

С.Е. Бельский, А.В. Блохин, М.Н. Пищов
Белорусский государственный
технологический университет, Республика Беларусь
Адель Рашид
Ливан

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК УСТАЛОСТИ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ТРАНСМИССИЙ ЛЕСНЫХ МАШИН

Работы многих лесных машин характеризуется значительными нагрузками деталей трансмиссии, особенно зубчатых передач [1]. Такие условия эксплуатации требуют обеспечения высоких усталостных характеристик материалов для их изготовления. В связи с тем, что усталостное выкрашивание развивается в поверхностном слое зубьев [2], особо важным является правильное назначение и грамотный выбор процессов диффузионного упрочнения и оптимизация их температурно-временных параметров, что требует проведения большого объема усталостных испытаний. При этом известные низкочастотные методы (частота испытаний до 300 Гц) определения характеристик усталости требуют длительного времени, являются весьма трудо- и энергоемкими. Снижение трудоемкости таких исследований обеспечивает использование высоких частот нагружения [3].

Имеющиеся в литературе сведения по влиянию амплитудно-частотных параметров нагружения на усталостные характеристики и физико-механические свойства экспериментальных моделей, имеющих упрочненные слои и покрытия, недостаточно систематизированы, практически не учитывается влияние поверхностных слоев. В этой связи повышение точности и достоверности определения усталостных характеристик деталей, проходящих химико-термическую обработку, а также разработка методики проведения испытаний, является актуальной задачей.

Проведенные ранее экспериментальные исследования позволяют сделать вывод о существовании единой физической природы усталостной повреждаемости при действии низких и высоких частот нагружения. Значения ограниченных пределов выносливости в исследованном диапазоне частот сопоставимы, форма усталостной кривой также не меняется, особенно при одинаковом общем времени действия

максимальных напряжений цикла. Частота качественно не изменяет полученные зависимости микротвердости, кинетику дислокационной структуры, электросопротивления, рассеяние энергии. В исследованном диапазоне частот не изменяется ориентация усталостных трещин по отношению к направлению действия максимальных нормальных и касательных напряжений [4].

Проведенные исследования также показали, что отмеченные закономерности влияния частоты на усталостные характеристики и физико-механические свойства материалов справедливы и при действии повышенных температур, а также для алюминиевых сплавов [5].

Для сравнения характеристик усталости, определенных на разных частотах испытаний нами предложено использовать величину пороговых значений циклических нагрузок, соответствующих напряжениям, ниже которых отсутствует необратимая усталостная повреждаемость при неограниченно больших базах испытаний и разработать на этой основе методик. У оценки низкочастотной усталостной повреждаемости по результатам высокочастотных испытаний. Пороговые напряжения определялись методами микротвердости, рентгеноструктурного и микроструктурного анализов, электросопротивления при достижении уровня циклических напряжений, ниже которых изменения параметров данных физико-механических свойств не регистрировались приборами [3]. С превышением уровня пороговых напряжений и началом упрочнения отмечен существенный рост вышеуказанных характеристик.

Для разработки методики ускоренных усталостных испытаний образцов конструкционных сталей с поверхностным упрочнением проведено определение пределов ограниченной выносливости σ_a при разной толщине упрочненного слоя (рис. 1), а также при различном времени диффузионного насыщения (рис. 2.). Показано, что величина σ_a возрастает с повышением частоты испытаний. Однако, зависимости, полученные в исследованном диапазоне частот для различных упрочненных слоев, носят качественно одинаковый характер, что обеспечивает возможность использования высоких частот с целью прогнозирования низкочастотных характеристик усталости и для упрочненных материалов

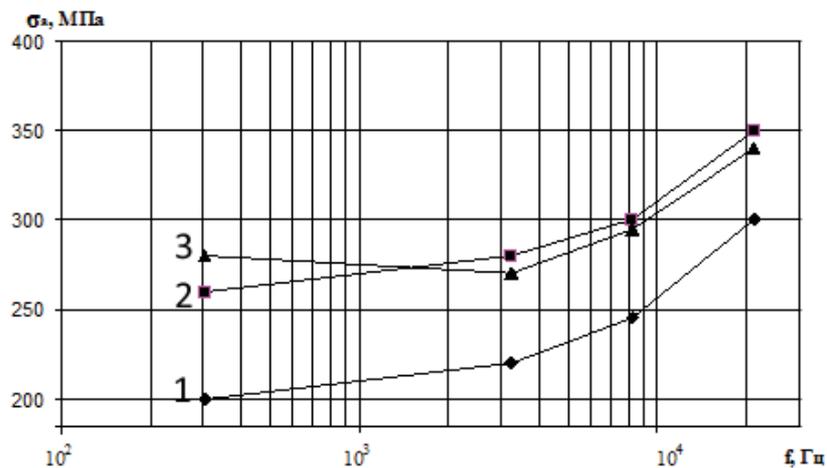
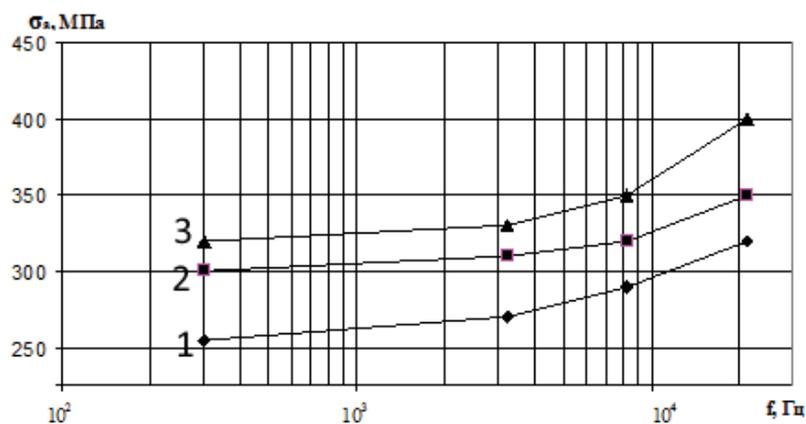


Рис. 1 – Пределы ограниченной выносливости стали 20X при различной толщине упрочненного боросилицированием слоя (1 - h=100 мкм, 2 - h=200 мкм, 3 - h=300 мкм,)

Сопоставление кривых частотных зависимостей пороговых напряжений и пределов выносливости материалов, определенных в исследуемом диапазоне частот, показало их эквидистантность (рис. 3.) для различных баз испытаний при использовании как продольных, так и изгибных колебаний. Таким образом, разность ограниченных пределов выносливости и величины пороговых напряжений для каждого материала и процесса упрочнения в исследованном диапазоне частот является величиной постоянной. В связи с тем, что пороговые напряжения определяются весьма просто, например, по изменению микротвердости открывается возможность прогнозирования характеристик низкочастотной усталостной прочности с использованием результатов высокочастотных испытаний.



**Рис. 2 – Пределы ограниченной выносливости стали 25ХГТ при различном времени насыщения (боросилицирование 25% Si, t=950 °С)
(1 – 1 час, 2 – 2 часа, 3 – 3 часа)**

Для прогнозирования усталостной долговечности проводятся усталостные испытания материала на возможно более высокой частоте с соблюдением ограничений по температуре саморазогрева. Для большинства металлических материалов целесообразно использовать частоту 18 кГц в связи с наличием большого количества серийно выпускаемых генераторов. Определяется также величина высокочастотного порогового циклического напряжения $\sigma_a^{n^6}$.

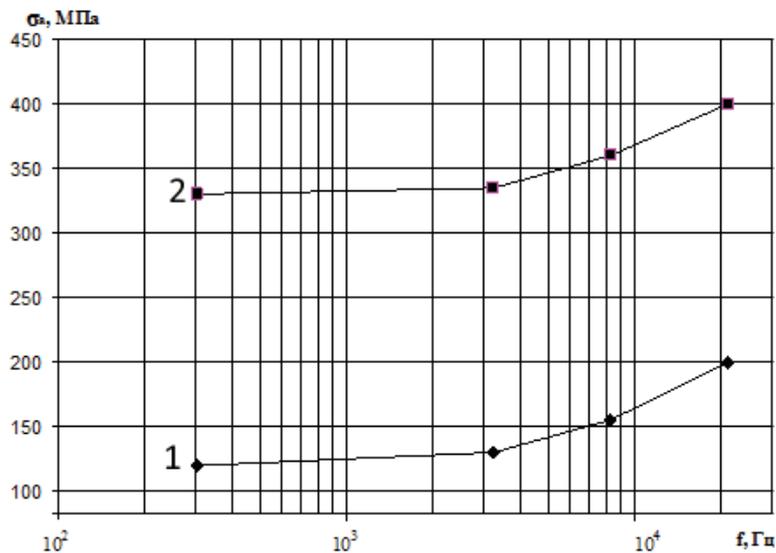


Рис. 3 – Пороговые напряжения (1) и пределы ограниченной выносливости (2) стали 25ХГТ после боросилицирования (25% Si, температура 950 °С, 2,5 часа)

В качестве наиболее простого и доступного метода определения пороговых напряжений можно использовать изменение микротвердости. Наряду с высокочастотными испытаниями, образцы материалов подвергаются низкочастотному нагружению, но только для определения низкочастотного порогового циклического напряжения $\sigma_a^{n^m}$. После этого для каждого материала определяется разность $\Delta\sigma$ между ограниченными пределами выносливости на высокой частоте σ_{-1}^B и величиной порогового циклического напряжения $\sigma_a^{n^B}$ для такой же высокой частоты.

В связи с тем, что, как показали результаты исследований, разность $\Delta\sigma$ в исследованном диапазоне частот для каждого материала величина практически постоянная, требуемую величину низкочастотной

усталостной долговечности можно определить как сумму низкочастотных пороговых напряжений σ_a^{mH} и величины $\Delta\sigma$

$$\sigma_{-1}^H = \sigma_a^{mH} + \Delta\sigma.$$

Проведенное сопоставление определенных экспериментально и прогнозируемых величин низкочастотной усталостной долговечности σ_{-1}^H , выполненное на сталях 20Х, 25ХГТ и 20ХГНМ показало, что относительная ошибка прогноза находится в пределах обычных ошибок экспериментального определения пределов выносливости.

Использование подобной методики обеспечивает возможности разработки составов для поверхностного упрочнения деталей лесных машин, а также отработки температурно-временных параметров процесса, обеспечивающего необходимый уровень характеристик усталости.

Список использованных источников

1. Симанович В.А. Особенности эксплуатационных режимов нагружения лесных агрегатных машин // В.А.Симанович, М.Н.Пищов, А.И.Смеян // Труды БГТУ, серия II «Лесная и деревообрабатывающая промышленность. – 2007. – Вып. XV. – С. 77-78.

2. Макаревич С.С. Модель напряженного состояния зубьев деталей трансмиссий трелевочных тракторов /С.С.Макаревич, М.Н.Пищов, С.Е.Бельский // Труды БГТУ, серия II «Лесная и деревообрабатывающая промышленность. – 2009. – Вып. XVII. – С. 327-330.

3. Царук Ф.Ф., Бельский С.Е., Блохин А.В. Высокочастотное сопротивление усталости металлов при нормальных и повышенных температурах//Современные методы проектирования машин: Труды I Межд. конф. – Мн., 2002. – Т. II. С. 191-193.

4. Довгялло И. Г., Качуровский Е. П., Бельский С. Е., Долбин Н. А., Харлан Л. М. Влияние частоты нагружения на закономерности разрушения алюминиевого сплава Д16. Прочность материалов и элементов конструкций при звуковых и ультразвуковых частотах нагружения // Тезисы докладов. - Киев, 1988. - С.34.

5. Бельский С.Е., Царук Ф.Ф., Блохин А.В. Влияние состава литейных алюминиевых сплавов на их усталостные характеристики//Современные методы проектирования машин: Труды II Межд.конф. – Мн., 2004. – Т.4. – С.150-153.