

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕКСТУРЫ ИСХОДНО НАГАРТОВАННОГО АЛЮМИНИЙ-ЛИТИЕВОГО СПЛАВА 1441 ПОСЛЕ ОБЛУЧЕНИЯ УСКОРЕННЫМИ ИОНАМИ АРГОНА

В.В. Овчинников¹⁾, Н.В. Гущина¹⁾, Т.А. Белых¹⁾, Д.Б. Титоров²⁾, Д.В. Титорова²⁾,
С.М. Можаровский³⁾, А.В. Филиппов³⁾

¹⁾ Институт электрофизики УрО РАН, г. Екатеринбург, 620016, ул. Амундсена 106,
(343)267-87-74, vladimir@iep.uran.ru

²⁾ Физико-технический институт УрО РАН, г. Ижевск, 426000, ул. Кирова 132, (3412)43-20-45

³⁾ Каменск-Уральский металлургический завод, Россия, г. Каменск-Уральский, 623405,
ул. Заводская, 5

Проведено исследование кристаллографической текстуры плакированных листовых полуфабрикатов алюминий-литиевого сплава 1441 после холодной прокатки (степень деформации 70 %), последующего отжига при $T = 370^\circ\text{C}$ в течение 2 ч, а также после дополнительной обработки ионами аргона с энергией 20 кэВ. Показано, что ионное облучение дозами $5,6 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$ и выше вызывает изменение текстуры прокатки в поверхностных плакировочных слоях и формирование в нем текстуры, аналогичной текстуре рекристаллизации, которая образуется при стандартном отжиге (как с облученной, так и с необлученной стороны образца).

Введение

Известно, что ионная имплантация оказывает сильное влияние на структурно-фазовое состояние металлов и сплавов, вызывая изменение их свойств. В соответствии с этим представляется важным исследование воздействия ионного облучения на структурное состояние алюминиевых промышленных сплавов.

В работе [1] показано, что глубина воздействия ионных пучков на алюминий и его сплавы может быть увеличена за счет использования высокоэнергетической ионной имплантации (30–440 МэВ), а также за счет использования высокоинтенсивной имплантации ионов низких энергий (5–10 кэВ) при повышенных плотностях ионного тока ($< 3,5 \text{ mA/cm}^2$).

В работах [2, 3] показано, что в метастабильных алюминиевых сплавах с высокой запасенной энергией (пересыщенных твердых растворах Al-Cu и нагартованных алюминиевых сплавов) под действием ускоренных ионов (Ag^+ , Al^+ , Cu^+) с энергиями 20 – 40 кэВ наблюдается изменение структурно-фазового состояния на глубине от 0,1 до 3 мм.

В настоящей работе в качестве объекта исследования был выбран промышленный алюминиевый сплав 1441 системы Al-Li-Cu-Mg, который по характеристикам статической и динамической прочности близок к наиболее трещиностойкому алюминиевому сплаву Д16 при меньшей плотности и более высоком модуле упругости, не уступающему по коррозионной стойкости.

Ранее в работах [3, 4] было установлено, что облучение ионами Ag^+ с $E = 20 \text{ кэВ}$, $j = 150 \text{ мкА/см}^2$, $D = 1 \cdot 10^{15} - 1 \cdot 10^{16} \text{ см}^2$ (время облучения 1 – 10 с) приводит к существенному изменению структуры нагартованного сплава 1441: наблюдается переход от ячеистой структуры к субзеренной, аналогичной полигональной (в отсутствие нагрева образцов, $T < 60^\circ\text{C}$). При этом увеличивается относительное удлинение при сохранении прочностных характеристик. При $D = 1 \cdot 10^{17} \text{ см}^2$ (время облучения 107 с) имеет место резкое увеличение пластичности и снижение предела теку-

чести, что связано с формированием однородной крупнокристаллической зеренной структуры с диаметром зерен более 10 мкм. Аналогичная рекристаллизованная структура наблюдается после отжига при температуре 370°C в течение 2 ч.

При этом было установлено, что изменения дислокационной структуры в сплаве 1441 наблюдаются не только в поверхностном слое, прилегающем к зоне внедрения ионов, но и по всей толщине образца, в десятки тысяч раз превышающей их проективные пробеги.

В данной работе проведено исследование изменения кристаллографической текстуры сплава 1441 при облучении ионами аргона с энергией 20 кэВ.

Основная часть

Ионно-лучевая обработка образцов сплава 1441, вырезанных из плакированных листов толщиной 1 мм, изготовленных на Каменск-Уральском металлургическом заводе, проводилась на установке для ионно-лучевой имплантации ПУЛЬСАР, оснащенной ионным источником на основе тлеющего разряда с холодным полым катодом. Плотность ионного тока составляла 150 мкА/см^2 , энергия ионов $E = 20 \text{ кэВ}$, при этом варьировалась доза облучения от $1 \cdot 10^{15}$ до $1 \cdot 10^{17} \text{ см}^2$.

В ходе облучения осуществлялся непрерывный контроль температуры мишени с помощью хромель-алюмелевой термомпары. Максимальная температура, до которой нагревались образцы, при низких дозах не превышала 40°C , а при высоких – $180 - 220^\circ\text{C}$.

Текстуру исследовали рентгеновским методом с помощью построения прямых полюсных фигур. Съемку проводили по методу Шульца на отражение [5] в Co K_α -излучении, на трубке устанавливался режим: высокое напряжение – 25 кВ, анодный ток – 20 мА. Часть образцов исследовали на дифрактометре общего назначения ДРОН-2 с помощью специальной текстурной приставки на основе приставки для изучения монокристаллов с коллиматором, приближенном к образцу на расстояние до 5 см. Это позволило получать данные

для построения более полных полюсных фигур (угол $\alpha = 80^\circ$). Другую часть образцов исследовали на рентгеновском дифрактометре для текстурных исследований ДАРТ-УМ1. Тщательная настройка на линию отражения и съемка порошкового эталона при стандартных условиях съемки позволили получить качественные полюсные фигуры с углом $\alpha = 70^\circ$, вместо $55-60^\circ$.

Полюсные фигуры строили для отражений (200) и (111). Использование двух отражений позволяет надежно расшифровывать текстуру. Однако с помощью описанных выше мер, принятых для увеличения угла α , были получены полюсные фигуры (200), достаточные для наглядного сопоставления текстур нагартованных и облученных образцов. Поэтому при анализе текстуры в работе приведены только полюсные фигуры (200).

Съемку исходно нагартованных, отожженных и облученных образцов проводили с обеих сторон. Исследования проводили, не удаляя лакировочный слой.

При рентгеновском исследовании в излучении Co глубина анализируемого поверхностного слоя алюминиевого сплава составляет, согласно [6], ~ 30 мкм. Таким образом, мы получаем информацию об изменении текстуры в лакировочных слоях (с облученной и необлученной стороны образца), толщина которых составляет ~ 50 мкм. Однако следует отметить, что исследуемая глубина с облученной стороны, а тем более для необлученной стороны образца, на несколько порядков превышает величину проективного пробега ионов Ag^+ в данном сплаве, которая составляет, согласно расчету методом TRIM, всего лишь 40 нм



Рис. 1. Полюсные фигуры (200) лакировочных слоев нагартованного (а) и отожженного (б) образцов сплава 1441.

На рис. 1 приведены полюсные фигуры (200) лакировочных слоев образцов сплава 1441 в исходном нагартованном состоянии (степень деформации 70 %), а также после отжига при температуре 370°C в течение 2 ч.

Полюсные фигуры нагартованных образцов (рис. 1а) свидетельствуют о типичной текстуре для металлов и сплавов с ГЦК решеткой, прокатанных без нагрева (холодная прокатка) со средними степенями обжатия (по изменению толщи-

ны). Такую текстуру обычно описывают набором ориентаций от $\{110\}\langle 112 \rangle$ до $\{112\dots 113\}\langle 112\dots 332 \rangle$.

В результате отжига вид полюсных фигур существенно изменился (рис. 1б). Если на полюсных фигурах нагартованных образцов области с повышенной полюсной плотностью довольно четко определены, то на полюсных фигурах отожженных образцов этой четкости не стало. На полюсных фигурах (200) наибольшая интенсивность сосредоточена ближе к центру, в то время как на полюсных фигурах (200) таких же, но нагартованных образцов, полюсная плотность в центре этих фигур практически отсутствовала. Сложная, но достаточно четко выраженная текстура прокатки заменилась очень рассеянной текстурой, в которой большую часть составляют ориентации, близкие к (100), а также достаточно сильно отклоненные от нее.

Отмеченные изменения на полюсных фигурах свидетельствуют о том, что во время отжига в лакировочных слоях образцов прошел процесс рекристаллизации, который привел к изменению кристаллографической текстуры.

На рис. 2 представлены полюсные фигуры (200) сплава 1441 после облучения ионами аргона.



Рис. 2. Полюсные фигуры (200) лакировочных слоев облученных образцов сплава 1441, снятые с облученной стороны: а - $D = 2,5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$; б - $D = 5,6 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$; в - $D = 1 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-2}$.

Приведенные полюсные фигуры показывают, что ионное облучение дозами $5,6 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$ и выше обеспечивает изменение кристаллографической текстуры, аналогичное такому, которое происходит при рекристаллизационном отжиге.

Интересным является тот факт, что при ионном облучении сплава 1441 изменение текстуры в лакировочном слое от текстуры прокатки к текстуре рекристаллизации произошло при достаточно низких температурах: как было уже ранее указано образцы при таких режимах обработки

нагревались до 180°C – 220°C (без выдержки при этих температурах).

Полюсные фигуры (200) обратной стороны всех образцов (рис. 3) качественно совпадают с теми, что построены для облученной стороны образцов.

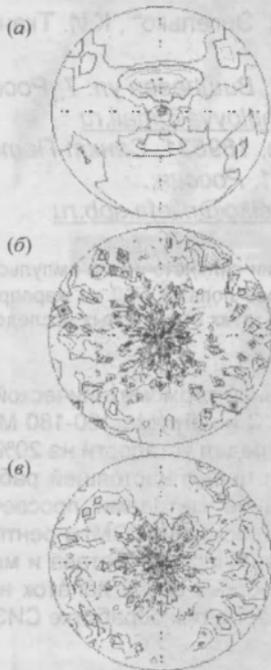


Рис. 3. Полюсные фигуры (200) плакировочных слоев облученных образцов сплава 1441, снятые с необлученной стороны: а – $D = 2,5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$; б – $D = 5,6 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$; в – $D = 1 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-2}$.

Это позволяет сделать вывод о том, что инициируемые ионным облучением процессы трансформации текстуры деформации в текстуру рекристаллизации распространились на плакировочный слой, располагающийся с необлученной стороны образца. В работах авторов настоящей статьи [2-4] аналогичные процессы объясняются радиационно-динамическим воздействием пучка ионов, связанным с распространением послекасадных микроударных волн.

Заключение

Таким образом показано, что при облучении ионами аргона с энергией 20 кэВ, при плотности ионного тока 150 мкА/см^2 , дозами $5,6 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$ и $1 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-2}$ плакированных нагартованных листов (степень деформации 70 %) происходит устранение в плакировочном слое текстуры прокатки и формирование в нем текстуры, аналогичной текстуре рекристаллизации, которая образуется при стандартном отжиге. При этом трансформация текстуры наблюдается как с облученной, так и с необлученной стороны образца. Это свидетельствует в пользу гипотезы о наличии радиационно-динамической составляющей воздействия ионного пучка, что приводит к изменению структуры метастабильных сплавов на глубине, в десятки тысяч раз превышающей проективные пробеги ионов [3].

Для того чтобы выяснить, как влияет ионное облучение на текстуру основного металла, на следующем этапе планируется удалить плакировочный слой и затем исследовать текстурное состояние образцов.

Предварительные результаты исследования основного металла показывают, что и в нем, по всей вероятности, также происходят изменения текстуры.

Список литературы

1. Анищик В.М., Углов В.В. Модификация инструментальных материалов ионными и плазменными пучками. – Мн.: БГУ, 2003. – 191 с.
2. Гущина Н.В., Овчинников В.В., Голобородский Б.Ю., Чермеринская Л.С. // Известия Томского политехнического университета. – 2005. – Т. 308. – №7. – С. 53.
3. Овчинников В.В., Гущина Н.В., Махинько Ф.Ф. и др. // Изв. вузов. Физика. – 2007. – № 2. – С. 73.
4. Овчинников В.В., Гущина Н.В., Махинько Ф.Ф. и др. // Радиационно-термические эффекты и процессы в неорганических материалах: Труды V Между-народной научной конференции. – Томск, 2006. – С. 257.
5. Лайнер Д.И., Радишевский А.И. // Заводская лаборатория. – 1970. – №2. – С. 183.
6. Миркин Л.И. Справочник по рентгеноструктурному анализу поликристаллов. – М.: Изд-во физико-математической литературы, 1961. – 864 с.

STUDY OF TEXTURE OF INITIALLY HARD-WORKED ALUMINUM-LITHIUM ALLOY 1441 AFTER IRRADIATION WITH ACCELERATED ARGON IONS

V.V. Ovchinnikov¹, N.V. Gushchina¹, T.A. Belykh¹, D.B. Titorov², D.V. Titorova²
S.M. Mozharovsky³, A.V. Filippov³

¹Institute of Electrophysics UB RAS, 106 Amundsena Str., Ekaterinburg, 620016,
(343)267-87-74, vladimir@iep.uran.ru

²Institute of Physics and Technology UB RAS, 132 Kirova Str., Izhevsk, 426000, Russia

³Kamensk-Uralsky Metallurgical Plant, 5 Zavodskaya Str., Kamensk-Uralsky, 623405, Russia

Investigation was carried out of crystallographic structure of semifinished clad plates from aluminum-lithium alloy 1441 after their cold rolling (70 % deformation) followed by annealing at $T = 370 \text{ }^\circ\text{C}$ during 2 hours, and after additional treatment with 20-keV argon ions.

It was shown that ion irradiation to doses $5.6 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$ and higher causes changes in the rolling texture in subsurface cladding layers and formation in them of a texture similar to the texture of recrystallization formed at conventional annealing (both on the irradiated and the non-irradiated sides of the sample). This is an evidence in favour of the hypothesis of the presence of a radiation-dynamic component of the ion beam effect resulting in change in the structure of metastable alloys at a depth exceeding ion projected ranges tens of thousand times.