

В. В. Гиржон, А. В. Смоляков, И. В. Танцюра

Запорожский национальный университет, Запорожье

АНОМАЛЬНОЕ ПОВЫШЕНИЕ МИКРОТВЕРДОСТИ ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ ПОСЛЕ ЛАЗЕРНОГО ЛЕГИРОВАНИЯ МЕДЬЮ И ЖЕЛЕЗОМ

Методами рентгеновского фазового и металлографического анализов исследованы закономерности структурообразования в поверхностных слоях алюминия при повторном лазерном легировании смесью порошков меди и железа. Показано, что увеличение температуры подложки приводит к формированию более однородной зоны лазерного легирования, которая содержит квазикристаллическую фазу.

Ключевые слова: алюминий, лазерное легирование, квазикристаллическая фаза, кристаллизация, порошки металлов.

Введение

Квазикристаллы имеют ряд таких уникальных свойств, как низкий коэффициент трения, высокая прочность, износостойкость, низкие электро- и теплопроводности, что дает предпосылку к их широкому применению в промышленности. Однако возможность использования сплавов, которые содержат в себе квазикристаллическую фазу, существенно ограничивается высокой хрупкостью и низкой деформируемостью квазикристаллической фазы при комнатной температуре. Поэтому квазикристаллы применяют в качестве покрытий и тонких пленок. В научной практике существует ряд методов получения квазикристаллических покрытий: газотермическое напыление [1], лазерное легирование (ЛЛ) [2], электронно-лучевое осаждение [3].

В ряде исследований [3, 4] было установлено, что квазикристаллическая структура формируется лишь при неравновесных условиях кристаллизации, которые обеспечиваются сверхвысокими скоростями нагрева и охлаждения расплавов ($\sim 10^4$ - 10^5 К/с). Поэтому целью работы было исследование влияния скорости охлаждения на формирование квазикристаллической структуры в поверхностных слоях алюминия после лазерного легирования порошками меди и железа путем изменения температуры подложки.

Материалы и методы исследования

В работе исследовались образцы технического чистого алюминия после двукратного ЛЛ смесью порошков меди и железа (в атомарном соотношении 2:1 соответственно), полученных газовым распылением. Легирующие элементы наносились на поверхность образцов в виде обмазки из смеси порошков на основе клея БФ-6. Согласно данным работы [2], при легировании использовалась оптимальная толщина обмазки – 100 мкм. С целью увеличения упрочненного слоя выполнялось двукратное ЛЛ на импульсном лазере «Квант-12» ($\lambda = 1,079$ мкм, $\tau = 4$ мс) с плотностью мощности ~ 200 МВт/м². Лазерное легирование проводили при температурах подложки 77, 293 и 473 К.

Структурные изменения и фазовый состав поверхностных слоев контролировались с помощью рентгеноструктурного (ДРОН-3М, CoK_α -излучение) и металлографического (Axio Imager A1m/M1m) методов. Измерение микротвердости проводили на микротвердомере ПМТ-3.

Результаты и их обсуждение

Согласно данным рентгеновского фазового анализа (рис. 1), лазерное легирование порошками меди и железа с температурой подложки 473 К приводило к формированию в поверхностных слоях алюминия кроме икосаэдрической ψ -фазы еще и кубической β -фазы ($\text{Al}(\text{Cu},\text{Fe})$, структурный тип CsCl), α -фазы (ГЦК-фазы на основе алюминия) и тетрагональной θ -фазы (Al_2Cu) с параметрами решетки $a = 0,607$ и $c = 0,488$ нм.

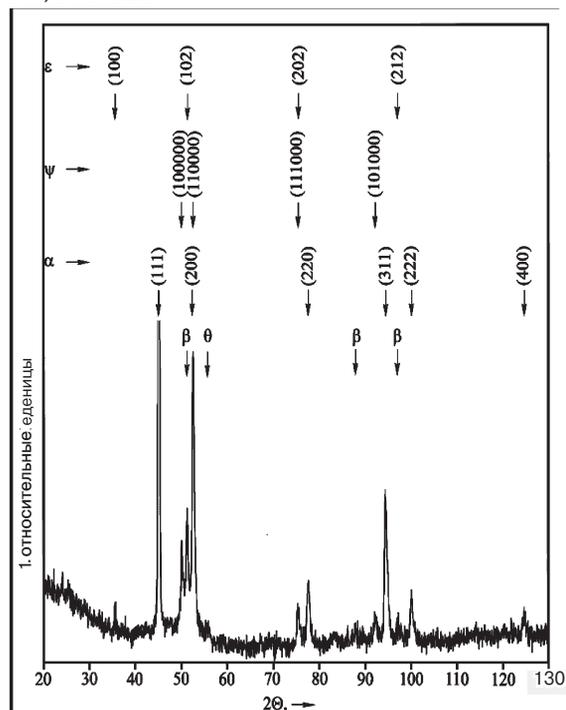


Рис. 1. Дифрактограмма от поверхности образца после двукратного ЛЛ смесью порошков железа и меди в соотношении 1:2 с температурой матрицы 473 К

Данные металлографического анализа свидетельствовали о том, что после ЛЛ формировалась лишь одна зона – зона лазерного легирования (ЗЛЛ). В ЗЛЛ выявлялись участки с разной морфологией фаз: игольчатой и равноосной. Необходимо отметить, что фаза с игольчатой морфологией образовывалась преимущественно в нижней части ЗЛЛ, с направлением роста зерен в сторону максимального отвода тепла, а с равноосной морфологией – в приповерхностных слоях (рис. 2). Резкое возрастание значений микротвердости в поверхностных слоях (практически в 30 раз по сравнению с исходным состоянием), подтверждает рентгенографические данные о формировании икосаэдрической ψ -фазы в ЗЛЛ, что согласуется с работой [2]. По мере приближения к границе ЗЛЛ и матри-

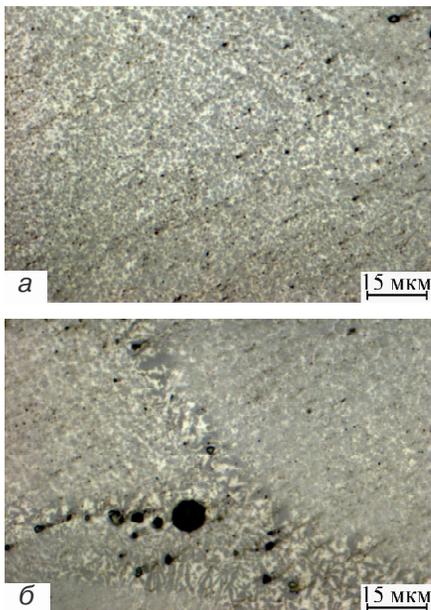


Рис. 2. Микроструктура ЗЛЛ после ЛЛ смесью железа и меди (1:2) с температурой подложки 473 К: равноосные (а), игольчатые (б)

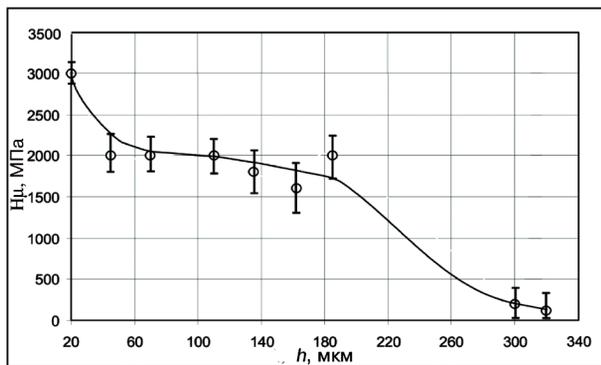


Рис. 3. Распределение микротвердости по глубине ЗЛЛ

цы значения микротвердости снижаются (рис. 3).

Лазерное легирование при температуре подложки 293 К приводило к формированию в ЗЛЛ α -фазы, β -фазы, ψ -фазы и гексагональной ϵ -фазы (Al_2Cu_3) с параметрами решетки $a = 0,413$, $c = 0,509 \text{ нм}$ (рис. 4). Увеличение скорости охлаждения путем снижения температуры подложки приводило к формированию тех же фаз, что и

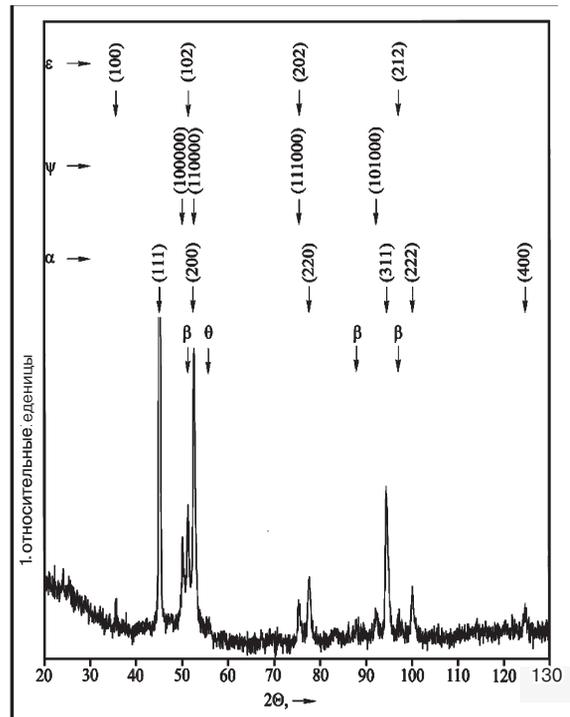


Рис. 4. Дифрактограмма от поверхности образцов после двукратного ЛЛ смесью порошков железа и меди в соотношении 1:2 с температурой подложки 293 К

при ЛЛ с температурой подложки 293 К (рис. 5). При этом фиксировалось существенное увеличение интенсивности дифракционных максимумов от решетки β -фазы по сравнению с образцами после ЛЛ при более высоких температурах. Микроструктура ЗЛЛ, полученных при тем-

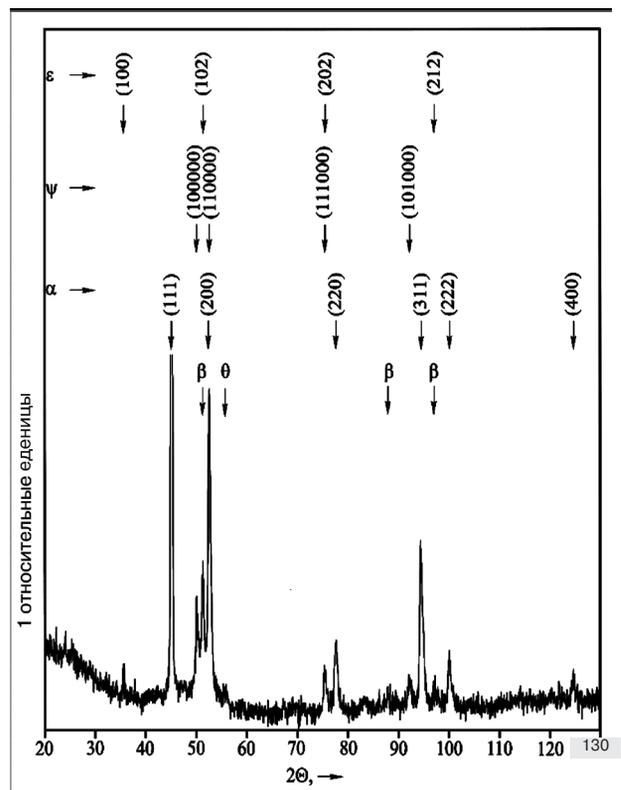


Рис. 5. Дифрактограмма от поверхности образцов после двукратного ЛЛ смесью порошков железа и меди в соотношении 1:2 с температурой подложки 77 К

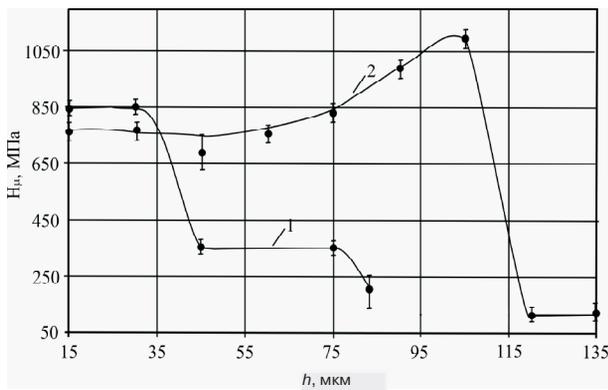


Рис. 6. Распределение микротвердости по глубине ЗЛЛ: 1 - ЛЛ при температуре 77 К; 2 - ЛЛ при температуре 293 К

пературах подложки 293 и 77 К, имела более неоднородный характер по сравнению с ЗЛЛ,

которая сформировалась при температуре подложки 473 К. Образование такой гетерогенной структуры привело к немонотонному распределению микротвердости по глубине ЗЛЛ (рис. 6.).

Таким образом, было установлено, что изменение температуры подложки существенно влияет на фазовый состав, микроструктуру и распределение микротвердости в ЗЛЛ. Следует отметить, что в ЗЛЛ всех образцов наблюдались дефекты в виде пор и микротрещин, устранение которых требует проведения дальнейших исследований.

Выводы

Повышение температуры подложки при ЛЛ приводит к формированию покрытия, содержащего квазикристаллическую фазу с более однородной структурой и, как следствие, с более равномерным распределением микротвердости по глубине зоны.



ЛИТЕРАТУРА

1. Газотермічні покриття, що містять квазікристалічну фазу, властивості і застосування (огляд) / Ю. С. Борисов, А. Л. Борисова, Л. І. Адеєва та ін. // Фізика і хімія твердого тіла. – 2005. – Т. 6, № 1. – С. 124-136.
2. Гиржон В. В., Смоляков А. В., Танцюра І. В. Структурное состояние поверхностных слоев алюминия после лазерного легирования смесью порошков меди и железа // Физика металлов и металловедение. – 2008. – Т. 106, № 4. – С. 1-6.
3. Адеєва Л. І., Борисов А. Л. Квазікристалічні сплави як новий перспективний матеріал для захисних покриттів / Фізика і хімія твердого тіла. – 2002. – Т. 3, № 3. – С. 454-465.
4. Синтез и стабильность Ti-Zr-Ni-квазикристаллов // В. М. Ажажа, А. М. Бовда, С. Д. Лавриненко и др. // Вопросы атомной науки и техники. – 2007. – № 4. – С. 82-87.

ГІРЖОН В. В., СМОЛЯКОВО В. В., ТАНЦЮРА І. В. Аномальне підвищення микротвердості поверхневих шарів алюмінієвих сплавів після лазерного легування міддю та залізом

Методами рентгенівського фазового та металографічного аналізів досліджено закономірності структуроутворення в поверхневих шарах алюмінію при повторному лазерному легуванні сумішшю порошків міді та заліза. Показано, що підвищення температури підкладки призводить до формування більш однорідної зони лазерного легування, яка містить квазікристалічну фазу.

Ключові слова: алюміній, лазерне легування, квазікристалічна фаза, кристалізація, порошки металів.

GIRZHON V. V., SMOLYAKOV O. V., TANTSIURA I. V. The anomalous increasing of microhardening in surface layers of aluminium alloys after the laser alloying by copper and iron

X-ray diffraction and metallographic methods were used to study the regularities of the structure formation in the surface layers of aluminum upon double laser alloying with copper and iron powders. It is shown, that the increase in temperature of a substrate leads to formation of more homogeneous zone of laser alloying which contains quasicrystalline phase.

Keywords: aluminium, laser alloying, quasi-crystalline phase, crystallisation, powders of metals.