

# ВЛИЯНИЕ ИНТЕНСИВНОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ НА СОПРОТИВЛЕНИЕ УСТАЛОСТНОГО РАЗРУШЕНИЯ СПЛАВА 1421

**Мозучева А.А.**

*проф. д.ф.-м.н. Кайбышев Р.О.*

*Белгородский государственный университет, г. Белгород*

Алюминий-литиевые сплавы известны как наиболее перспективные материалы для аэрокосмической техники, благодаря таким их свойствам как высокий модуль упругости и малая плотность [1, 2]. Работоспособность алюминий-литиевых сплавов во многом определяется скоростью роста усталостной трещины (СРТУ), вязкостью разрушения, основным критерием которого является критический коэффициент интенсивности напряжений  $K_{Ic}$ , определяющий процессы распространения трещины и разрушения. Известно, что характер зеренной структуры, степень рекристаллизации и наличие вторых фаз оказывают существенное влияние на характеристики вязкости разрушения. В связи с этим становится актуальной проблема оценки этого влияния на свойства промышленных алюминий-литиевых сплавов.

В данной работе будут рассмотрены характеристики вязкости разрушения, СРТУ и предела выносливости сплава системы Al-Li-Mg-Sc-Zr.

Микроструктурные исследования показали, что в результате РКУ прессования при температуре 325°C после  $\epsilon=4$  в материале формируется полностью рекристаллизованная структура, занимающая 80% объема материала. При этом средний размер рекристаллизованных зерен составляет величину 2 мкм и доля БУГ занимает 78,7%. Угол разориентировки границ равен 30,7%. Средняя плотность дислокаций в теле зерен составляет  $\rho=5 \times 10^{14} \text{ м}^{-2}$

В то же время деформированная структура сильно влияет на последовательность выделений в процессе старения. Частицы  $S''$ -фазы со средним размером 0,4 мкм расположены на большеугловых границах и внутри зерен. Их объемная доля достигает 15%. Это слабое доказательство образования дисперсной  $\delta'$ -фазы. Однако ее объемная доля незначительна.

На рисунке 1 показана кривая усталости исследуемого сплава 1421 с УМЗ структурой. Количество циклов до разрушения почти линейно уменьшается с увеличением амплитуды напряжений. Ввиду отсутствия на кривой усталости горизонтального участка, что характерно для многих цветных металлов и сплавов, ограниченный предел выносливости (циклическая прочность) исследуемого сплава определяли на базе  $10^7$  циклов. Циклическая прочность сплава при числе циклов  $10^7$  составила 185 МПа.

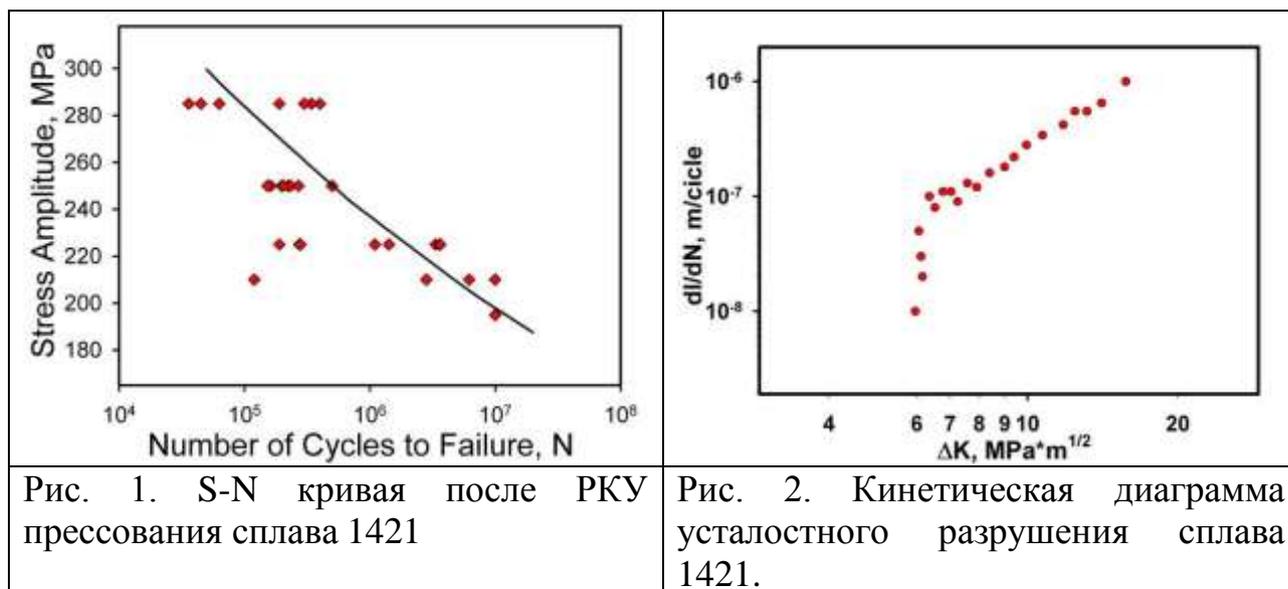


Рисунок 2 представляет зависимость скорости роста усталостной трещины,  $da/dN$ , в ультрамелкозернистом сплаве 1421 от размаха коэффициента интенсивности напряжений  $\Delta K$ . Зависимость имеет участок медленного роста усталостной трещины ( $\Delta K \sim 6 \text{ МПа} \times \text{м}^{1/2}$ ). Скорость роста усталостной трещины на участке стабильного роста составляет примерно 5 мм/Кцикл при  $\Delta K \sim 13 \text{ МПа} \times \text{м}^{1/2}$ . Критический коэффициент интенсивности напряжений  $K_{IC}$  был вычислен после статических испытаний образцов с усталостной трещиной, и составил  $22.7 \text{ МПа} \times \text{м}^{1/2}$ . В настоящем сплаве были достигнуты механические свойства  $\sigma_{0.2}=371 \text{ МПа}$  и  $\sigma_B=483 \text{ МПа}$ ., в то время как в сплаве 1420 [3] близкому по химическому составу предел текучести значительно ниже и составил  $\sigma_{0.2}=280 \text{ МПа}$ , тогда как значения предела прочности  $\sigma_B=460 \text{ МПа}$  и  $K_{IC}=25 \text{ МПа} \times \text{м}^{1/2}$  существенно не изменились. Механические свойства сплава 1421 после РКУ прессования были описаны в работе [4].

На изломе плоского прямоугольного образца с краевой трещиной видны концентрические линии, характерные для усталостного разрушения. В сплаве 1421 усталостная трещина распространяется в основном межзеренно с отдельными участками вязкого разрушения. Зарождение множества трещин, на образцах после РКУ прессования до степени деформации 4, происходит также на крупных частицах первичной фазы  $Al_3(Sc,Zr)$ . Детальное исследование показало, что в материале присутствует, что происходит ветвление трещин, которое приводит к повышению служебных свойств.

При малых значениях ( $\Delta K \sim 6 \text{ МПа} \times \text{м}^{1/2}$ ) морфология изломов свидетельствует об интеркристаллитном характере разрушения материала, на это указывает фасеточный вид излома с размером фасеток близком к размеру зерен. Усталостная трещина постепенно перестает чувствовать границы зерен. Это подтверждает структурно-нечувствительный характер ее распространения по отношению к размеру зерна на стадии линейного роста.

Результаты данного исследования показывают, что интеркристаллитное разрушение образцов имеет место при малых величинах размаха коэффициента

интенсивности напряжений и сопровождается слабой извилистостью пути усталостной трещины. Это обуславливает меньшее сопротивление росту усталостной трещины. При высоких значениях размаха коэффициента интенсивности напряжений происходит смешанный тип разрушения. Из фрактографии видно наличие небольшое количество нерекристаллизованных областей, на которых происходит переход от интеркристаллитного к транскристаллитному усталостному разрушению. Однако основным механизмом является межкристаллитное разрушение. Размеры бороздок приблизительно коррелируют с размерами нерекристаллизованных областей.

Также наличие грубых первичных частиц приводит к хрупкому разрушению.

### **Заключение**

Получение ультрамелкозернистой структуры методом РКУ прессования не приводит к существенному улучшению усталостных свойств алюминиевого сплава 1421 по сравнению с относительно крупнозернистой микроструктурой, полученной после традиционной горячего прессования. S-N кривая не показывает каких-либо заметных изгибов. Поведение сплава 1421 в области малоциклового и высокоциклового усталости почти одинаково. III область нестабильного образования трещин отсутствует.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

- [1] Fridlyander I, Chuistova K, Berezina A, Kolobnev N 1992 *Aluminum - Lithium alloys. Structure and Properties* Naukova Dumka Kiev.
- [2] Fridlyander I, Khokhlatova L, Kolobnev N, Rendix K, Tempus G 2002 *Metal. Sci. Heat Treat.* 1 3.
- [3] Kaibyshev R, Shipilova K, Musin F, Motohashi Y 2005 *Mater. Sci. Eng.* 396 341.
- [4] Mogucheva A and Kaibyshev R 2008 *Phys. Met. Metall.* 106 424.
- [5] Kaibyshev R, Shipilova K, Musin F, Motohashi Y 2005 *Mater. Sci. Techn.* 21 408.