

КИНЕТИКА УСТАЛОСТНЫХ СВОЙСТВ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ ПРИ ВЫСОКОЧАСТОТНОМ НАГРУЖЕНИИ

Царук Ф.Ф., Пищов М.Н., Бельский С.Е.

*Белорусский государственный технологический университет,
Минск, Беларусь*

Ключевые слова: эксплуатация, сталь, поверхностное упрочнение, усталостные характеристики, шероховатость поверхности, микротвердость, температура, время.

Аннотация. Показано использование высокочастотного циклического нагружения для определения характера изменения усталостных свойств алюминиевого сплава АК8М3 с лазерным упрочнением. Нагружение образцов производилось на специально разработанной исследовательской установке, работавшей с резонансной частотой колебаний $f_{рез} = 18$ кГц. Образцы колебались по второй собственной форме колебаний. Установлено влияние состава графитизированных сталей на изменение усталостных свойств. Выявлена степень влияния содержания углерода, кремния и меди на ограниченный предел выносливости данных сталей.

KINETICS OF FATIGUE PROPERTIES OF METALS AND ALLOYS UNDER HIGH FREQUENCY LOADING

Tsaruk F.F., Pishchov M.N., Belsky S.E.

Belarusian State Technological University, Minsk, Belarus

Keywords: operation, steel, surface hardening, fatigue characteristics, surface roughness, microhardness, temperature, time.

Abstract. The use of high-frequency cyclic loading is shown to determine the nature of the change in the fatigue properties of an aluminum alloy АК8М3 with laser hardening. The loading of the samples was carried out on a specially designed research facility, which operated with a resonant frequency of vibrations $f_{res} = 18$ kHz. The samples vibrated according to the second eigenmode of oscillation. The influence of the composition of graphitized steels on the change in fatigue properties has been established. The degree of influence of the content of carbon, silicon and copper on the limited endurance limit of these steels is revealed.

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. Весьма важной 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 [1]. Весьма актуальным также является вопрос рационального применения графитизированных сталей. Комплекс свойств данной категории конструкционных материалов позволяет успешно использовать их в различных областях машиностроения.

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 555ч 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].

Объектом исследований в данной работе являлись плоские балочные образцы толщиной 2,0 мм из вторичного алюминиевого сплава АК8МЗ с различным содержанием железа и разным состоянием поверхности [3]. Такой же вид имели стальные образцы с различным содержанием углерода, кремния и меди. Всего было исследовано 15 серий по 10 образцов с содержанием углерода от 0,48 до 1,97%.

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

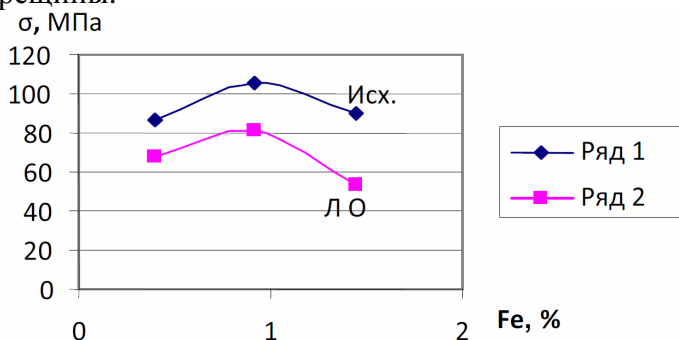


Рис. 1. Влияние содержания железа в сплаве АК8МЗ и лазерной обработки поверхности на ограниченный предел выносливости на базе $N = 2 \cdot 10^6$ цикл. (Исх – исходное состояние; ЛО – лазерная обработка)

Кинетику повреждения образца оценивали по падению резонансной частоты колебаний с развитием усталостной трещины. 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.

Влияние содержания железа в алюминиевом сплаве и лазерной обработки его поверхности на ограниченный предел выносливости показано на рисунке 1. Для анализа влияния содержания углерода на усталостные

свойства графитизированных сталей был исследован характер поведения ограниченного предела выносливости для базы испытаний $N = 10^6$ цикл. (рис. 2.).

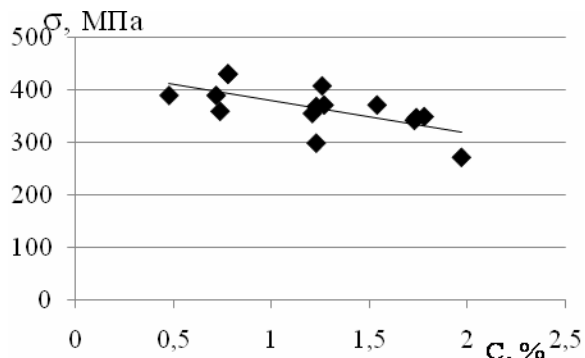


Рис. 2. Влияние углерода на предел выносливости

Как можно заметить из представленных результатов, как в исходном состоянии, так и при лазерном воздействии содержание железа существенно влияет на поведение предела выносливости трещина. Возможно установить оптимальную величину его процентного содержания 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 сохранится и для других видов обработки поверхности данного сплава.

В отличие от алюминиевого сплава, где можно установить оптимальную величину содержания железа, для графитизированных сталей углерод вызывает монотонное снижение высокочастотного предела выносливости с уровня от 400 МПа до 300 МПа.

Заключение. На основании приведенных исследований можно сделать следующие 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. Графитизированные стали показывают отсутствие оптимального содержания не только углерода, но и других легирующих элементов (кремния и меди) с точки зрения повышенного уровня усталостных свойств данных металлических сплавов.

4. Результаты данной работы являются хорошей иллюстрацией эффективного применения метода высокочастотного нагружения [3] для оперативного выявления дефектов, привносимых либо исследуемой технологией или же нарушением традиционной упрочняющей технологии, которые существенно влияют на усталостные характеристики конструкционных материалов.

Список литературы

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. – Киев: Наук. думка, 1979. – 336 с.
3. Царук Ф.Ф. Влияние содержания железа и лазерной обработки на высокочастотные усталостные свойства сплава АК8М3 / Ф.Ф. Царук, С.Е. Бельский // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообаб. пром-сть. – 2010. – Вып. XVII. – С. 323-326.

References

1. Efimenko G.G. Steel and alternative materials. Problems of Economics and Ecology / G.G. Efimenko, I.G. Mikheeva, T.N. Pavlyshyn // Metal and casting of Ukraine. – 1997. – No. 8-9. – P. 3-8.
2. Kuzmenko V.A. Fatigue tests at high loading frequencies. – Kiev: Nauk. Dumka, 1979. – 336 p.
3. Tsaruk F.F. Effect of iron content and laser treatment on the high-frequency fatigue properties of the AK8M3 alloy / F.F. Tsaruk, S.E. Belsky // Proceedings of BSTU. Ser. II, Forestry and woodworking. prom. – 2010. – Issue. XVII. – P.323-326.

Царук Федор Федорович – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры Материаловедение и проектирование технических систем	Tsaruk Fedor Fedorovich – candidate of technical sciences, associate professor, Department of Materials Science and Design of Technical Systems
Пищов Михаил Николаевич – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры Материаловедение и проектирование технических систем	Pishchov Mikhail Nikolaevich – candidate of technical sciences, associate professor, Department of Materials Science and Design of Technical Systems
Бельский Сергей Евграфович – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры Материаловедение и проектирование технических систем	Belsky Sergey Evgrafovich – candidate of technical sciences, associate professor, Department of Materials Science and Design of Technical Systems
mikhail_pishchou@mail.ru	

Received 10.02.2022