

А.В. Блохин, канд. техн. наук., доц.;
А.И. Сурус, канд. техн. наук., доц.;
М.Н. Пищов, канд. техн. наук., доц.;
Я.И. Нестерова, студ.
(БГТУ, г. Минск)

ОСОБЕННОСТЬ РАЗРУШЕНИЯ ОБРАЗЦОВ ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ, ИЗГОТОВЛЕННЫХ ИЗ ВТОРИЧНОГО СЫРЬЯ ПРИ НАГРУЖЕНИИ ЗНАКОПЕРЕМЕННЫМ ИЗГИБОМ

Введение. Специфика использования литейных алюминиевых сплавов связана с необходимостью учета их структуры после литья, а также пористости при оценке возможности использования таких материалов для изготовления деталей машин и элементов конструкций, работающих в условиях циклического нагружения. Неоднородность структуры, особенно характерная для сплавов с использованием вторичного сырья, не может не сказаться и на механизме усталостного разрушения данных материалов.

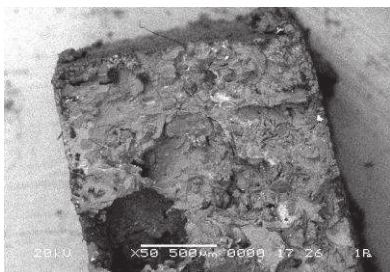
Основная часть. Целью работы было на основании фактографического анализа усталостных изломов образцов для испытаний, установить какое влияние оказывает изменение технологии плавки на развитие процесса усталостного повреждения. Для этого использовался сканирующий микроскоп на изломах образцов, которые подвергались нагружению знакопеременным изгибом в диапазоне частот 0,3-18 кГц. Нагружение образцов проводилось на выбранных уровнях напряжений вплоть до полного их разрушения. В качестве базового варианта исследовались образцы из сплава 0051, близким по химическому составу АК8МЗ, выполненного под покровным флюсом (33% KCl, 67% NaCl с продувкой рафинирующим флюсом (45 % NaCl, 15% KCl, 40% AlF₃). Подобную обработку применяют на многих предприятиях, изготавливающих детали из литейных алюминиевых сплавов. Также были изучены образцы из сплава 0052, также близкого по составу АК8МЗ, но обработанного дополнительно модифицирующе-рафинирующим комплексом, в количестве 0,05% от массы расплава. Образцы для испытаний вырезались из слитков, полученных литьем в кокиль, и представляли собой плоские балочки с прямоугольным поперечным сечением (2×6 мм) с уширением на одном из концов до 15 мм для обеспечения надежного крепления на хвостовике концентраторе.

На снимках изломов образцов для испытаний видны поры и неметаллические включения (рис. 1, а; 2, а; 3, а и 4, а), являющиеся концентраторами напряжений и снижающие усталостные характеристики материалов. Следует отметить, что у образцов, полученных из сплава 0052 размер пор существенно меньше. Для всех рассматриваемых образцов в связи с повышенной хрупкостью литейного сплава характерны участки циклического скола. Для центральной части образца характерен ямочный рельеф. Долом в большинстве случаев происходит по механизму межзеренного хрупкого разрушения.

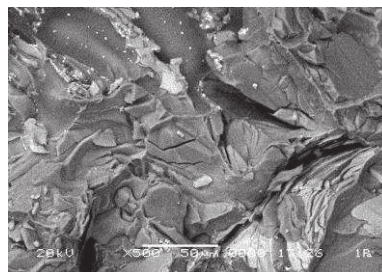
Для образцов из материала 0051, испытанных на низкой частоте (0,3 кГц) в очаге разрушения можно наблюдать зону сдвига, ориентированную под некоторым углом к плоскости излома (рис. 1, б). Обращает на себя внимание большое количество микротрещин. В зоне роста трещины участки циклического скола становятся все более крупными. Это связано с тем, что вблизи очага разрушения из-за малого уровня напряжений в устье трещины скольжение происходит по одной из кристаллографических плоскостей. При дальнейшем росте трещины скольжение охватывает все новые и новые плоскости и происходит по всему зерну. При большом увеличении (рис. 1, б и 2, б) на участках циклического скола можно наблюдать усталостные бороздки. С повышением частоты испытаний, из-за меньшего времени пребывания материала под нагрузкой, в каждом цикле в большей мере проявляются признаки пластической деформации. Участки циклического скола уступают место ямочному микрорельефу. Подобный вид излома согласуется с результатами испытаний, показывающих существенное повышение усталостной долговечности материала с возрастанием частоты. В целом частота испытаний не повлияла существенно на механизм усталостного разрушения.

Технология выплавки сплавов в значительной мере меняет картину усталостного разрушения. Рис. 3 и 4 показывают, что на всех стадиях разрушения развитие трещины сопровождается определенной пластической деформацией, о чем свидетельствует преобладание ямочного микрорельефа (рис. 4, б) и большое количество полос скольжения (рис. 3, б). В зоне усталостного разрушения участки циклического скола почти не встречаются. С повышением частоты испытаний полосы скольжения сменяются участками вязкого разрушения, наиболее характерными на определенном удалении от первичных пар. Это свидетельствует о большей циклической деформации на поверхности излома сплава 0052, а, следовательно, о лучшем сопротивлении данного материала развитию трещины, что подтверждается результатами усталостных испытаний. Применение модифицирующе-

рафинирующих комплексов обеспечило не только дробление фаз Al_3Fe , но и лучшую связь игл железосодержащей фазы с матрицей. Как видно на рисунке 4 б иглы Al_3Fe (светлого цвета) практически не участвуют в зарождении и развитии усталостных трещин, что также повышает сопротивление данного материала разрушению.



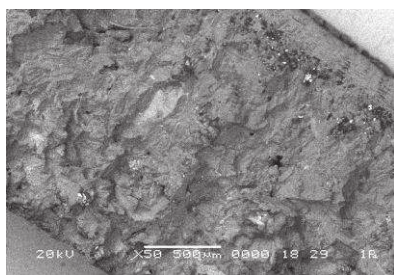
a



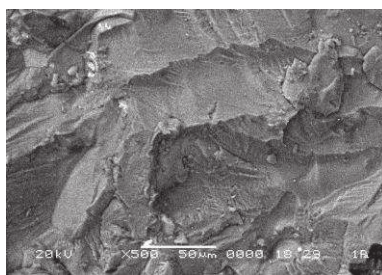
б

a – x50; *б* – x500

Рисунок 1 – Усталостный излом сплава 0051 частоте испытаний 0,3 кГц



a



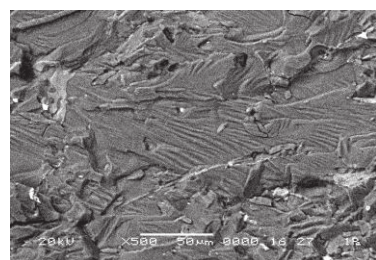
б

a – x50; *б* – x500

Рисунок 2 – Усталостный излом сплава 0051 при частоте испытаний 18 кГц



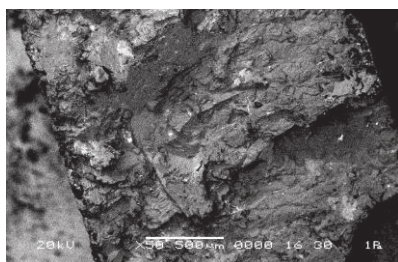
a



б

a – x50; *б* – x500

Рисунок 3 – Усталостный излом сплава 0052 при частоте испытаний 0,3 кГц



a



б

a – x50; *б* – x500

Рисунок 4 – Усталостный излом сплава 0052 при частоте испытаний 18 кГц

Заключение. Таким образом, результаты исследования свидетельствуют об определенном различии процесса развития усталостного разрушения образцов для испытаний, изготовленных из сплавов 0051 и 0052. Начальная стадия разрушения сплава 0051 особенно при низкой частоте нагружения связана с образованием фасеток циклического скола, а на более поздних стадиях развития трещины доминирует ямочный микрорельеф. Усталостное разрушение сплава 0052 на всех стадиях развития трещины сопровождается большей пластической деформацией, о чем свидетельствует ямочный микрорельеф поверхности излома, а межзеренное разрушение обусловлено предварительным наклепом материала в процессе циклического деформирования. Такой механизм разрушения, по сути, мало чем отличается от разрушения деформированных алюминиевых сплавов, что коррелирует с результатами усталостных испытаний.

ЛИТЕРАТУРА

1. Усталостные испытания на высоких частотах нагружения / В. А. Кузьменко [и др.]; под общ. ред. В.А. Кузьменко – Киев.: Наукова думка, 1979. – 335 с.
2. Бабаков, И.М. Теория колебаний / И.М. Бабаков – М.: Наука, 1968. – 560 с.
3. МР 91-83. Методические рекомендации: Расчеты и испытания на прочность: Метод испытаний на усталость при высоких звуковых частотах поперечных колебаний образцов. – М.: Изд-во стандартов, 1984. – 25 с.
4. Блохин, А.В. Использование методов конечно-элементного моделирования для расчета напряженно-деформированного состояния элементов конструкций при циклическом изгибе / А.В. Блохин, А.М. Лось // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообраб. пром-сть. – 2008. – Вып. XVI. – С. 288–290.
5. Блохин, А.В. Методика расчета напряжений в опасном сечении плоских балочных образцов, нагружаемых знакопеременным изгибом / А.В. Блохин // Труды БГТУ. № 2 (140), Лесная и деревообраб. пром-сть. – 2011. – С. 291–294.