

ОБЩЕИНЖЕНЕРНЫЕ ВОПРОСЫ ЛЕСОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

УДК 621.785.532

Ф. Ф. Царук, кандидат технических наук, доцент (БГТУ);
С. Е. Бельский, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой (БГТУ);
Д. В. Куис, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой (БГТУ)

ВЛИЯНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ЖЕЛЕЗА И ЛАЗЕРНОГО УПРОЧНЕНИЯ НА ФРАКТОГРАФИЮ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ УСТАЛОСТНЫХ ИЗЛОМОВ ОБРАЗЦОВ ИЗ СПЛАВА АК8М3

Показано использование высокочастотного циклического нагружения для определения характера изменения усталостных свойств алюминиевого сплава АК8М3 с лазерным упрочнением.

The equipment and techniques of accelerated fatigue tests allowed to determine an optimum iron content in the secondary aluminium alloy АК8М3 strengthened by laser processing.

Введение. В настоящее время сплавы на основе алюминия благодаря наличию хороших служебных свойств по объему производства занимают в мире второе место после сплавов на основе железа. При этом следует отметить, что получение тонны первичного алюминия требует на порядок выше энергозатрат по сравнению с получением тонны сплава на основе железа. Поэтому весьма актуальной является задача всемерного увеличения использования вторичного алюминия, получение которого позволяет снизить энергозатраты до двадцати раз по сравнению с первичным при существенно меньшей экологической нагрузке на среду обитания. Известно, что в Европейском Союзе производство вторичных алюминиевых сплавов растет быстрее, чем производство первичных, причем переработкой вторичного сырья занимаются порядка двухсот заводов [1].

Для снижения трудоемкости и сокращения времени проведения усталостных испытаний, особенно при больших (до 10^8 циклов) базах, весьма перспективным является использование высоких частот механических колебаний, позволяющих за приемлемый промежуток времени обеспечить наработку значительного числа циклов. Так, для проведения испытаний на частоте 50 Гц и базе 10^8 циклов необходимо затратить 555 ч непрерывной работы (более 23 сут) испытательной установки, а проведение этих же испытаний на частоте 20 кГц – всего 1,3 ч, т. е. в 400 раз меньше времени. Особенно эффективным является использование данного метода исследований при проведении сравнительных испытаний [2].

Основная часть. Объектом исследований в данной работе являлись плоские балочные образцы толщиной 2,0 мм из вторичного алюминиевого сплава АК8М3 с различным содержанием

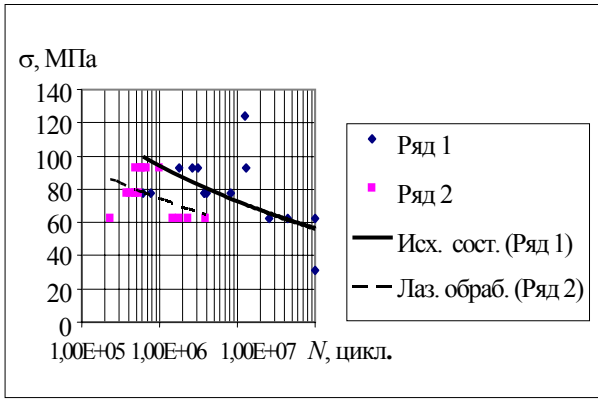
железа и разным состоянием поверхности (таблица). Общий вид образцов без лазерного воздействия с усталостным разрушением и с лазерным воздействием без усталостной трещины приведены в литературе [3].

Нагружение образцов производилось на специально разработанной исследовательской установке с резонансной частотой колебаний $f_{рез} = 18$ кГц.

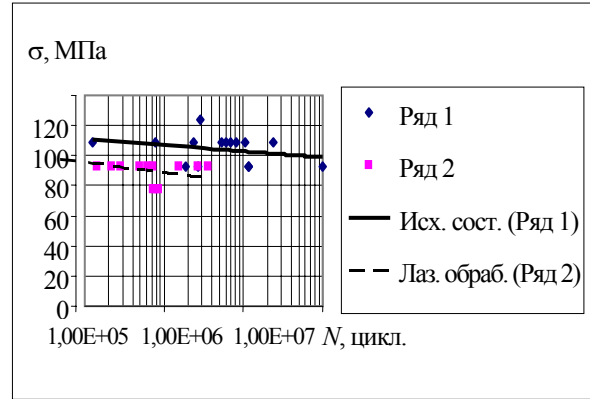
Характеристики исследуемого сплава

Маркировка сплава	Содержание Fe, %	Технология получения и состояние поверхности
11	0,40	Плавка под покровно-рафинирующим флюсом (62% NaCl, 13% KCl, 25% NaF) + модифицирование по пат. № 57584А, затем литье и термообработка по режиму Т6.
33	0,92	Импульсная лазерная обработка на установке КВАНТ-12 с оплавлением поверхности, время импульса 4 мс, длина волны 0,6943 мкм, перекрытие пятен – 30%. Зона лазерного воздействия глубиной около 200 мкм
55	1,45	

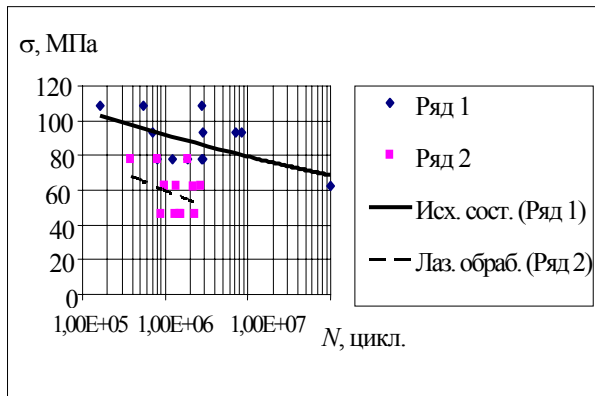
Образцы подвергались нагружению на второй собственной форме колебаний. Размеры и форма образцов были выбраны такими, что усталостное разрушение происходило в месте максимальных циклических напряжений, расположенных примерно посередине прямолинейного участка, что позволяло удобно исследовать изменение свойств материала и развитие усталостной трещины.



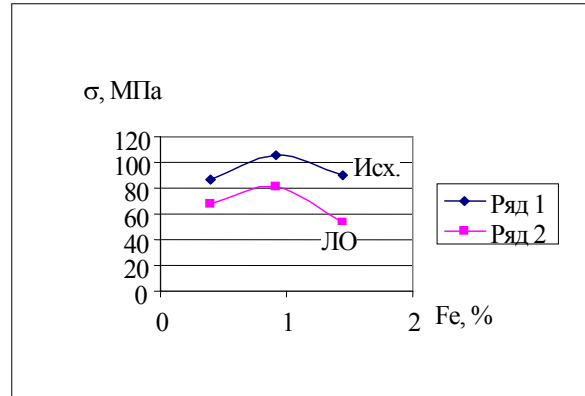
а



б



в



г

Рис. 1. Усталостные кривые для образцов с различным содержанием железа и влияние содержания железа в сплаве АК8МЗ (а, б, в) и лазерной обработки поверхности на ограниченный предел выносливости на базе $N = 2 \cdot 10^6$ циклов (г):
 а – 0,40% Fe; б – 0,92% Fe; в – 1,45% Fe;
 Исх. – исходное состояние; ЛО – лазерная обработка

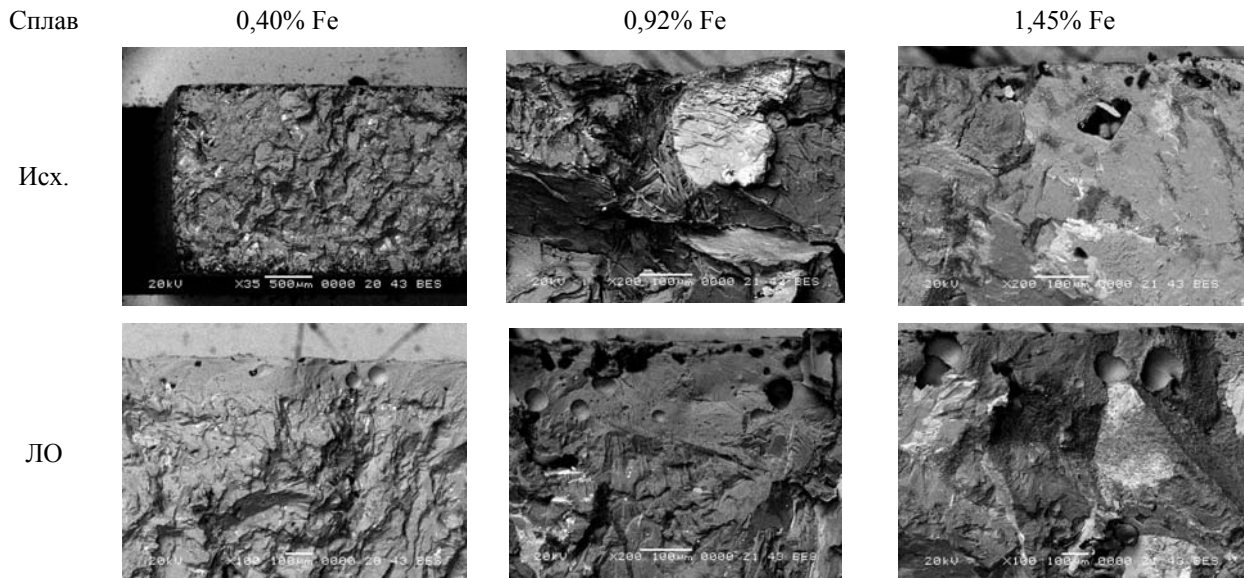


Рис. 2. Фрактография высокочастотных усталостных изломов для образцов с различным содержанием железа в сплаве АК8МЗ.
 Исх. – исходное состояние; ЛО – лазерная обработка

Кинетику повреждения образца оценивали по падению резонансной частоты колебаний с развитием усталостной трещины [4]. После достижения определенной величины падения частоты испытания прекращались. Исследования полученной диаграммы распределения усталостных трещин по длине образцов позволили установить хорошее совпадение места появления усталостных трещин с местоположением максимума расчетной величины циклических напряжений для данной формы колебаний образца.

Усталостные кривые для сплава с различными содержанием железа и состоянием поверхности представлены на рис. 1, а–в, а фрактография усталостных изломов на рис. 2.

Как можно заметить из представленных фототрафий, лазерное воздействие существенно влияет на поведение исходной литой структуры всех сплавов и приводит к значительным ее изменениям. Так, наряду с увеличением однородности структуры лазерная обработка привела к появлению в зоне термического влияния газовых полостей округлой формы, через которые и прошла усталостная трещина.

Выводы. 1. Использование высокочастотного нагружения позволяет проводить сравнительные испытания конструкционных материалов с существенным ускорением процесса исследований и с повышенной достоверностью результатов за счет большего количества испытанных объектов при приемлемом уровне трудозатрат и экономии энергоресурсов.

2. Экспериментально установлена оптимальная величина процентного содержания железа в исследуемом сплаве с точки зрения повышенного уровня его усталостных свойств, которую можно принять в пределах одного процента, с допустимой величиной отклонения не более половины процента Fe. Можно предположить, что данное влияние примеси железа сохранится и для других видов обработки поверхности данного сплава.

3. Установлено, что лазерная обработка существенно влияет как на внешний вид поверхности исследованных вариантов сплава, делая ее более шероховатой, так и на структурные составляющие поверхностных слоев, приводя к оптически более однородной структуре, одновременно вызывая появление газовых включений существенной величины, по которым и проходит фронт усталостного повреждения.

4. Совокупность данных изменений неоднородно влияет на поведение усталостных характеристик для всех исследованных вариантов сплава. С одной стороны, для фронта усталостной трещины слой лазерного воздействия из-за отсутствия значительных неоднородностей в объеме, способствующих увеличению концен-

трации слабых элементов структуры, представляет большее сопротивление ее развитию по сравнению с показателями исходной структуры. Но в то же время, с другой стороны, шероховатость поверхности и газовые включения под поверхностным слоем способствуют зарождению данных трещин и, таким образом, являются факторами, существенно снижающими общие характеристики усталости. Представляется возможным, что подбором параметров лазерного воздействия на данный класс сплавов можно получать однородные структуры, не имеющие дефектов в виде крупных газовых включений и, благодаря этим обстоятельствам, обладающие повышенными характеристиками сопротивления усталости.

5. Таким образом, установлено, что использованные в данной работе параметры лазерной технологии упрочнения не могут быть рекомендованы для повышения уровня усталостных характеристик исследованного сплава. Для правильного выбора параметров лазерного упрочнения необходимо проведение дальнейших исследований в данном направлении.

6. Результаты данной работы являются хорошей иллюстрацией эффективного применения метода высокочастотного нагружения [5] для оперативного выявления дефектов, привносимых либо исследуемой технологией, или же нарушением традиционной упрочняющей технологии, которые существенно влияют на усталостные характеристики конструкционных материалов.

Литература

1. Ефименко, Г. Г. Сталь и альтернативные материалы. Проблемы экономики и экологии / Г. Г. Ефименко, И. Г. Михеева, Т. Н. Павлышин // Металл и литье Украины. – 1997. – № 8–9. – С. 3–8.

2. Кузьменко, В. А. Усталостные испытания на высоких частотах нагружения / В. А. Кузьменко. – Киев: Наук. думка, 1979. – 336 с.

3. Царук, Ф. Ф. Влияние содержания железа и лазерной обработки на высокочастотные усталостные свойства сплава АК8МЗ / Ф. Ф. Царук, С. Е. Бельский // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообраб. пром-сть. – 2010. – Вып. XVII. – С. 323–326.

4. Estimation of influence of frequency of flexural vibrations of structural sensitive characteristics of 20x13 steel / I. Dovgyallo [et al.] // The 4Th. International Symposium on Creep and Coupled Processes. – Bialostok, 1992. – P. 57–63.

5. Tsaruck, F. Method of the accelerated prediction of fatigue properties of metals at normal and heightened temperatures by results of high-frequency tests, Proceedings of III international symposium on tribo-fatigue ISTF 2000 / F. Tsaruck, A. Novitskiy. – China: Hunan University Press, 2000. – P. 193–195.

Поступила 01.04.2012