

Научная статья

УДК 669.017

ВЛИЯНИЕ ВСЕСТОРОННЕЙ ИЗОТЕРМИЧЕСКОЙ КОВКИ НА МЕХАНИЗМЫ СВЕРХПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ

**Ольга Анатольевна Яковцева¹, Анна Алексеевна Кищик,
Руслан Юрьевич Барков, Мария Николаевна Постникова,
Анастасия Владимировна Михайловская**

Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»,
Москва, Россия

¹ *yakovtseva.aa@misis.ru*

Аннотация. В ходе исследования определены вклады механизмов сверхпластической деформации в сплаве системы Al–Mg с добавкой Fe и Ni в зависимости от термомеханической обработки. Установлено, что в сплаве, полученном всесторонней изотермической ковкой, вклад зернограничного скольжения значительно больше, чем в сплаве после прокатки (50 % против 30 %), что происходит за счет снижения внутризеренной деформации.

Ключевые слова: сверхпластичность, алюминиевые сплавы, механизмы сверхпластической деформации, зернограничное скольжение, дислокационное скольжение

Финансирование: работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант № 17–79–20426).

Original article

**Olga Anatolyevna Yakovtseva¹, Anna Alekseevna Kishchik,
Ruslan Yuryevich Barkov, Mariya Nikolaevna Postnikova,
Anastasiya Vladimirovna Mixaylovskaya**

National research technological university “MISIS”, Moscow, Russia

¹ *yakovtseva.aa@misis.ru*

THE INFLUENCE OF COMPREHENSIVE ISOTHERMAL FORGING ON THE MECHANISMS OF SUPERPLASTIC DEFORMATION

Abstract. In the course of the study, the contributions of the mechanisms of superplastic deformation in the alloy of the Al–Mg system with the addition of Fe and Ni were determined depending on the thermomechanical treatment. The contribution of grain boundary sliding is significantly greater after multidirectional hot forging process, than after only rolling (50 % versus 30 %), which occurs due to a decrease in intragranular deformation.

Keywords: superplasticity, aluminum alloys, mechanisms of superplastic deformation, grain boundary sliding, dislocation creep

Funding: this work was financially supported by the Russian Science Foundation (grant № 17–79–20426).

Для сплавов с малой добавкой скандия и циркония (0,05–0,2 %) на сегодняшний момент удалось получить при одинаковом исходном химическом составе два типа структуры перед началом сверхпластической деформации — с малой долей рекристаллизованного объема в случае простой термомеханической обработки и полностью рекристаллизованную структуру в случае использования всесторонней изотермическойковки, при этом сплавы имеют схожую структуру после сверхпластической деформации. Такие сплавы обеспечивают высокие механические свойства после сверхпластической деформации и способны к деформации с высокими скоростями при невысоких температурах, что является необходимым условием промышленного внедрения таких сплавов.

Целью работы являлся анализ изменения поверхности и оценка вкладов механизмов сверхпластической деформации в сплаве в зависимости от термомеханической обработки.

Сплав системы Al–Mg с добавкой Fe и Ni, Sc и Zr получен в виде слитка (масса — 1800 г), который гомогенизировали при температуре с учетом температуры плавления, а затем подвергали горячей и холодной прокатке до конечной толщины 1 мм или проводили ковку образцов. Анализ поверхности для определения вкладов механизмов сверхпластической деформации и приповерхностных слоев проводился с использованием микроскопа фокусированного ионного пучка *STRATA FIB-205*. Маркерные сетки были нанесены на поверхность образцов ионным фрезированием для анализа вклада механизмов сверх-

пластической деформации на установившейся стадии. Образцы, полученные двумя способами, деформировали при температуре 440 °С и скорости деформации 0,01 (1/с).

На поверхности образцов, полученных прокаткой, наблюдаются смещения маркерных линий как по межзеренным, так и по внутризеренным границам, небольшие развороты зерен и полосчатые области. Стоит отметить, что практически нет смены соседних зерен. Хорошо заметны смещения царапин уже при небольшой деформации, по которым было определено, что вклад зернограницного скольжения (ЗГС) почти в два раза больше, чем в сплаве типа AA5083, при этом вклад ЗГС не меняется при увеличении скорости деформации и равен 30 %. Количественная оценка внутризеренной деформации показала значения на уровне 30 %. Вклад диффузионной ползучести, рассчитанный по образованным в процессе деформации полосчатым зонам, не зависит от скорости деформации и равен 40 %.

Определено влияниековки на механизмы сверхпластической деформации, так как послековки исходная микроструктура сплава состоит из рекристаллизованных зерен, в отличие от нерекристаллизованной микроструктуры, полученной после прокатки. Отмечен рост вклада ЗГС до 50 % в тех же условиях деформации. Внутризеренная деформация развита слабо, ее вклад не зависимо от степени деформации остается на уровне 20 %, диффузионная ползучесть также является аккомодационным механизмом с вкладом 30 %.