.А., Асмолов А.Н., Данилов В.А., Мерсон Д.Л. Регулирование коррозионной повреждаемости магниевых сплавов за счет использования вакуумных циркониевых покрытий // Письма о материалах. – 2021. – Т. 11, №3(43). – С. 357-362.
10. Nayeб-Hashemi A.A., Clark J.B. The Cu-Mg (Copper-Magnesium) system // Bulletin of Alloy Phase Diagrams. 1984, vol. 5, no. 1, pp. 36-43.
11. Лякишев Н.П. Диаграммы состояния двойных металлических систем: Справочник: в 3 т.: Т. 2. – М.: Машиностроение, 1997. – 1024 с.
12. Levinsky Yu.V., Alymov M.I., Rohlin L.L. The p–T–x Phase Diagram of the Cu–Mg System // Advanced Materials & Technologies. 2020, no. 1 (17), pp. 3-7. doi.org/10.17277/amt.2020.01.pp.003-007.
13. Волков А.Ю., Калонов А.А. Сравнение экспериментальных данных и расчетных оценок прочностных и электрических свойств Cu/Mg-композитов с разным содержанием компонентов // Вектор науки ТГУ. – 2018. – № 2. – С. 14-20. – doi.org/10.18323/2073-5073-2018-2-14-20.
14. Волков А.Ю., Калонов А.А., Завалишин В.А., Глухов А.В., Комкова Д.А., Антонов Б.Д. Влияние интерфейсов на физико-механические свойства Cu/Mg композитов // Физика металлов и металловедение. – 2020. – Т. 121, №6. – С. 628-634. – doi.org/10.31857/S0015323020060170.
15. Шморгун В.Г., Слаутин О.В., Волобуев С.С., Кулевич В.П. Структура и свойства сваренного взрывом композита медь М1 + сплав МА2-1// Известия ВолГТУ. – 2017. – №6. – С. 17-21.
16. Шморгун В.Г., Слаутин О.В., Арисова В.Н., Волобуев С.С., Бочкарев А.А. Исследование фазового состава диффузионной зоны в сваренном взрывом биметалле медь М1 + сплав МА2-1 // Известия ВолГТУ. – 2017. – №10. – С. 35-39.
17. Бродова И.Г., Волков А.Ю., Ширинкина И.Г., Калонов А.А., Яблонских Т.И., Астафьев В.В., Елохина Л.В. Эволюция структуры и свойств тройных Al/Cu/Mg композитов при деформационно-термической обработке // Физика металлов и металловедение. – 2018. – Т. 119, №12. – С. 1271-1277.

Сведения об авторах:

Ковтунов Александр Иванович – д.т.н., доцент, профессор кафедры «Сварка, обработка материалов давлением и родственные процессы»;

Бочкарев Александр Геннадьевич – к.т.н., доцент кафедры «Сварка, обработка материалов давлением и родственные процессы»;

Машкин Виктор Викторович – студент;

Зеленцов Егор Александрович – студент.