

УДК 621.785.532

Ф. Ф. Царук, канд. техн. наук, доцент (БГТУ);
С. Е. Бельский, канд. техн. наук, доцент (БГТУ)

ВЛИЯНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ЖЕЛЕЗА И ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКИ НА ВЫСОКОЧАСТОТНЫЕ УСТАЛОСТНЫЕ СВОЙСТВА СПЛАВА АК8М3

Показано использование высокочастотного циклического нагружения как метода ускорения усталостных испытаний материалов.

The equipment and techniques of accelerated fatigue tests allowed to determine an optimum iron content in the secondary aluminium alloy AK8M3 strengthened by laser processing.

Введение. В настоящее время в связи с высокой энергоемкостью получения первичных алюминиевых сплавов и наличием достаточно большой сырьевой базы вторичного сырья весьма актуальной становится проблема использования вторичных сплавов в качестве заменителей первичных. Однако из-за вредного влияния неизбежно присутствующих различного рода примесей в данных сплавах их свойства значительно отличаются от первичных, причем не в лучшую сторону. Для достижения нужных свойств необходимы исследования влияния различного рода добавок, технологии переработки и поверхностного упрочнения на служебные характеристики данных сплавов, например лазерной обработки, обеспечивающей существенное повышение твердости и износостойкости. Одним из важнейших свойств таких сплавов является сопротивление усталостному разрушению под действием циклических нагрузок, определение величины которого наталкивается на значительные трудности.

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 цикл. 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 [1, 2].

Основная часть. Объектом исследований являлись плоские балочные образцы толщиной 2,0 мм из вторичного алюминиевого сплава АК8М3 с различным содержанием железа и разным состоянием поверхности (рис. 1, таблица).



Рис. 1. Общий вид образцов:

a – без лазерного воздействия с усталостным разрушением;
б – с лазерным воздействием без усталостной трещины

Характеристики исследуемого сплава

Маркировка	Содерж. 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. 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
33	0,92	
55	1,45	

Нагружение образцов производилось на специально разработанной исследовательской установке, работавшей с резонансной частотой колебаний $f_{рез} = 18$ кГц [3], схема и общий вид которой представлены на рис. 2.

Образцы колебались по 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.

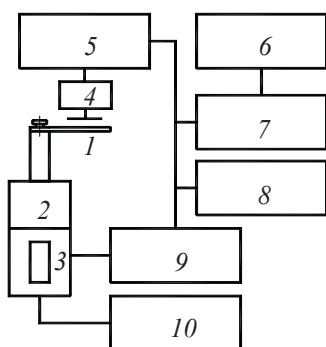
Кинетику повреждения образца оценивали по падению резонансной частоты колебаний с развитием усталостной трещины. После достижения определенной величины падения частоты испытания прекращались. Диаграмма распределения усталостных трещин по длине образцов представлена на рис. 3.

Усталостные кривые для сплава с различным содержанием железа и с различным состоянием поверхности представлены на рис. 4, а–в. Для выявления влияния содержания Fe на высокочастотные усталостные свойства сплава в исходном

состоянии были получены усталостные кривые, представленные на рис. 4, а, а при лазерной обработке поверхности – на рис. 4, б. Как видно из полученных данных, примесь железа для данного сплава в исследованном диапазоне концентраций не оказывает существенного влияния на характер поведения кривых усталости как для исходного состояния, так и для образцов, поверхности которых обработали лазерным излучением. Можно отметить только несколько больший разброс экспериментальных точек для обработанных образцов по сравнению с исходным состоянием.

Нужно отметить, что обработка поверхности существенно влияет на величину предела выносливости для всех баз испытаний. Так, например, для сплава с содержанием 1,45% Fe для базы испытаний $N = 10^6$ цикл. ограниченный предел выносливости для исходного состояния составляет порядка 92 МПа, в то время как для упрочненных образцов, та же характеристика составляет около 60 МПа, т. е. уменьшается более чем в полтора раза.

Характер влияния содержания железа на усталостные свойства исследованного сплава является немонотонным для обоих случаев.



а

б

Рис. 2. Схема (а) и фрагмент (б) испытательной установки:

1 – образец; 2 – концентратор; 3 – магнитоотриктор; 4 – виброметр;
5 – прибор стабилизации амплитуды; 6 – цифровая печать; 7 – частотомер;
8 – осциллограф; 9 – усилитель; 10 – блок подмагничивания

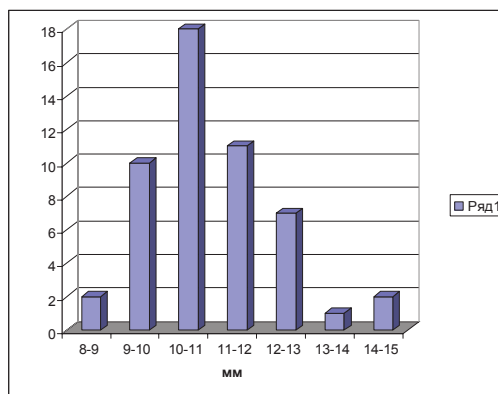
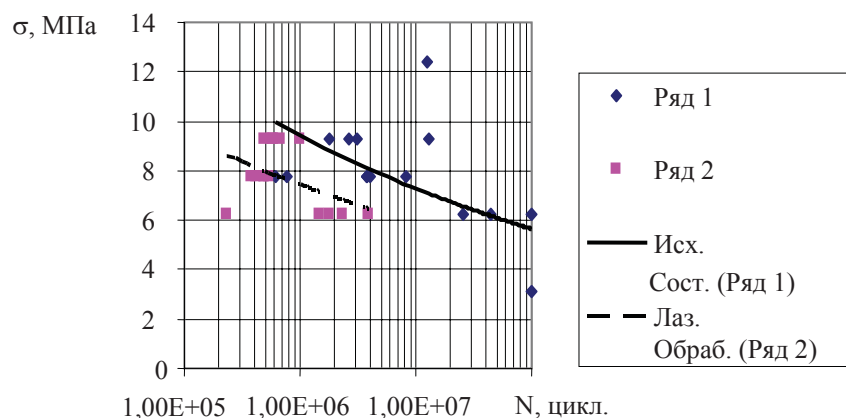
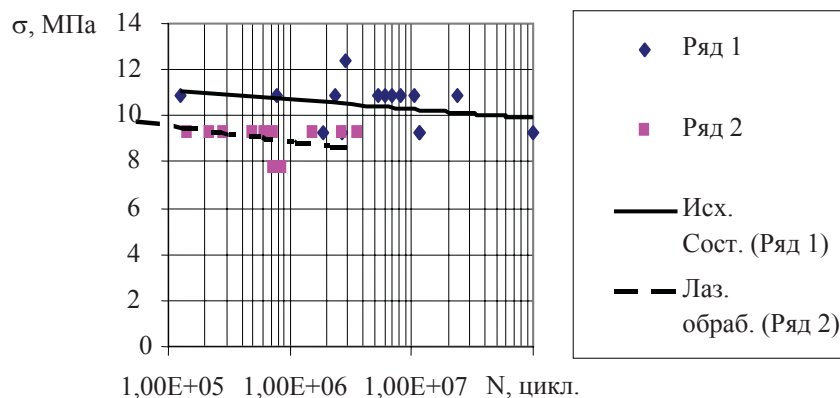


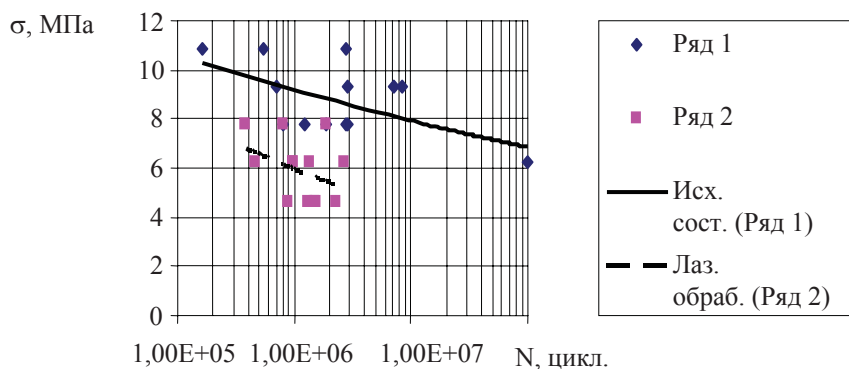
Рис. 3. Диаграмма распределения усталостных трещин по длине образцов



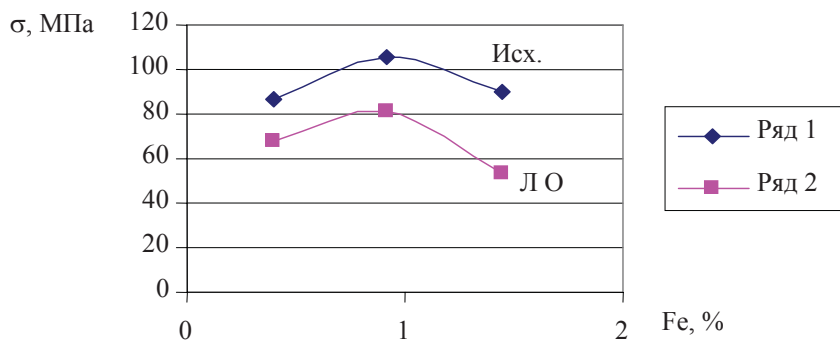
а



б



в



г

Рис. 4. Усталостные кривые для образцов с различным содержанием железа и влияние содержания железа в сплаве АК8М3 (а, б, в) и лазерной обработки поверхности на ограниченный предел выносливости на базе $N = 2 \cdot 10^6$ цикл. (г): а – 0,40% Fe; б – 0,92% Fe; в – 1,45% Fe; Исх – исходное состояние; ЛО – лазерная обработка

Наиболее наглядно поведение сплава с различным содержанием примесей и состоянием поверхности можно проследить на рис. 4, з, из которого видно, что наибольшим сопротивлением усталостному повреждению обладает сплав с содержанием Fe около одного процента для любого состояния поверхности для выбранной базы испытаний.

Заключение. 1. Таким образом, 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 усталостных свойств, которую можно принять в пределах одного процента, с допустимой величиной отклонения не более половины процента.

3. Очевидно, что использованные в данной работе параметры лазерной технологии упроч-

нения не могут быть рекомендованы для повышения уровня усталостных характеристик исследованного сплава. Для правильного выбора параметров лазерного упрочнения необходимо проведение дальнейших исследований в данном направлении.

Литература

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

2. 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. – Hunan University Press, China, 2000. – P. 193–195.

3. 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.

Поступила 01.04.2010