

REFERENCES

1. Thomas, R. Guy (2018). Why Insurers Are Wrong about Adverse Selection. *Laws* 2018, 7, 13. MDPI.
2. Wong, Hector (2017). Seeing the Future? How Genetic Testing Will Impact Life Insurance. *Swiss Re, Asia*.
3. Arych, M. And Levon, M. (2019): "The use of genetic testing in life and health insurance". *Finance of Ukraine*. №3: 118-128. Available at: http://finukr.org.ua/?page_id=774&lang=en&aid=4599
4. Health Plan Landscape for Genetic Testing (2018), AHIP. <https://www.ahip.org/>
5. Arych, M. and Shirinyan, L. (2017): "Investigation of the Competitive ness of the Ukrainian Insurance Market: Geographical Analysis", *Scientific works of National University of Food Technologies*, 23(5): 17-25, Kyiv, Ukraine. Available at: <http://dspace.nuft.edu.ua/jspui/handle/123456789/26479>
6. Klein, Ronald (2017). *Genetics and Life Insurance. A View In to the Microscope of Regulation*. Published by The Geneva Association—International Association for the Study of Insurance Economics
7. State Statistics Service of Ukraine. – Official site. - [Electronic resource]. - Access mode: <http://www.ukrstat.gov.ua/>
8. National Commission for the State Regulation of Financial Services Markets in Ukraine. – Official site. - [Electronic resource]. - Access mode: <http://www.dfp.gov.ua/> та <http://www.nfp.gov.ua/>
9. Shirinyan, L. (2014), "Financial regulation of the Ukrainian insurance market: problems of theory and practice", Kyiv, Center for Educational Literature, 2014. – 458 p.

УДК 621. 793.

ЛАЗЕРНОЕ МОДИФИЦИРОВАНИЕ БРОНЗОВЫХ ПЛАЗМЕННЫХ ПОКРЫТИЙ

*А.А. Болдуева, д-р техн. наук, профессор О.Г. Девойно, канд. техн. наук, доцент
М.А. Кардаполова, И.М. Косякова, БНТУ г. Минск*

Резюме – в статье приведены результаты выбора легирующих компонентов для модифицирования бронзы, влияние их на фазовый состав и микроструктуру покрытий.

Ключевые слова: газотермические покрытия, модифицирующие компоненты, физико-механические характеристики, оптоволоконный лазер, параметры лазерной обработки, микроструктура, фазовый состав.

Введение. Важной задачей процесса лазерного легирования поверхности деталей – формирование требуемых заданных свойств поверхностного слоя на основе выбора легирующих компонентов и рациональных режимов лазерного непрерывного упрочнения. В настоящее время разработано много сплавов на основе меди, но основным недостатком покрытий из медных сплавов является их быстрое разрушение в процессе эксплуатации при удельных нагрузках выше допустимых (свыше 6 МПа). Кроме того, медь — основа сплава — дорогой и дефицитный материал. В связи с этим актуальной задачей промышленности является создание для различных стальных изделий покрытий на основе бронзы, имеющего стоимость на уровне углеродистой, стали и износостойкость в 2-3 раза выше, чем у стандартных бронз.

Проанализировав результаты, полученные ранее по лазерному легированию бронз [1–8], можно сформулировать основные требования к выбору легирующих компонентов для модификации бронзовых покрытий. Во внимание необходимо принимать следующее: способность данного компонента образовывать с медью высокотвердые соединения, т.е. формирование в структуре покрытия вторичной упрочняющей фазы; упрочнение твердого раствора данным компонентом; смачиваемость компонента медью в расплавленном состоянии, т.е. возможность образования первичных твердых упрочняющих фаз, технологические особенности лазерного легирования, включающие высокоэнергетическое воздействие на вводимые модифицирующие компоненты, сверхвысокие скорости нагрева и охлаждения сплава в зоне действия лазерного луча. В таких условиях поведение легирующих компонентов не всегда подчиняется обычным закономерностям и требуется экспериментальная проверка эффективности использования того или иного компонента.

Методика исследования: В качестве матричного материала была выбрана бронза БрФ7Н6Ф, в состав которой входит Al–7%, Ni–5,5%, P–1%, Cu–86,5% при зернистости порошка 40...100 мкм. Плазменное напыление осуществляли в потоке инертных газов на стандартной плазменной установке типа УПУ-3Д с источником питания ИПН-160/600 и с использованием плазмотрона типа ПП-25, который подсоединялся к пульту управления шлангами. Экспериментальные исследования лазерного поверхностного упрочнения поверхности газотермических покрытий бронз проводили на оптоволоконном лазере серии IPG максимальной мощности 2 кВт с длиной волны 1,07 мкм и транспортным волокном 50 мкм, меняя диаметр луча от 1 до 3 мм и скорость обработки от 200 до 700 мм/мин. Легирующие обмазки наносили на поверхность напыленных образцов толщиной 0,1-1,5 мм. Рентгеновские съемки производили на дифрактометре ДРОН 3.0 при скорости поворота образца 1 град/ мин в медном монохроматизированном излучении в максимально возможном интервале углов от 10° до 78°. Результаты анализа обработаны с использованием пакета программ автоматизации рентгеноструктурного анализа «ARSANAL».

Основная часть: Основными легирующими компонентами сложнелегированных бронз являются алюминий, железо, никель, фосфор.

Алюминий в бронзах улучшает механические, антикоррозионные и антифрикционные свойства, придает высокую жидкотекучесть, концентрированную усадку и хорошую герметичность. При содержании алюминия до 7% плохо обрабатывается резанием.

Железо оказывает модифицирующее действие на структуру алюминиевых бронз, немного повышает их прочность, твердость антифрикционные свойства, уменьшает склонность к охрупчиванию двухфазных бронз, понижает коррозионную стойкость горячеломкость, ухудшает обработку резанием. Железо не влияет существенно на механические свойства, но измельчает структуру сплава в отливках.

Никель улучшает технологические и механические свойства алюминиево — железных бронз, в том числе и при повышенных температурах. Вольфрамовых — никель повышает прочностные свойства, улучшает пластичность и деформируемость бронз, повышает их коррозионную стойкость, плотность, уменьшает ликвацию. Никель в бронзах увеличивает коррозионную стойкость, затрудняет чеканку отливок, гравировку.

Фосфор повышает твердость. Введение фосфора в сплав улучшает жидкотекучесть, предупреждает образование оксидов. При содержании фосфора до 0,1% горячеломкость сплавов повышается, свыше 0,1% — уменьшается. Свариваемость сплава с фосфором улучшается, повышается коррозионная стойкость в условиях бытовой среды.

В случае использования многокомпонентной обмазки необходимо проводить оптимизацию состава сложной обмазки из выбранных компонентов, в качестве которых могут быть использованы следующие:

1— марганец и никель, которые образуют с медью непрерывный ряд твердых растворов и не имеют с ней соединений, при этом медь замыкает α -область марганца;

2— хром, создающий с медью эвтектическую систему практически без взаимной растворимости;

3— кремний, который образует с медью твердые растворы малых концентраций и силицид Si_4Cu_5 ;

4— вольфрам, не взаимодействующий с медью в твердом состоянии;

5— карбид вольфрама (система WC - Si не исследована, однако, образование соединений маловероятно);

6— карбид титана, с медью не взаимодействует, но сам титан образует с медью четыре титанида (TiCu_4 , Ti_3Cu_4 , TiCu и Ti_2Cu);

8— карбиды хрома, компоненты в твердом состоянии не взаимодействуют;

9— диборид титана, смачивается медью [8].

Кроме того в случае использования сложно компонентной обмазки необходимо дополнительно проводить оптимизацию режимов лазерной обработки путем изучения их влияния на структуру и свойства упрочненного слоя.

Металлографический и рентгеноструктурный анализы показали, что марганец и никель входят в состав твердого раствора и не дают существенного влияния на прочностные свойства бронзы. Кроме того, оба элемента частично окислялись. Хром и вольфрам в чистом виде не взаимодействовали с медью, а активно окислялись при лазерной обработке на воздухе. По этой же причине нетехнологичным оказалось и использование карбида титана. Легирующими компонентами, отвечающие всем требованиям, оказались карбиды вольфрама и хрома, диборид титана и кремний. Исходное бронзовое покрытие имело в составе алюминиды (25% об.) и фосфиды (10% об.) меди, распределенные в легированном твердом растворе. В процессе лазерной обработки фосфиды, видимо, выгорают и в составе оплавленного покрытия не найдены. Кремний довольно активно реагирует с медью, в результате чего после ЛХТО в поверхностном слое появляются силициды меди, наряду с которыми присутствуют оксиды меди и кремния, а также небольшое количество непрореагировавшего кремния.

Хотя вольфрам с медью не взаимодействует, его карбиды хорошо ею смачиваются. В воздушной атмосфере при интенсивном энергетическом воздействии монокарбид вольфрама не вполне стабилен и в результате его обезуглероживания происходит образование карбида W_2C . В легированном твердом растворе покрытия со шликерной обмазкой WC наблюдаются следующие фазы: WC (30%), W_2C (5-7%), алюминиды меди (25%), Cu_3P и CuO (по 5-7%). При использовании в качестве шликерной обмазки карбидов хрома лазерно-обработанное покрытие включает карбиды хрома (20-25%, преимущественно Cr_7C_3) и алюминиды меди (25-30%), распределенные в твердом растворе хрома в меди. При использовании диборида титана механизм его воздействия является подобным тому, который наблюдался в случае монокарбида вольфрама. TiB_2 при лазерной обработке частично разлагается с образованием моноборида TiB , в результате чего оба соединения присутствуют в покрытии примерно в одинаковых количествах. При этом титан не вступает в твердый раствор.

Исследования структуры металла осуществлялись с использованием металлографического анализа шлифов на микроскопах «Mef-3» фирмы «Reichert» (Австрия).

Исследования микроструктуры покрытий оплавленной порошковой бронзы, (рисунок 1) показали, что после сквозного проплавления) она состоит из легированных дендритов твердого раствора, между ветвями которых кристаллизуются мелкодисперсные высокотвердые фазы. При неполном энергокладе введенные фазы из обмазки не успевают раствориться полностью.

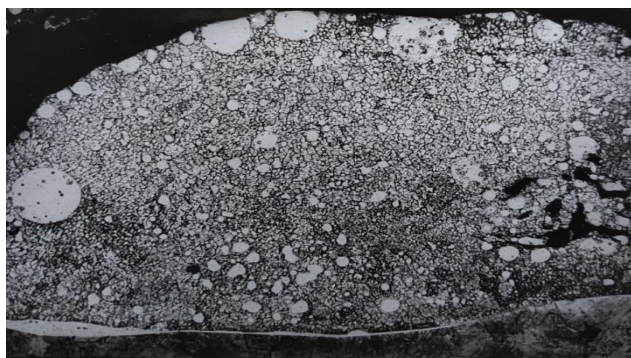


Рисунок 1–Микроструктура покрытия из бронзы БрА7Н6Ф, легированной карбидом вольфрама, х200, скорость 200 мм/мин, диаметр 3 мм

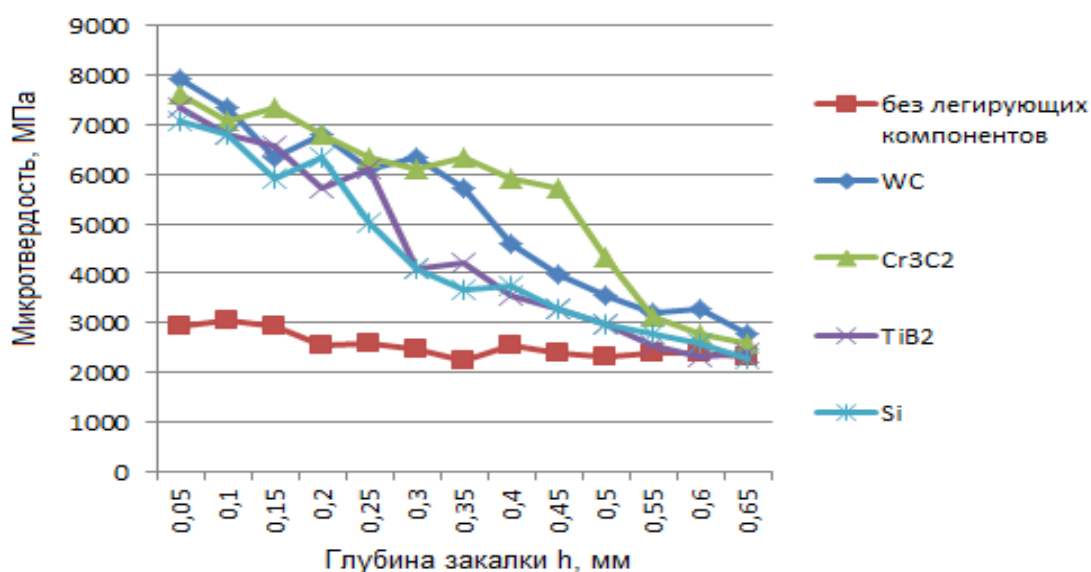


Рисунок 2–Зависимость микротвердости ($H_{\mu 100}$) и глубины зоны лазерной закалки (h, мм) покрытий на основе бронзы при скорости 600 мм/мин от легирующих компонентов

Микротвердость поверхностного слоя напыленной бронзы составляет 2,5 – 3,1 ГПа. Измерения микротвердости по глубине упрочненного слоя после легирования различными компонентами со скоростями лазерного луча 100, 300, 600 мм/мин. и диаметром от 1 до 3 мм показали, что микротвердость поверхностного слоя $H_{\mu 100}$ линейно коррелирует (коэффициент корреляции составляет 0,95) со скоростью обработки, изменяясь от 3,0 до 7,0 – 7,9 ГПа у покрытия, легированного WC, до: 6,8–7,6 Cr_3C_2 , до 7,0–7,3 TiB_2 и 6,6–7,0 Si. Наибольшая микротвердость получена у покрытия, легированного карбидом вольфрама за счет легирования вольфрамом матрицы сплава и большой твердости равномерно расположенных карбидных составляющих W_2C (рисунок 2).

Заключение: Лазерное легирование плазменных покрытий из бронзы БрА7Н6Ф показал перспективность этого метода и возможность значительно улучшить комплекс физико-механических характеристик. Изменения микротвердости показали повышение показателей в 2–2,5 раза по сравнению с неоплавленной бронзой. Микротвердость поверхностного слоя легированной бронзы $H_{\mu 100}$ линейно коррелирует (коэффициент корреляции составляет 0,95) со скоростью лазерной обработки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Barik R.C. et al. Erosion and erosion–corrosion performance of cast and thermally sprayed nickel–aluminium bronze //Wear. – 2005. – Т. 259. – №. 1-6. – С. 230-242.
2. Vandenberg J. M., Draper C. W. An X-ray diffraction study on the microstructure of laser surface melted Cu-Al-Fe alloys //Materials Letters. – 1984. – Т. 2. – №. 5. – С. 386-392.
3. Kwok C. T. et al. Developments in laser-based surface engineering processes: with particular reference to protection against cavitation erosion //Surface and Coatings Technology. – 2016. – Т. 291. – С. 189-204.
4. Tang C. H., Cheng F. T., Man H. C. Improvement in cavitation erosion resistance of a copper-based propeller alloy by laser surface melting //Surface and coatings technology. – 2004. – Т. 182. – №. 2-3. – С. 300-307.
5. Benkisser G. et al. Rand schichthärten von heterogenen Mehrst of aluminium brozen durch Lasers trah lumschmelzen //Metall. – 1992. – Т. 46. – №. 4. – С. 324-328.

6. Kac S., Radziszewska A., Kusinski J. Structure and properties of the bronze laser alloyed with titanium //Applied Surface Science. – 2007. – Т. 253. – №. 19. – С. 7895-7898

7. Sohi M. H. et al. Liquid phase surface alloying of a nickel aluminum bronze alloy with titanium //Surface and Coatings Technology. – 2017. – Т. 325. – С. 617-626.

8. Девойно, О. Г. Повышение износостойкости газотермических покрытий из бронзы БрА7Н6Ф лазерным легированием / О. Г. Девойно, М. А. Кардаполова, А. С. Чаус // Металловедение и термическая обработка металлов. - 2012. - № 3 (681). - С. 40 - 45.

УДК 691.9.048.4

ПОКАЗАТЕЛИ ОЦЕНКИ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ АМДО-ПОКРЫТИЙ

Е.И. Воробьёва, д-р техн. наук., профессор Н.М. Чигринова, ФММП БНТУ, г. Минск

Резюме – определены функциональные свойства покрытий, формируемых в процессе АМДО; установлена условная классификация покрытий в зависимости от их функциональных свойств, определены допустимые значения показателей этих свойств; установлена применимость методов контроля конкретных функциональных показателей покрытий; выполнен анализ рекомендуемых методик исследования показателей, направленных на определение функционального назначения АМДО-покрытий.

Ключевые слова: АМДО-покрытия, функциональные свойства, показатели, методы контроля

Введение. С целью защиты от воздействия внешних факторов на изделиях из вентильных металлов создают покрытия, используя различные технологии, в том числе анодное микродуговое оксидирование (АМДО). Микродуговое оксидирование – метод получения оксидного покрытия из окисленных форм элементов металла и составляющих электролита в специально создаваемых условиях, в которых за счет высокой напряженности электрического поля на границе раздела основного металла и электролита возникают микроплазменные разряды, благодаря чему происходит пробой тонкой естественной оксидной пленки на обрабатываемой поверхности и металлические ионы взаимодействуют с кислородом воздуха и газом, присутствующим в электролите на водной основе, с формированием оксидных фаз, из которых в течение процесса АМДО и формируется покрытие. Структура и состав АМДО-покрытий определяются условиями их получения, зависят от температуры и времени микродугового оксидирования, а также от материала основы, состава электролита и режима обработки. С помощью микродугового оксидирования, осуществляемого в специально приготовленном составе электролита, на поверхности оксидируемого изделия получают покрытия с определенными функциональными свойствами для использования во многих отраслях промышленности.

Основная часть. В научной литературе [1–4] сегодня установлена условная классификация покрытий по типам в зависимости от их функциональных свойств: коррозионностойкие – обеспечивают коррозионную стойкость изделий; износостойкие – обеспечивают стойкость изделий к механическому износу; термостойкие – обеспечивают стойкость деталей и узлов, работающих в условиях высоких температур и термоциклических нагрузок; электроизоляционные – обеспечивают электроизоляционные свойства поверхностей изделий; декоративные – обеспечивают защитно-декоративные и светопоглощающие свойства поверхностей изделий.

Для каждого типа покрытий при их работе в конкретных условиях эксплуатации можно выбрать допустимые значения основных показателей, определяющих их эффективность, которые должны быть закреплены в нормативной документации (таблица 1).

Таблица 1 – Диапазоны значений показателей покрытий, полученных методом АМДО [1]

Тип (функциональные свойства) покрытия	Диапазон значений для показателей качества покрытий							
	Толщина, мкм	Шероховатость, мкм	Пористость, число пор, %	Абразивный износ по методу Табера, индекс убыли массы, мг / 1000 циклов	Термостойкость при термоцикличес- ких испытаниях (температура 280°С), число циклов	Твердость по Виккерсу, НВ	Коэффициент трения	Удельное объемное электрическое сопротивлени е, Ом·м
Коррозионностойкое	10-100	Ra 0,5-2,5	1-2	От 120 до 15	90-100	100-500	0,04-0,6	10-5000
Электроизоляционное	20-200	Ra 0,5-6,0	1-20	От 120 до 20		10-10 ⁹		
Износостойкое	20-200	Rz 6,0-40,0	1-25	От 120 до 7		500-2200	0,04-0,7	10-5000
Термостойкое	30-200				500-800			
Твердое	20-500				1000-2200			
Декоративное	15-100	Ra 0,5-1,6	1-8	От 120 до 10	4-100	500-2200		

Однако микродуговые покрытия многофункциональны и в той или иной степени могут выполнять все перечисленные функции. Преобладание того или иного свойства в покрытии определяет его основное функциональное назначение и работоспособность изделия с таким покрытием в конкретных эксплуатационных условиях. Для установления параметров созданного покрытия существует множество методов разрушающего и