

УДК 538.91:539.21'24

ВПЛИВ ТРИВАЛОГО ВІДПАЛУ НА СТРУКТУРУ ТЕХНІЧНОГО АЛЮМІНІЮ ПІСЛЯ ЛАЗЕРНОГО ЛЕГУВАННЯ МІДІЮ ТА ЗАЛІЗОМ

Гайворонський І. В., аспірант

*Запорізький національний університет,
вул. Жуковського, 66, м. Запоріжжя, 69600, Україна*

igor.gayvoronsky@gmail.com

Методами рентгенівського фазового та металографічного аналізів досліджена структура поверхневих шарів технічного алюмінію, легованого сумішшю порошків міді та заліза, після ізотермічних нагрівів. Встановлено, що дифузійний перерозподіл елементів при відпалах призвів до зростання середніх значень мікротвердості в зоні лазерного легування та вирівнювання їх за глибиною зони. Ізотермічні нагріви зразків викликали фазові перетворення в структурі ЗЛЛ.

Ключові слова: ікосаедрична фаза, лазерне легування, ефект Марангоні-Гіббса, ізотермічний нагрів, фазовий склад.

ВЛИЯНИЕ ДЛИТЕЛЬНОГО ОТЖИГА НА СТРУКТУРУ ТЕХНИЧЕСКОГО АЛЮМИНИЯ ПОСЛЕ ЛАЗЕРНОГО ЛЕГИРОВАНИЯ МЕДЬЮ И ЖЕЛЕЗОМ

Гайворонский И. В., аспирант

*Запорожский национальный университет,
ул. Жуковского, 66, г. Запорожье, 69600, Украина*

igor.gayvoronsky@gmail.com

Методами рентгеновського фазового і металографічного аналізів досліджена структура поверхневих шарів технічного алюмінію, легированного сумішшю порошків міді та заліза, після ізотермічних нагрівів. Установлено, що дифузійне перерозподілення елементів при отжигах привело до росту середніх значень мікротвердості в зоні лазерного легування і вирівнювання їх по глибині зони. Ізотермічні нагріви образців викликали фазові перетворення в структурі ЗЛЛ.

Ключевые слова: икосаэдрическая фаза, лазерное легирование, эффект Марангони-Гиббса, изотермический нагрев, фазовый состав.

EFFECT OF PROLONGED ANNEALING ON TECHNICAL ALUMINUM STRUCTURE AFTER LASER ALLOYING WITH COPPER AND IRON

Gayvoronsky I., post-graduate student

*Zaporizhzhya National University,
Zhukovsky str., 66, Zaporizhzhya, 69600, Ukraine*

igor.gayvoronsky@gmail.com

Structural state of technical aluminum surface layers which were laser alloyed with copper and iron powders mixture after isothermal heating by X-ray diffraction phase and metallographic analysis was investigated. Ultrahigh cooling rate during laser alloying led to the icosahedral ψ -phase formation in laser alloying zone structure. Isothermal heating of samples caused phase transformations. It was found that diffusive redistribution of elements during annealing caused formation of tetragonal ω -phase which was close by chemical composition to ψ -phase. Reduction in size of structure due to intermetallic compounds formation during annealing led to increasing of microhardness average values and its align in LAZ depth. Prolonged isothermal heating of samples at the temperature which was close to the melting point of aluminum matrix showed thermal stability ψ -phase.

Key words: icosahedral phase, laser alloying, Marangoni-Gibbs effect, isothermal heating, phase composition.

Відомо, що методами лазерного легування та наплавлення можна отримувати в приповерхневих шарах металеві матриці гетерогенну структуру, що містить квазікристалічну фазу [1]. При цьому при відпалах ікосаедрична ψ -фаза виявляє відносну термічну стійкість у достатньо широкому інтервалі температур. Проте в [2] було виявлено формування більш стабільної ω -фази та збільшення її кількості в структурі зони лазерного легування (ЗЛЛ) при підвищенні температури відпалу. Тому постало питання про те, чи буде стабільним фазовий склад зони при більш високих температурах відпалу.

Для дослідження термічної стабільності фазового складу ЗЛЛ було проведено тривалі ізотермічні нагріви при температурі, достатньо близькій до температури плавлення алюмінієвої матриці (873 K). Зразки технічного алюмінію А8 мали форму куба з розміром $1\text{см} \times 1\text{см} \times 1\text{см}$. За суміш для легування обирали порошки міді та заліза з розміром фракції 25...50 мкм, взяті в атомарному співвідношенні 2:1. Лазерне легування (ЛЛ) виконували на установці КВАНТ-12 ($\lambda = 1,63\text{ нм}$). Густина потужності випромінювання складала 850 МВт/м^2 . Відпал проводили впродовж 50 годин. Структурний стан контролювався рентгенографічно (Со- K_{α} -випромінювання) через кожні 10 годин ізотермічної витримки зразків. Виконувалося вимірювання мікротвердості. Металографічний аналіз зразків здійснювався на оптичному мікроскопі Ерікуант.

Рентгенографічний аналіз зразків (рис. 1) після ЛЛ свідчив про наявність у зоні лазерного легування трьох фаз: α -твердого розчину на основі алюмінію, β - і ψ -фаз. Найбільшу інтенсивність при цьому мали відбиття від ґратки β -фази. Треба відзначити порівняно низьку інтенсивність відбиттів від ґратки алюмінію, що свідчило про формування інтерметалідних фаз (рис. 3.5, а).

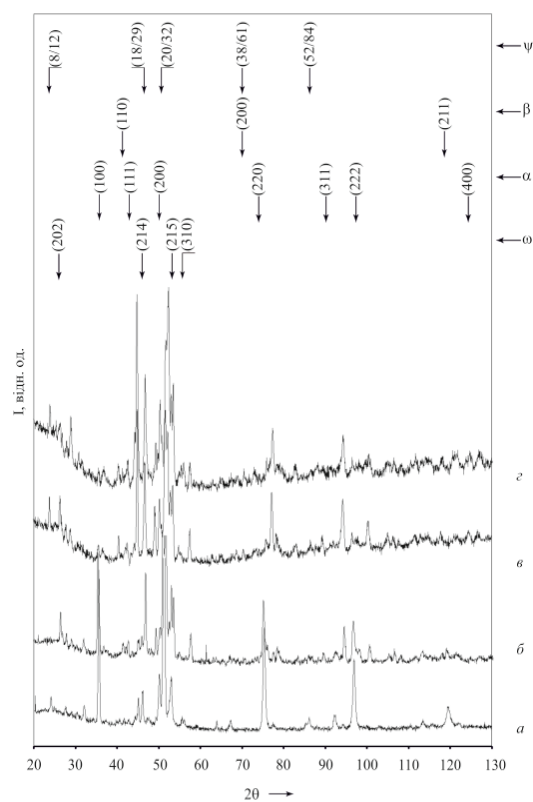


Рис. 1. Дифрактограми ЗЛЛ зразків: а) після ЛЛ при $q = 850\text{ МВт/м}^2$; б) після проведення ізотермічних відпалів при температурі 873 K протягом 10 годин; в) 30 годин; г) 50 годин

Після відпалу протягом 10 год на дифрактограмах додатково були зафіксовані відбиття від ґратки тетрагональної ω -фази $\text{Al}_7\text{Cu}_2\text{Fe}$. Підвищення тривалості відпалів до 20 годин призводило до підвищення інтенсивностей дифракційних максимумів від ґратки означеної фази, що могло бути викликаним лише зростанням її вмісту. Разом із тим, інтенсивність рефлексів, що відповідала кубічній β -фазі, помітно знизилася (рис. 1, б). Збільшення тривалості витримки зразків до 30 годин викликало частковий розпад β -фази фази, що супроводжувалося різким зменшенням інтенсивностей відповідних дифракційних максимумів. Ця тенденція була зафіксована і при подальших відпалах зразків. При цьому зростала інтенсивність відбиттів від ґратки алюмінієвої матриці (рис. 1, в, г). Така зміна інтенсивностей може бути пов'язаним з тим, що відбувався дифузійний перерозподіл легуючих компонентів у ЗЛЛ та проникнення їх вглиб матриці. При цьому тривалий відпал

при температурі, близькій до температури плавлення алюмінію, виявив порівняну стійкість квазікристалічної фази в структурі ЗЛЛ.

Металографічно було зафіксовано утворення гетерогенної дисперсної структури (рис. 2, *a*). Фіксувався капілярний ефект Марангоні-Гіббса [3]. Хімічне травлення виявляло високу концентрацію легуючих елементів по всій глибині ЗЛЛ (рис. 2, *a, б*). В окремих ділянках фіксувалися дисперсні включення голчастої форми, які можна було віднести до інтерметалідних фаз. Подекуди в структурі ЗЛЛ спостерігалися пори та тріщини, виникнення яких можна пояснити значною різницею коефіцієнтів термічного розширення алюмінію та легуючих елементів (рис. 2, *в, з*).

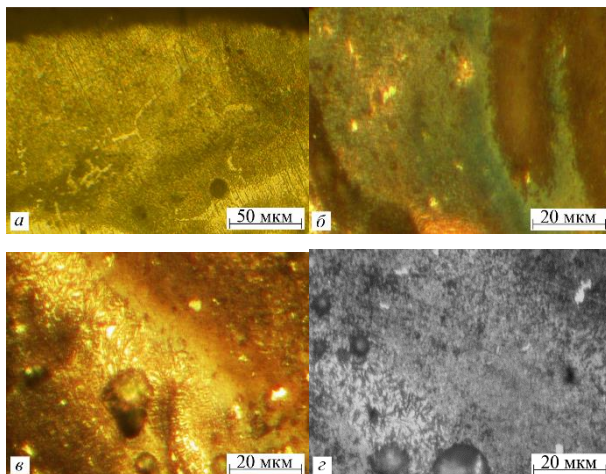


Рис. 2. Структура сплаву А8 після ЛЛ порошками міді та заліза при $q = 850 \text{ МВт/м}^2$: поверхневий шар алюмінієвої матриці (*a*); ділянка, збагачена міддю та залізом (*б*); особливості мікроструктури (*в, з*)

Вимірювання мікротвердості показали (рис. 3), що в результаті відпалів ЗЛЛ відбувалося вирівнювання значень H_μ за всією глибиною зони. При цьому середні значення мікротвердості зростали зі збільшенням тривалості ізотермічної витримки.

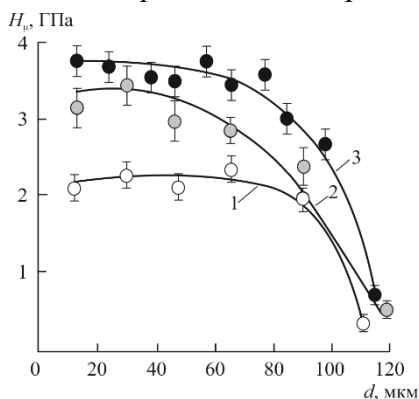


Рис. 3. Розподіл мікротвердості за глибиною ЗЛЛ після відпалів при температурі 873 К протягом 10 годин (1); 30 годин (2) та 50 годин (3).

Отже, дослідження лазерно-легованих міддю та залізом зразків алюмінію, відпалених при температурі 873 К протягом 50 годин показали порівняну стійкість квазікристалічної фази в структурі ЗЛЛ. Дифузійний перерозподіл елементів при ізотермічних нагрівах зумовив додаткове формування інтерметалідних фаз та диспергізацію структури, що викликала вирівнювання значень мікротвердості за глибиною ЗЛЛ.

ЛІТЕРАТУРА

1. Гиржон В. В. Структурное состояние поверхностных слоев алюминия после лазерного легирования смесью порошков меди и железа / В. В. Гиржон, А. В. Смоляков, И. В. Танцюра // Физика металлов и металловедение. — 2008. — Т. 106. — № 4. — С. 1-6.

2. Гайворонский И. В. Структурное состояние поверхностных слоев алюминия после лазерного легирования смесью порошков меди и железа / И. В. Гайворонский, В. В. Гирзон, А. В. Смоляков // МФиНТ. — 2012. — Т. 34. — № 5. — С. 1001-1008.
3. Майоров В. С. Проявление термоконцентрационной неустойчивости при взаимодействии лазерного излучения с веществом / В. С. Майоров // Сборник трудов ИППИТ РАН. — 2005. — С. 236-248.

REFERENCES

1. Girzhon, V.V., Smolyakov, O.V. and Tantsyura, I.V. (2008), "Structural state of surface layers of aluminum after laser alloying using a mixture of copper and iron powders", *Fizika metallov i metallovedenie*, vol. 106, no 5, pp. 398-403.
2. Biswas, K., Galun, R. and Mordike, B. L. [et al.] (2005), "Laser cladding of quasi-crystal-forming Al-Cu-Fe-Bi on an Al-Si alloy substrate", *Metallurgical and materials transactions*, vol. 36A, pp. 1947-1964.
3. Gayvoronsky I.V., Girzhon, V.V. and Smolyakov, O.V. (2012), "Thermal stability of aluminium surface-layers structure after laser alloying with copper and iron metals from the mixture", *Metallofizika i noveyshiye tekhnologii*, vol. 34, no 5, pp. 697-704.

УДК 004.421: 519.87: 514.752.4

ЗАСТОСУВАННЯ ПРОГРАМИ OPENFLIPPER ДО АПРОКСИМАЦІЇ ТРИВИМІРНИХ ПОВЕРХОНЬ

Гоменюк С. І., д. т. н., професор, Тітова О. О., к. т. н., доцент, Морозов Ю. В., студент

*Запорізький національний університет,
вул. Жуковського, 66, м. Запоріжжя, 69600, Україна*

gserega71@gmail.com, toa7676@gmail.com, yuliy_samiy@mail.ru

Розглядається проблема побудови моделей складних тривимірних поверхонь і наближення їх до реальних із застосуванням комп'ютерного моделювання. Для побудови і дослідження цих моделей проаналізовано складність у представленні певних тіл за допомогою елементарних поверхонь (примітивів). Про ефективність побудови геометричних поверхонь складної форми за допомогою комп'ютерної програми OpenFlipper у порівнянні з іншими програмами свідчать наведені приклади розроблених 3D моделей.

Ключові слова: геометричне тіло, тривимірна поверхня, оболонка, 3D модель, примітив, комп'ютерна програма OpenFlipper.

ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММЫ OPENFLIPPER ДЛЯ АПРОКСИМАЦИИ ТРЕХМЕРНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Гоменюк С. И. д. т. н., профессор, Титова О. А., к. т. н., доцент, Морозов Ю. В., студент

*Запорожский национальный университет,
ул. Жуковского, 66, г. Запорожье, 69600, Украина*

gserega71@gmail.com, toa7676@gmail.com, yuliy_samiy@mail.ru

Рассматривается проблема построения моделей сложных трехмерных поверхностей и приближение их к реальным с использованием компьютерного моделирования. Для построения и исследования этих моделей проанализировано сложность в представлении некоторых тел с помощью элементарных поверхностей (примитивов). Об эффективности построения геометрических поверхностей сложной формы, с помощью компьютерной программы OpenFlipper в сравнении с другими программами свидетельствуют проиллюстрированные примеры готовых 3D моделей.

Ключевые слова: геометрическое тело, трехмерная поверхность, оболочка, 3D модель, примитив, компьютерная программа OpenFlipper.