

УДК 621.185.532

А. В. Блохин, доц., канд. техн. наук;
С. Е. Бельский, доц., канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск)
Adel Abdel Basset Rashid
(Beirut Arab University, Lebanon, Tyre, Ливан)

ВЛИЯНИЕ ПРИМЕСНЫХ АТОМОВ ЗАМЕЩЕНИЯ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ УСТАЛОСТИ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Полученные ранее экспериментальным путем результаты исследований по влиянию частоты механических колебаний на усталостную долговечность и кинетику целого ряда структурно-чувствительных свойств (микротвердость, кинетику дислокационной структуры, электросопротивление, микродеформацию, амплитудно-временные зависимости рассеяния энергии) большой номенклатуры металлов и сплавов, показывают, что основные признаки усталостного процесса при увеличении частоты колебаний в основном сохраняются: форма усталостной кривой, значения ограниченных пределов выносливости, ориентация зарождающихся и распространяющихся усталостных трещин.

Для теоретического обоснования возможности использования повышения частоты нагружения при исследовании характеристик усталости сплавов на основе алюминия, полученных из вторичного сырья основная задача заключается в выявлении причин количественного различия характеристик усталости, полученных при разных частотах нагружения, и в определении пределов низкочастотной выносливости по результатам высокочастотных испытаний.

Особенности структуры промышленных сплавов, особенно полученных из вторичного сырья, существенно усложняют физическую картину развития процесса усталостного разрушения материала и приводят к необходимости учета взаимодействия дислокаций с атомами примесей. В связи с тем, что многие детали, изготавливаемые с использованием вторичных материалов, работают в условиях повышенных температур (например, поршни и радиаторы) в разрабатываемой модели необходим учет и температурного фактора.

При разработке модели представлено, что в металлическом материале примесные атомы преимущественно являются атомами замещения с радиусами большими, чем атомы основы; так, что они притягиваются к области находящейся под экстраплоскостью и в этих положениях обладают отрицательной энергией связи. Соответственно, при воздействии внешнего упругого напряжения переменного знака

такие атомы будут препятствовать движению сегмента. Это означает, что в подобном рассмотрении значение амплитуды внешнего напряжения эффективно уменьшается. Соответственно дифференциальное уравнение, описывающее малые колебания отрезка в поле заданного знакопеременного напряжения, целесообразно представить в следующем виде:

$$A \frac{\partial^2 \zeta}{\partial t^2} + B \frac{\partial \zeta}{\partial t} - C \frac{\partial^2 \zeta}{\partial y^2} = \left(b\sigma - \frac{bG\epsilon c_0}{4} \exp\left[\left(\frac{W}{kT}\right)\right] \right) \sin \omega t$$

После ряда преобразований было получено выражение, позволяющее получить значение напряжения внешних знакопеременных сил, отвечающее по сути циклическому пределу упругости, который учитывает влияние температуры и примесных атомов:

$$\sigma = \frac{Gb}{1} \left[\frac{6}{\pi(1-\mu)} \left(1 + \left(\frac{\omega B l^2 \pi(1-\mu)}{4Gb^2} \right)^2 \right) + \frac{l\epsilon c_0}{4b} \exp\left(\frac{W}{kT}\right) \right].$$

Используя полученное выражение, были построены кривые, позволяющие проанализировать частотную зависимость критических напряжений в исследованном частотном диапазоне при различных частотах нагружения и температурах. С ростом частоты внешней знакопеременной силы отмечается рост критических напряжений для исследованного диапазона температур (0-150°C). В то же время, с ростом температуры происходит смещение кривых в область более низких напряжений без изменения формы кривых, т.е. с ростом температуры характер частотной зависимости, полученной на основании теоретических исследований, сохраняется.

Полученная зависимость критических напряжений начала процесса усталостного разрушения от частоты знакопеременных колебаний позволяет уточнить физическую модель развития процесса усталостного разрушения исследуемых алюминиевых сплавов. Следует отметить, что температура воздействует на движение дислокационного отрезка двояким образом; через коэффициент динамической вязкости, который при температурах порядка и больше температуры Дебая является линейной функцией температуры, с одной стороны, и через упругие силы взаимодействия сегмента с примесями в дальнедействующих полях напряжений.