

12. Шкаликова В.П., Патрахальцев Н.Н. Применение нетрадиционных топлив в дизелях. М.: изд. Российского университета дружбы народов, 1993.

***Сведения об авторах***

1. Бедоева Светлана Владимировна – старший преподаватель кафедры техническая эксплуатация автомобилей, ФГБОУ ВО Дагестанский государственный аграрный университет имени М.М. Джамбулатова, г. Махачкала, ул. М. Гаджиева, 180, e-mail: bedsveta@yandex.ru.

2. Магомедова Заира Имрановна - старший преподаватель кафедры техническая эксплуатация автомобилей, ФГБОУ ВО Дагестанский государственный аграрный университет имени М.М. Джамбулатова, г. Махачкала, ул. М. Гаджиева, 180.

3. Бабаева Альбина Вагифовна - старший преподаватель кафедры автомобильный транспорт, ФГБОУ ВО Дагестанский государственный аграрный университет имени М.М. Джамбулатова, г. Махачкала, ул. М.Гаджиева, 180.

***Authors' personal details***

1. Bedoeva Svetlana - senior lecturer in technical maintenance of cars, FGBOU IN Dagestan State Agricultural University M.M.Dzhambulatova, Makhachkala, ul. M.Gadzhieva, 180, tel. 8-906-447-51-48 e-mail: bedsveta@yandex.ru.

2. Magomedova Zaira Imranovna - senior lecturer in technical maintenance of cars, FGBOU IN Dagestan State Agricultural University M.M.Dzhambulatova, Makhachkala, ul. M.Gadzhieva, 180.

3. Babayev Albina Vagifovna - senior lecturer in road transport, VPO Dagestan State Agricultural University M.M. Dzhambulatova, Makhachkala, ul. M. Gadzhieva, 180.

**УДК 621.185.532**

А.В. Блохин, Ф.Ф. Царук, А.М. Лось  
A.V. Blokhin, F.F. Tsaruk, A.M. Los

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

**УСКОРЕННАЯ ДИАГНОСТИКА УСТАЛОСТНЫХ  
СВОЙСТВ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ, ПОЛУЧЕННЫХ  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВТОРИЧНОГО СЫРЬЯ  
ADVANCED TESTING OF FATIGUE PROPERIES OF ALUMINIUM  
ALLOYS BEING PRODUCED UTILIZING RECOVERABLE RESOURCES**

**Аннотация:** В работе приведены методические рекомендации, позволяющие использовать высокие частоты нагружения (18 кГц) при проведении усталостных испытаний алюминиевых сплавов полученных с использованием вторичного сырья. Показана возможность использования такого подхода для определения характеристик усталости и при повышенных температурах.

Использование предложенного метода позволяет существенно уменьшить время проведения исследований усталостных характеристик таких материалов.

**Summary:** The article gives methodical recommendations for the use of high frequency loads (18 kHz) in testing of aluminium alloys being produced utilizing recoverable resources. This approach is shown to be reasonable for determining fatigue characteristics at higher temperatures.

The application of suggested method allows shortening substantially the testing time of fatigue characteristics for this kind of metals.

**Ключевые слова:** алюминиевые сплавы, усталостные испытания, частота нагружения, образец, пороговые напряжения, повышенные температуры.

**Key words:** aluminum alloys, fatigue tests, loading frequency, sample, threshold voltages, higher temperatures.

Детали современных машин различного назначения (в том числе машины применяемые в сельском хозяйстве) работают в тяжелых условиях, часто при повышенных температурах. Многие детали испытывают как статические, так и динамические нагрузки. Сегодня, наряду с материалами, полученными на основе железа, широкое применение нашли сплавы из цветных металлов, среди которых чаще встречаются различные алюминиевые сплавы [1, 2]. Такие материалы все чаще используют для изготовления деталей, подверженных знакопеременным нагрузкам (блоки цилиндров, поршни, кронштейны передней растяжки, рычаги подвески, корпуса и кронштейны крепления двигателя и навесного оборудования и др.). Широкое применение сплавов, полученных на основе алюминия, в настоящее время ограничивается их высокой стоимостью, обусловленной сложностью получения чистого алюминия электролизом. В первую очередь это связано со значительными затратами электроэнергии. Использование вторичного сырья для изготовления алюминиевых сплавов позволяет существенно снизить удельные расходы электроэнергии. Сегодня вопросам по замещению первичных алюминиевых сплавов на сплавы, полученные с использованием вторичного сырья уделяется повышенное внимание во всех развитых странах. Существенной проблемой, ограничивающей применение таких материалов, являются их низкие механические характеристики, в том числе – усталостные.

Повышение характеристик усталости алюминиевых сплавов полученных с использованием вторичного сырья позволит существенно расширить область применения таких материалов, в том числе и для изготовления деталей машин, работающих под воздействием динамических нагрузок в различных температурных условиях. Решение данной задачи требует проведение большого объема трудоемких усталостных испытаний. Одним из перспективных методов является использование высокочастотного циклического нагружения [3]. Возможность использования на практике результатов усталостных испытаний полученных при высокочастотном нагружении первичных металлических материалов показана в [3-7]. В данной работе описана методика определения характеристик усталости литейных алюминиевых сплавов полученных с использованием вторичных материалов при нормальных и повышенных температурах.

Для демонстрации единой физической сущности механизмов накопления усталостной повреждаемости при низкочастотном и высокочастотном нагружении были проведены комплексные исследования изменения физико-механичес-

ких свойств алюминиевых сплавов типа АК9М2 и АК9М3. Экспериментальные исследования влияния частоты нагружения на изменение микротвердости, кинетики дислокационной структуры, электросопротивление [8], а также теоретические исследования [9] позволили сделать вывод о существовании единой физической природы усталостной повреждаемости при действии низких и высоких частот нагружения как при нормальных, так и при повышенных температурах, а в качестве характеристики однозначно характеризующей начало процесса усталостного повреждения для различных частот были предложены пороговые напряжения.

Пороговые напряжения могут быть определены методами микротвердости, рентгеноструктурного и микроструктурного анализов, а также электросопротивления при достижении уровня циклических напряжений, ниже которых изменения параметров данных физико-механических свойств не регистрировались приборами. С превышением уровня пороговых напряжений и началом упрочнения отмечен существенный рост вышеуказанных характеристик (рисунок 1).

Измерение микротвердости вдоль образца, выполненное после нагружения (рисунок 1) позволило легко определить величину пороговых напряжений по началу роста микротвердости  $H\mu$ . За величину пороговых напряжений принималась такая величина циклических напряжений, ниже которой не наблюдалось изменений физико-механических характеристик материалов при неограниченно больших базах испытаний. Очевидно, что при напряжениях ниже пороговых деформация материала является упругой и после снятия нагрузки структурные изменения на микроуровне отсутствуют.

Сопоставление пороговых напряжений, полученных для сплава АК9М2 при различных температурах (рисунок 2) показывает, что характер их изменений аналогичен. Это также свидетельствует о возможности проведения ускоренных усталостных испытаний с использованием высоких частот нагружения в рассмотренном диапазоне температур.

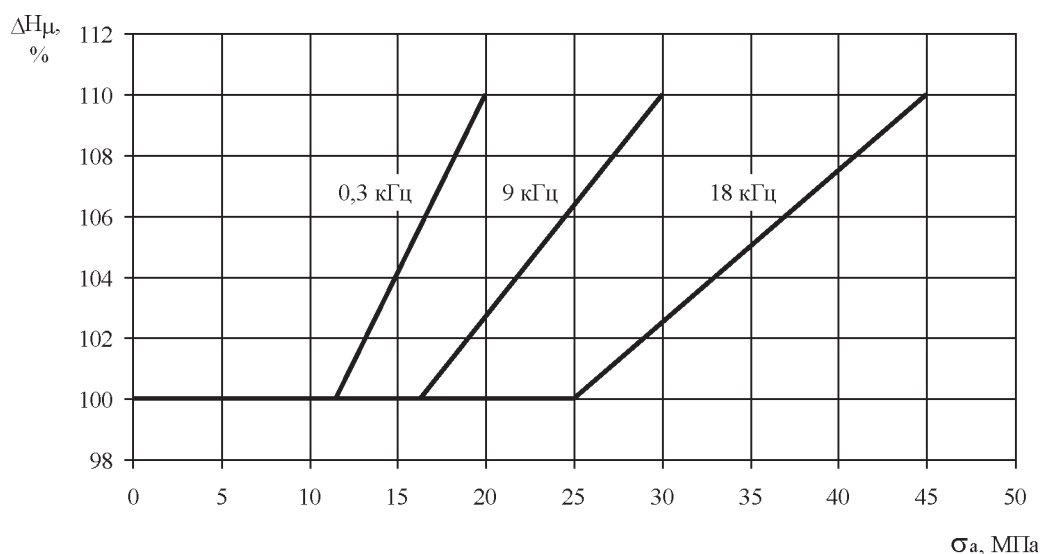


Рисунок 1

Изменение микротвердости сплава АК8М3 в зависимости от величины изгибных напряжений (база  $10^8$  цикл.). 1 – 0,3 кГц; 2 – 3,0 кГц; 3 – 9,0 кГц; 18 – кГц

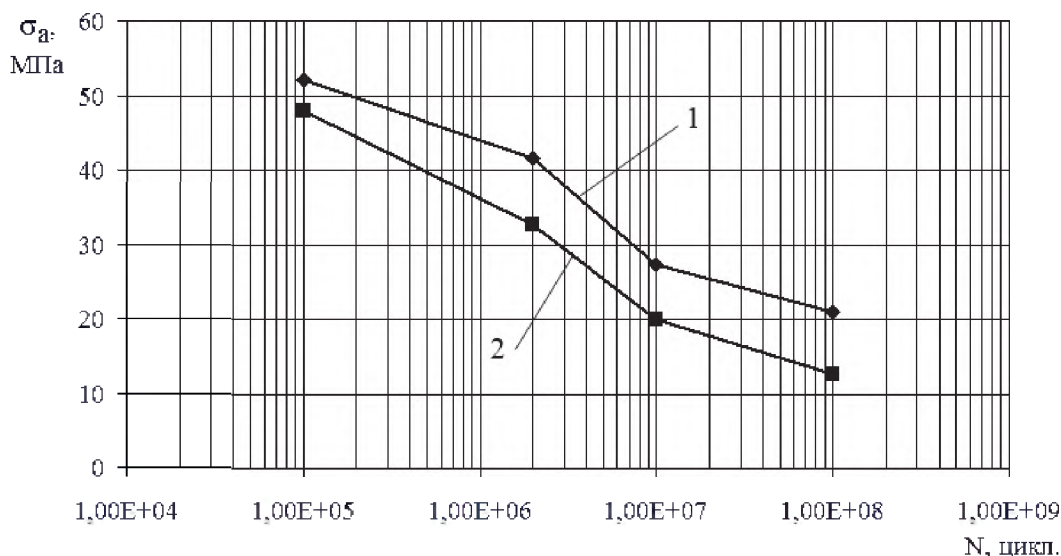


Рисунок 2

Пороговые напряжения сплава АК9М2, определенные при различных температурах на частоте 9 кГц. 1 – 20 °С; 2 – 200 °С

Сопоставление кривых частотных зависимостей пороговых напряжений и пределов выносливости материалов, определенных в исследуемом диапазоне частот, показало их эквидистантность, что наблюдалось при нормальных и повышенных температурах для различных баз испытаний при использовании изгибных колебаний (рисунок 3).

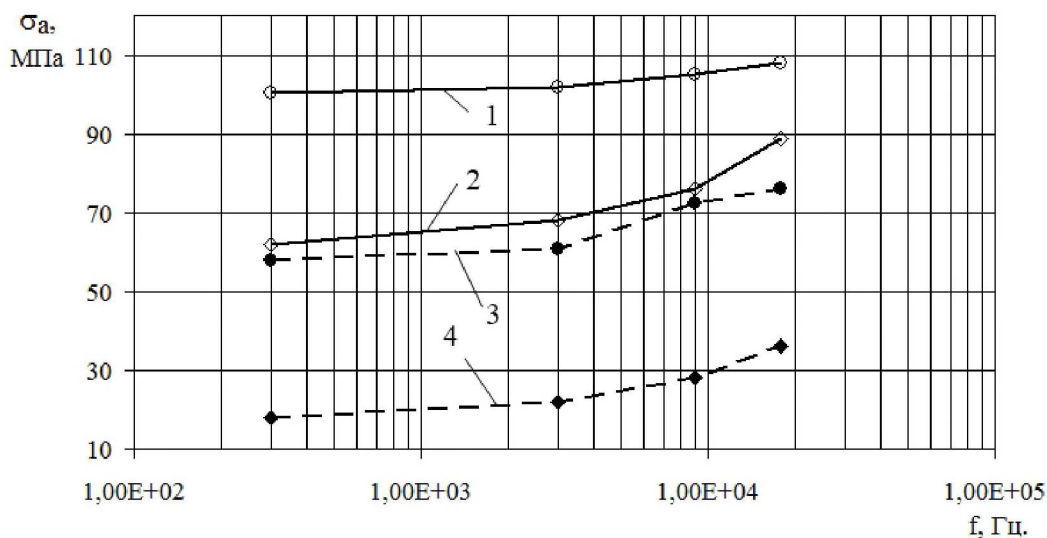


Рисунок 3

Пределы выносливости и пороговые напряжения сплавов АК9М2 (литое состояние) и Ал4.  
 1, 2 – пределы выносливости для сплавов Ал4 и АК9М2 и соответственно;  
 3,4 – пороговые напряжения для сплавов Ал4 и АК9М2 соответственно

Таким образом, разность ограниченных пределов выносливости и величины пороговых напряжений для каждого материала в исследованном диапазоне частот является величиной почти постоянной. В связи с тем, что пороговые напряжения определяются весьма просто, например, по изменению микротвердости, открывается возможность прогнозирования характеристик низкоча-

стотной усталостной прочности с использованием результатов высокочастотных испытаний.

Расчет низкочастотных ограниченных пределов выносливости по результатам высокочастотных испытаний можно выполнить по следующей зависимости:

$$\sigma'_{-1(0,3 \text{ кГц})} = \sigma_{n(0,3 \text{ кГц})}^t + (\sigma'_{-1(18 \text{ кГц})} - \sigma_{n(18 \text{ кГц})}^t),$$

где  $\sigma_{n(0,3 \text{ кГц})}^t$  – пороговые напряжения определенные на низкой частоте (0,3 кГц),  $\sigma_{n(18 \text{ кГц})}^t$  – пороговые напряжения определенные на высокой частоте (18 кГц);

Экспериментальная проверка данной методики показала довольно высокую степень сходимости результатов полученных на низких частотах нагружения (до 0,3 кГц) и результатов полученных с применением выше описанной методики (рисунки 3.24–3.26).

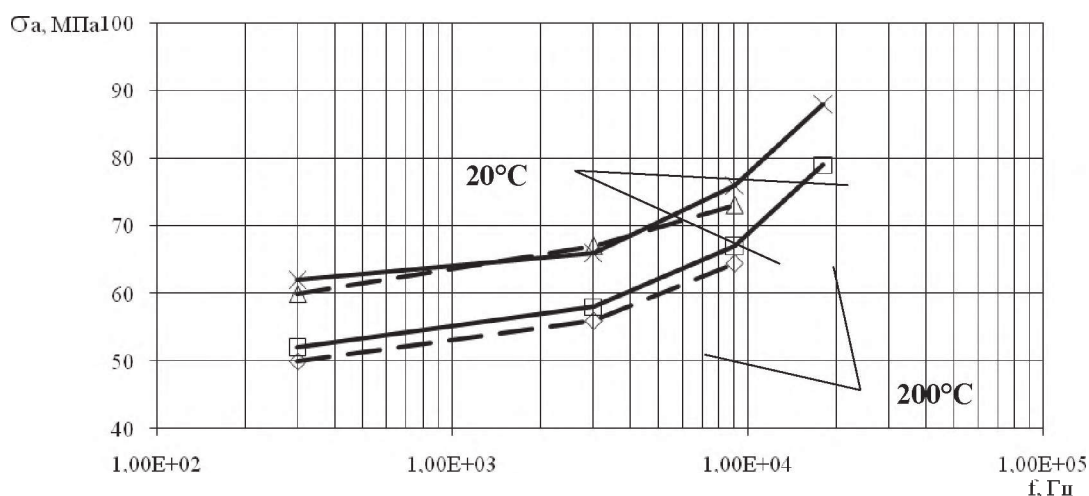


Рисунок 4

Экспериментальные (—) и прогнозируемые (- - -) пределы выносливости сплава АК9М2 при различных температурах

Предложенная экспериментальная методика прогнозирования низкочастотной усталостной долговечности по результатам высокочастотных испытаний дает возможность значительного (в 10-15 раз) сокращения длительности и трудоемкости определения усталостных характеристик литейных алюминиевых сплавов полученных с использованием вторичного сырья.

#### **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. Бельский, С. Е. Производство алюминиевых сплавов: состояние и перспективы / С. Е. Бельский, И. П. Волчок, А. А. Митяев, Н. А. Свидуневич // *Литье и металлургия*. – 2006. – № 2. – 130 с.
3. Усталостные испытания на высоких частотах нагружения / под ред. В.А. Кузьменко. Киев : Наук. думка, 1979. 336 с.
4. О влиянии сил вязкости на движение дислокационного сегмента и распространение упругих колебаний в металлах / В.Р. Соболев, О.Н. Мазуренко,

П.Н. Логвинович, С.Е. Бельский, А.В. Блохин // Доклады национальной академии наук Беларуси. – 2007. – Т. 51. – № 3. – С. 121–124.

5. Dovgyallo I., Tsaruck F., Dolbin N., Dovgyallo A. Estimation of influence of frequency of flexural vibrations of structural sensitive characteristics of 20x13 steel // The 4 Th. International Symposium on Creep and Coupled Processes. – Bialostok. 1992.- P. 57-63.

6. Довгьялло И.Г., Царук Ф.Ф., Новицкий А.В., Рудченко Д.Н. Влияние высокочастотных колебаний на изменение усталостных характеристик сплава АМг2 в условиях повышенных температур // Труды БГТУ., Вып. 7.- Минск: БГТУ, 1999. - С. 145-148.

7. F. Tsaruck, A. Novitskiy. 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, Hunan University Press, China, P. 193-195.

8. Блохин, А.В. Электросопротивление как структурно-чувствительная характеристика при усталостных испытаниях металлических конструкционных материалов / А. В. Блохин, С. Е. Бельский // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообраб. пром-сть. – 2006. – Вып. XIV. – С. 248–250.

9. Соболев, В.Р. Температурные механизмы взаимодействия дислокаций с примесями в процессах передачи энергии упругих колебаний / В.Р. Соболев, П.Н. Логвинович, С.Е. Бельский, А.В. Блохин // Инженерно-физический журнал. – 2007. – Т. 80. – № 4. – С. 193–199.

#### ***Сведения об авторах***

1. Блохин Алексей Владимирович – кандидат технических наук, старший преподаватель 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: Blakhin@belstu.by.

2. 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: dmiputu@belstu.by.

3. Лось Александр Михайлович – ассистент 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: Amlos@belstu.by.

#### ***Authors' personal details***

1. Tsaruk Fedor Fedorovich– PhD (Engineering), senior Lecturer at the Department of machine elements and hoisting and conveying equipment, BSTU, The Republic of Belarus, Minsk, 13a, Sverdlova str., tel. 8 (10 375) 17 226 09 75, e-mail: dmiputu@belstu.by.

2. Blakhin Aliaksei Vladimirovich – PhD (Engineering), senior Lecturer at the Department of machine elements and hoisting and conveying equipment, BSTU, The Republic of Belarus, Minsk, 13a, Sverdlova str., tel. 8 (10 375) 17 226 09 75, e-mail: Blakhin@belstu.by.

3. Los Alexandr Mihailovich – assistant at the Department of machine elements and hoisting and conveying equipment, BSTU, The Republic of Belarus, Minsk, 13a, Sverdlova str., tel. 8 (10 375) 17 226 09 75, e-mail: Blakhin@belstu.by.