

Ф.Ф. Царук, С.Е. Бельский
F.F. Tsaruk, S.E. Belskiy

Белорусский государственный технологический университет,
Минск, Республика Беларусь
Belarusian state technological university, Minsk, The Republic of Belarus

**ВЛИЯНИЕ ЛАЗЕРНОГО УПРОЧНЕНИЯ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ
УСТАЛОСТИ ВТОРИЧНОГО АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА
THE EFFECT OF LASER STRENGTHENING
ON FATIGUE CHARACTERISTICS OF SECONDARY ALUMINIUM ALLOY**

Аннотация: Изучено влияние состава, а также лазерной обработки на характеристики усталости вторичного литейного алюминиевого сплава АК8МЗ. Определено рациональное количество железа в сплаве, проанализирована фратография высокочастотных усталостных изломов.

Summary: There have been examined the effect of composition and laser processing on fatigue characteristics of secondary aluminium casting alloy АК8МЗ. The rational part of iron in the alloy has been determined as well as fractography of high frequent fatigue brakeage has been analyzed.

Ключевые слова: Алюминиевые сплавы, поверхностное упрочнение, характеристики усталости, испытания, частота.

Key words: Aluminium alloys, surface strengthening, fatigue characteristics, testing, frequency.

Алюминиевые сплавы 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 производство вторичных алюминиевых сплавов растет быстрее, чем производство первичных, причем переработкой вторичного сырья занимаются порядка двухсот заводов [1].

Отсутствие собственных сырьевых и энергетических ресурсов для производства первичного алюминия в Республике Беларусь делает весьма актуальной проблему использования вторичных сплавов в качестве заменителей первичных. Однако из-за вредного влияния неизбежно присутствующих различного рода примесей свойства данных сплавов значительно отличаются от первичных, причем не в лучшую сторону. Для достижения нужных свойств проведены исследования влияния различного рода лигатур, технологии переработки, а также термической обработки на служебные характеристики данных сплавов [2, 3]. Использование лазерной обработки, обеспечивает существенное повышение твердости, износостойкости, а также сопротивление коррозии литейных алюминиевых сплавов [4-6].

Важнейшей служебной характеристикой таких материалов, позволяющей обоснованно использовать изготовленные из них детали в напряженных условиях, является сопротивление усталостному разрушению под действием циклических нагрузок, определение величины которого возможно только экспериментальным путем и наталкивается на значительные трудности. Снижение трудоемкости и сокращение времени проведения усталостных испытаний, особенно при больших (до 10^8 циклов) базах обеспечивается использованием высоких частот механических колебаний, позволяющих за приемлемый промежуток времени обеспечить наработку значительного числа циклов.

В данной работе исследовались плоские балочные образцы толщиной 2,0 мм из вторичного алюминиевого сплава АК8МЗ с различным содержанием железа и состоянием поверхности (таблица 1). 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, работавшей с резонансной частотой колебаний $f_{рез} = 18$ кГц [7, 8]. 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.

Усталостные повреждения образца оценивали по падению резонансной частоты колебаний с развитием трещины [9]. 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.

Таблица 1 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 Тб. 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	

Результаты испытаний сплава с различными содержанием железа и состоянием поверхности представлены на рисунке 1. Для выявления влияния содержания Fe на высокочастотные усталостные свойства сплава в исходном состоянии были получены усталостные кривые, представленные на рисунке 1а, при лазерной обработке поверхности – на рисунке 1б. 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

большой разброс экспериментальных точек для обработанных образцов по сравнению с исходным состоянием.

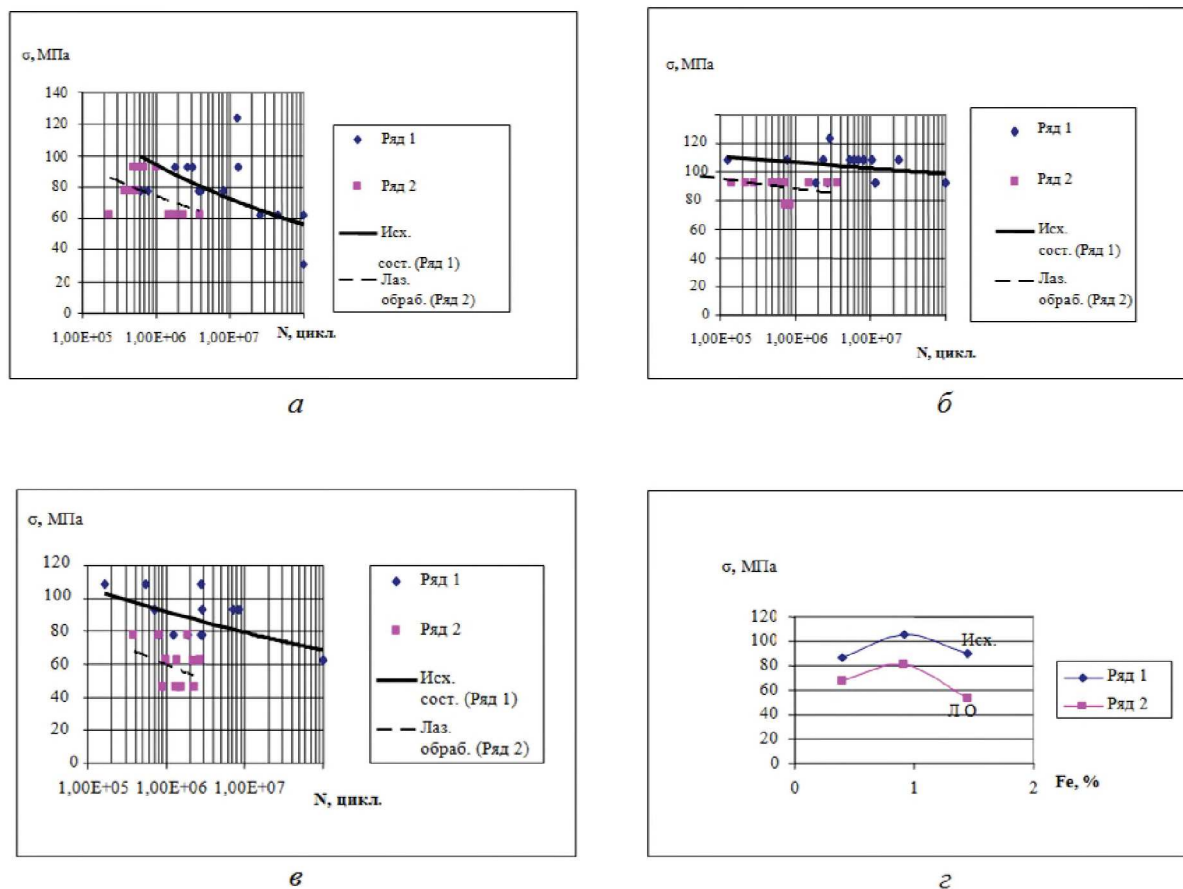


Рисунок 1

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 $N = 2 \cdot 10^6$ цикл. (з) а – 0,40% Fe; б – 0,92% Fe; в – 1,45% Fe; Исх – исходное состояние; ЛО – лазерная обработка

Упрочнение поверхности лазерной обработкой 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 только около 60 МПа, т. е. уменьшается более чем в полтора раза. Влияние содержания железа на усталостные свойства исследованного сплава является немонотонным для обоих случаев.

Наиболее наглядно поведение сплава с различным содержанием примесей и состоянием поверхности можно проследить на рисунке 1 г, из которого видно, что наибольшим сопротивлением усталостному повреждению обладает сплав с содержанием Fe около одного процента для любого состояния поверхности для всех выбранных баз испытаний.

Для более наглядной иллюстрации процесса разрушения образцов показаны фотографии мест усталостного повреждения с различным увеличением (рисунок 2). Как можно заметить из представленных фотографий, лазерное воздействие существенно влияет на поведение исходной литой структуры всех

сплавов и приводит к значительным ее изменениям. Отчетливо видно, что в толщине слоя термического воздействия, которая для всех сплавов составила порядка 170–190 мкм невозможно рассмотреть отдельные структурные составляющие, в отличие от нижележащих слоев, сохранивших свою литую, крупнозернистую структуру с отчетливо видимыми границами отдельных зерен и включений, а также извилистой линией движения усталостной трещины.

Зона лазерного воздействия характеризуется существенной оптической гомогенностью структуры, плавным переходом от игольчатого строения в области нижележащих слоев к поверхности, а также равномерным движением фронта усталостной трещины, что проявляется в виде более спокойной, плоской поверхности зоны разрушения, в отличие от образцов в исходном (нетермообработанном состоянии). Наряду с увеличением гомогенности структуры, лазерная обработка также приводила к появлению в зоне термического влияния газовых полостей округлой формы, которые характерны для всех исследованных вариантов сплава и составляют существенную часть приповерхностной площади. Из-за нарушения сплошности сечения образца усталостная трещина, как видно из иллюстраций, проходит через наибольшую площадь сечения данных газовых включений, что наряду с ухудшением параметров шероховатости, вызванным лазерной обработкой, является, по нашему мнению, одной из основных причин выявленного в ходе проведения данных испытаний снижения усталостных характеристик упрочненных сплавов по сравнению с их исходным состоянием.

Таким образом, 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.

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 гомогенной структуре, одновременно вызывая появление газовых включений существенной величины, по которым и проходит фронт усталостного повреждения.

Совокупность исследованных изменений неоднозначно 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 концентрации 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.

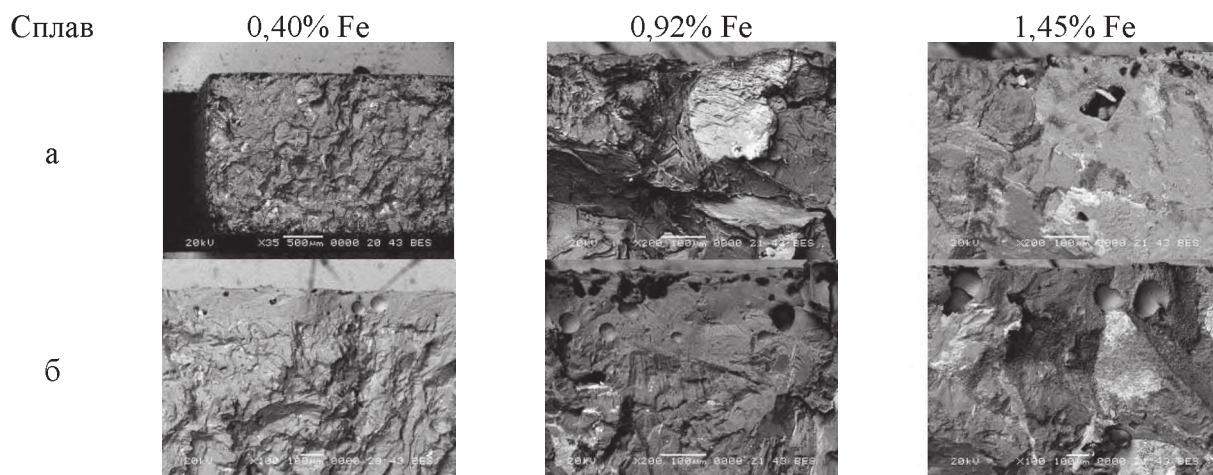


Рисунок 2

Фрактография высокочастотных усталостных изломов для образцов с различным содержанием железа в сплаве АК8МЗ: а – исходное состояние; б – лазерная обработка

Библиографический список

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. Блохин, А.В. Влияние технологических факторов на характеристики усталости литейных алюминиевых сплавов полученных с использованием вторичного сырья / В сборнике: *Прогрессивные технологии и процессы. Сборник научных статей 2-й ММНПК*, 2015, с.146-149.
3. Блохин, А.В. Повышение усталостных характеристик литейных алюминиевых сплавов, полученных с использованием вторичного сырья методом термоциклической обработки // *Литье и металлургия*, 2009. № 4, с. 72-75.
4. Volchok I.P. Increasing of Microhardness of Al-Si Alloys by Laser Treatment / I.P. Volchok, V.V. Girzhon, I.V. Tantsiura // *Металлофизика и новейшие технологии*. – Киев: ИМФ НАНУ, - 2011, т.33, № 8. – С. 1111-1118.
5. Беліков С.Б. Корозійна стійкість вторинних силумінів після лазерної обробки / С.Б. Беліков, І.П. Волчок, Н.В. Широковокова, В.М. Повзло // *Фізико-хімічна механіка матеріалів. Спецвипуск «Проблеми корозії та протикорозійного захисту матеріалів»*, 2014. - № 10. – С.264-267.
6. Широкобокова Н.В. Влияние лазерной обработки на износостойкость вторичных силуминов / Н.В. Широкобокова // *Строительство, материаловедение, машиностроение: сб. научн. трудов*. - Вып. 64. – Днепропетровск: ПГАСА, 2012. – с. 458-462.
7. Модернизация стендов для ускоренного определения характеристик усталости металлических материалов / Блохин А.В., Царук Ф.Ф. // *Сборник трудов IV Всероссийской НПК Ремонт. Восстановление. Реновация.-Уфа*, 2014.
8. А.В. Блохин, А.М. Лось, И.И. Тумашик. Использование метода конечных элементов для определения усилия прижима образца в устройстве крепления при усталостных испытаниях / *Бюллетень научных работ Брянского филиала МИИТ*. 2013. № 2 (4). С. 25-28.
9. 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.

Сведения об авторах

1. Царук Федор Федорович – кандидат технических наук, доцент кафедры деталей машин и подъемно-транспортных устройств БГТУ, Республика Беларусь, г. Минск, ул. Свердлова 13а, тел. 8 (10 375) 17 226 09 75, e-mail: dmiptu@belstu.by.

2. Бельский Сергей Евграфович – кандидат технических наук, заведующий кафедрой «Детали машин и подъемно-транспортные устройства» БГТУ, Республика Беларусь, г. Минск, ул. Свердлова 13а, тел. 8 (10 375) 17 226 09 75, e-mail: dmiptu@belstu.by.

Authors' personal details

1. Fedor Tsaruk - PhD (Engineering), assistant professor, assistant professor of the department ‘Machine elements and hoisting and conveying equipment’ Belarusian State Technological University, The Republic of Belarus, Minsk, Sverdlova Str. 13a, tel. 80172260975.

2. Sergey Belskiy – PhD (Engineering), assistant professor, head of the department ‘Machine elements and hoisting and conveying equipment’ Belarusian State Technological University, The Republic of Belarus, Minsk, Sverdlova Str. 13a, tel. 80172260975.

УДК 621.791.92

И.Р. Шакиров
I.R. Shakirov

ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ, Уфа, Россия
FSBEI HE Bashkir SAU, Ufa, Russia

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ВАЛОВ ЭЛЕКТРОКОНТАКТНОЙ ПРИВАРКОЙ ДВУХ СТАЛЬНЫХ ПРОВОЛОК IMPROVING THE EFFICIENCY OF SHAFTS RESTORATION BY ELECTRIC RESISTANCE WELDING OF TWO STEEL WIRES

Аннотация: Электроконтактная приварка стальных проволок является эффективным способом восстановления валов с износами до 0,6...0,8 мм на сторону. Приваркой одновременно двух присадочных проволок можно повысить производительность и эффективность процесса восстановления. Путем создания дополнительных усилий на формируемую контактную площадку, можно увеличить прочность формируемого в твердой фазе сварного соединения.

Abstract: Electrocontact welding steel wires is an effective way of restoration of shafts with wear to 0,6...0,8 mm on the side. By welding at the same time of two steel wires it is possible to increase productivity and efficiency of restoration process. By creation of additional efforts to the formed contact platform it is possible to increase durability formed in a firm phase welded joint.

Ключевые слова: эффективность; восстановление; электроконтактная приварка; металлопокрытие; стальная проволока.

Keywords: efficiency; restoration; electrocontact welding; metal coating; steel wire.