

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ И СКОРОСТИ ДЕФОРМАЦИИ НА ЭФФЕКТЫ УПРОЧНЕНИЯ ОТЖИГОМ И ПЛАСТИФИКАЦИИ В УЛЬТРАМЕЛКОЗЕРНИСТЫХ СПЛАВАХ Al-Zr и Al-Cu-Zr

Орлова Т.С.¹, Мавлютов А.М.¹, Садыков Д.И.^{1,2}, Мурашкин М.Ю.^{1,3}, Гуткин М.Ю.⁴

¹Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе РАН, Санкт-Петербург, Россия,
orlova.t@mail.ioffe.ru

²Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики (Университет ИТМО), Санкт-Петербург, Россия

³Уфимский государственный авиационный технический университет,
Институт физики перспективных материалов, Уфа, Россия

⁴Институт проблем машиноведения РАН, Санкт-Петербург, Россия

Ультрамелкозернистые (УМЗ) металлы и сплавы, структурированные методами интенсивной пластической деформации (ИПД), часто демонстрируют поведение, не типичное для крупнозернистого (КЗ) состояния. Примерами такого поведения является эффект упрочнения в результате кратковременного низкотемпературного отжига (УО) и эффект увеличения пластичности (УП) в результате дополнительной деформации после такого отжига. Эффект УО наблюдался ранее для технически чистого (СР) Al [1] и сплава Al-0.4Zr [2], эффект УП был обнаружен в СР Al [1] и в сплавах Al-Cu [3] и Al-Cu-Zr [4] с УМЗ структурой. Для объяснения возникновения этих эффектов в УМЗ Al были разработаны теоретические модели, основанные на изменении состояния (равновесное – неравновесное) границ зерен (ГЗ) [5].

С целью более глубокого понимания природы эффектов УО и УП в УМЗ сплавах Al-0.4Zr и Al-1.47Cu-0.32Zr, структурированных методом кручения под давлением (high pressure torsion – НРТ), в настоящей работе исследовано влияние на них температуры (в диапазоне 77-300 К) и скорости деформации в интервале 10^{-4} – 10^{-2} s⁻¹. При этом впервые продемонстрирован эффект УП в УМЗ сплаве Al-Zr. Для УМЗ сплавов Al-Zr и Al-Cu-Zr экспериментально получены температурные зависимости предела текучести и полной пластичности до разрушения для состояний: до отжига (НРТ), после отжига (НРТ+АН), и после отжига и последующей дополнительной деформации (НРТ+АН+0.25НРТ). Показано, что понижение температуры деформации приводит к уменьшению эффектов УО и УП. Выявлены критические температуры деформации, при которых эти эффекты подавляются. Определены и проанализированы энергии активации Q пластического течения для этих сплавов во всех трех состояниях. Показано, что в области проявления эффектов УО и УП ключевым фактором, влияющим на температурную чувствительность предела текучести и соответствующую величину Q , является состояние/структура ГЗ. При более низких температурах, структура/состояние ГЗ не влияет на температурную чувствительность предела текучести. Для УМЗ сплава Al-Cu-Zr показано, что эффект УП сохраняется при изменении скорости деформации от 10^{-4} до 10^{-3} s⁻¹ и уменьшается вдвое при дальнейшем ее увеличении до 10^{-2} s⁻¹. Полученные результаты анализируются на основе полученных значений коэффициента скоростной чувствительности и энергии активации, а также наблюдений структурных особенностей ГЗ.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ (грант №22-19-00292).

1. А.М. Мавлютов и др. ФТТ 59 (2017) 10, 1949.
2. Т.А. Latynina et al. 99 (2019) 2424-2443.
3. А.М. Мавлютов, Т.С. Орлова, Э.Х. Яппарова, Письма ЖТФ 46 (2020) 18, 30.
4. T.S. Orlova et al. Mater. Lett. 303 (2021) 130490.
5. T.S. Orlova, et al. Rev. Adv. Mater. Sci. 57 (2) (2018) 224-240.