

Рис. 1. Кривые усталости различных литейных сплавов при частоте 18 кГц

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Довгялло И.Г., Царук Ф.Ф., Капсаров А.Г., Бельский С.Б., Харлан Л.М. Физико-механические аспекты влияния амплитудно-частотных параметров нагружения и типов колебаний на циклическую прочность сложнонагруженных деталей.// Труды БГТУ, серия II, выпуск VI, Мн., 1998, с.133-136;
2. Довгялло И.Г., Царук Ф.Ф., Бельский С.Е., Капсаров А.Г. Влияние частоты механических колебаний на циклическую прочность деталей машин при различных схемах напряженного состояния. Труды БГТУ, серия II, выпуск VII, Мн., 1999 с.149-153.

УДК 621. 785. 532

А.И. Сурус, С.Е. Бельский, А.Ф. Дулевич

#### ВЛИЯНИЕ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ КАРБОНИТРАЦИИ НА СОПРОТИВЛЕНИЕ УСТАЛОСТИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

*Белорусский государственный технологический университет  
Минск, Беларусь*

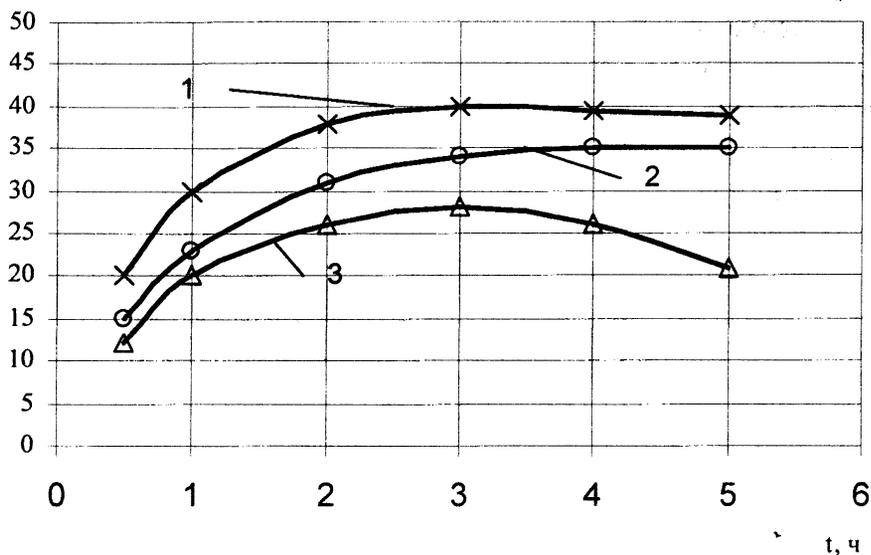
Одной из основных причин потери работоспособности ответственных сложнонагруженных деталей машин является их усталостное разрушение. Развитие такого процесса возможно как на макроуровне вследствие объемного разрушения, так и

на микроуровне путем усталостного выкрашивания фрагментов поверхностей, находящихся под действием контактных нагрузок.

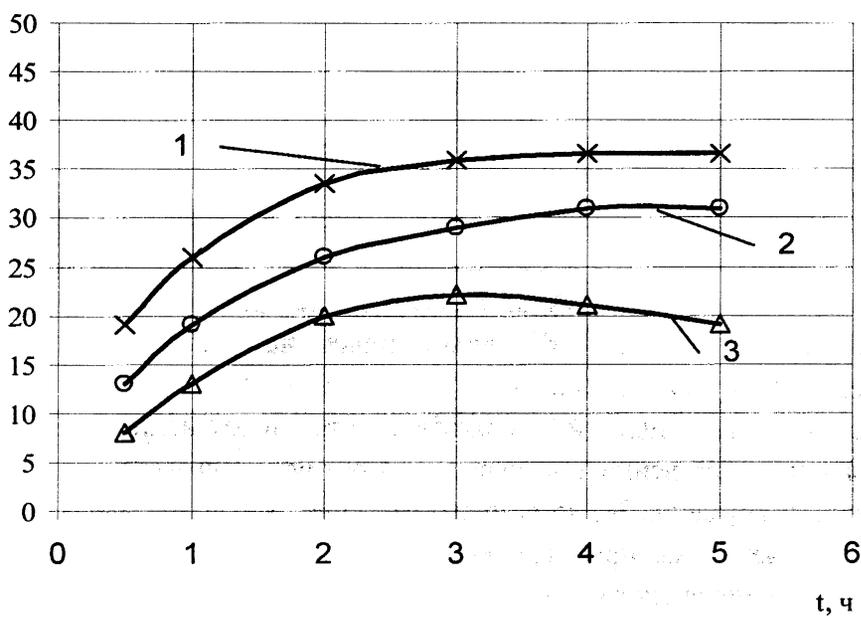
Как правило, усталостное разрушения начинается непосредственно в тонком поверхностном слое [1]. Поэтому структура и напряженное состояние поверхностных слоев оказывают решающее воздействие на долговечность и надежность деталей машин. Одним из наиболее простых и эффективных способов повышения характеристик выносливости материалов является проведение упрочняющей обработки с созданием в поверхностном слое сжимающих напряжений и мелкодисперсных фаз. Насыщение поверхностного слоя азотом приводит к созданию в нем напряжений сжатия, способствующих повышению характеристик выносливости. Поэтому, нами выбран процесс жидкостной карбонитрации, проводимый в расплаве азотсодержащих солей при времени 0,25-5,0 часов и температуре 570°С. Кроме того, такая обработка, как правило, используется в качестве финишной, поскольку относительно низкая температура процесса обеспечивает отсутствие коробления деталей. Установлено повышение твердости, толщины и плотности поверхностного слоя при введении в расплав солей колебаний частотой 3 и 18 кГц [2]. Целью настоящей работы явилось исследование влияния высокочастотных механических колебаний, используемых при жидкостной карбонитрации на дальнейшее повышение циклической прочности. Упрочняемые после предварительного улучшения образцы изготавливались из сталей 40Х и 30ХГС, широко используемых для изготовления деталей и элементов конструкций, работающих в условиях умеренных вибрационных нагрузок. Эти стали, при условии соответствующего упрочнения, перспективны для замены ими более дорогих и дефицитных материалов.

Испытания на выносливость проводились в условиях растяжения-сжатия при симметричных циклах нагружения с использованием магнитострикционных установок для получения частот 3,9 и 18 кГц согласно методикам, описанным в работе [3]. Испытания на частоте 0,15 кГц проводились на установке, созданной на базе электродинамического вибростенда.

Результаты испытаний показали, что применение низкотемпературной карбонитрации существенно повышает усталостную долговечность, оцениваемую по числу циклов нагружения  $N_{ц}$  до полного разрушения образца (рис.1). Прирост данной величины отмечен даже при времени обработки 0,5 ч. Зависимости числа  $N_{ц}$  от времени упрочнения аналогичны для обоих исследуемых сталей; это свидетельствует о том, что данный процесс упрочнения пригоден для повышения характеристик выносливости достаточно большой номенклатуры среднеуглеродистых сталей. При упрочнении без использования колебаний с повышением времени свыше 3,0-3,5 часов величина  $N_{ц}$  постепенно снижается, вероятно, вследствие увеличения количества пор в поверхностном карбонитридном слое, коагуляции карбонитридов, являющихся концентраторами напряжений и общей «разрыхленности слоя», выявляемой микроанализом. Применение колебаний обеспечивает дополнительное повышение величины  $N_{ц}$  при оптимальном времени обработки (2,5-3,0 часа) и также препятствует снижению усталостной долговечности при большей продолжительности насыщения.

$N_{ц1} \cdot 10E+06$ 


a)

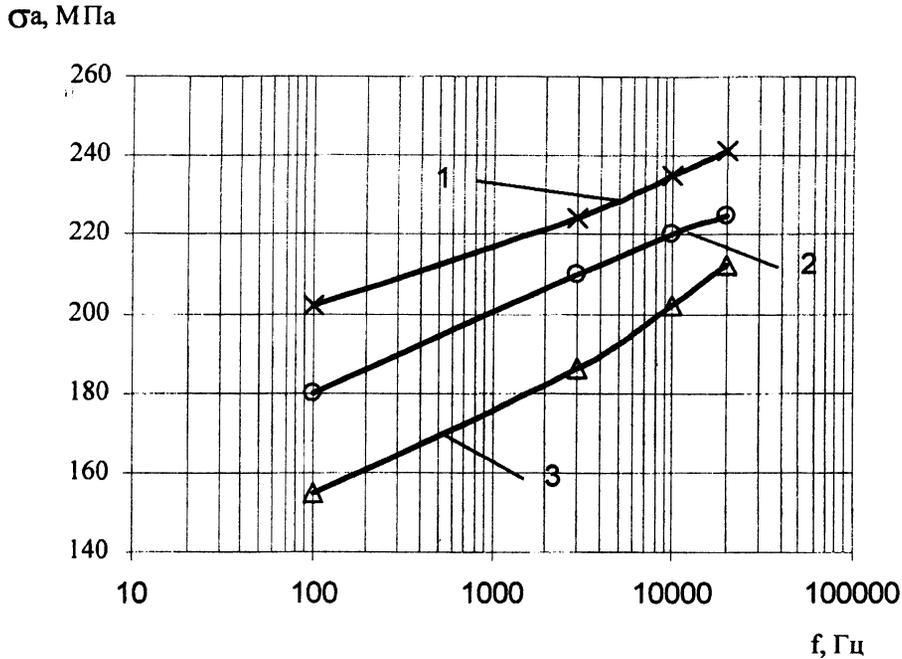
 $N_{ц1} \cdot 10E+06$ 


б)

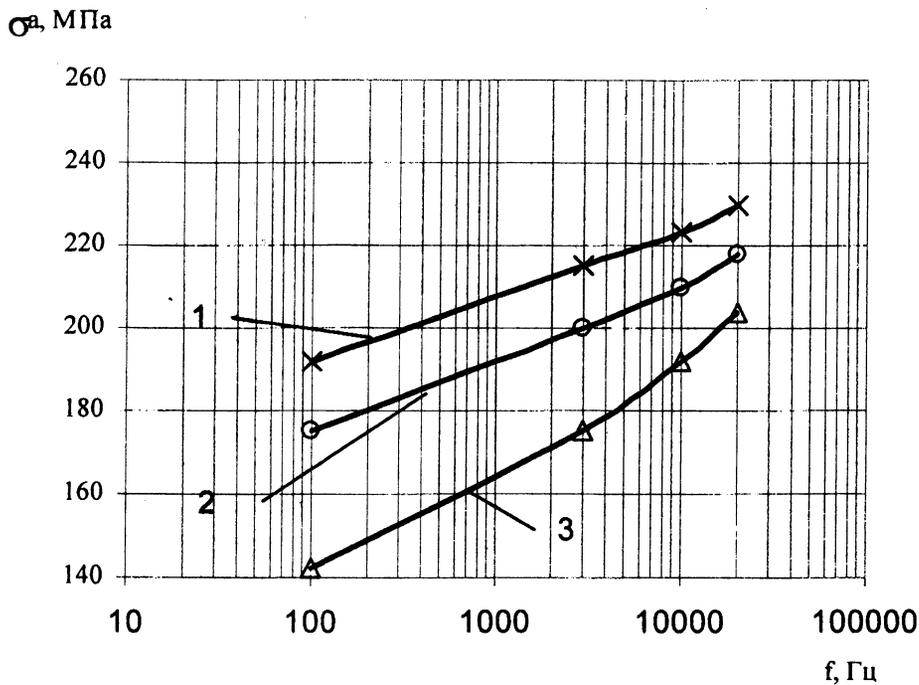
Рис.1. Влияние способа и времени карбонитрации на усталостную долговечность по числу циклов нагружения стали 40X (а) и 30XГС (б): 1, 2 – карбонитрация с использованием колебаний 18 и 3 кГц соответственно; 3 – карбонитрация без использования колебаний

Влияние частоты испытаний  $f$  на ограниченный предел выносливости  $\sigma_a$  при времени насыщения 2.5 ч и температуре  $570^\circ\text{C}$  приведено на рис.2. Характер частотной зависимости  $\sigma_a$  для неупрочненных и упрочненных образцов существенно не изменяется, однако усталостные характеристики повышаются, особенно при испытаниях на низкой частоте. Данное обстоятельство весьма важно, поскольку большинство деталей машин подвержены динамическим колебаниям в диапазоне частот от 10 до 100 Гц. Следует отметить, что наилучшие результаты получены при

интенсификации процесса насыщения колебаниями частотой 18 кГц, вводимыми в расплав. Очевидно, что более равномерное при использовании колебаний распределение упрочняющих элементов стабилизирует напряженное состояние поверхностного слоя в период испытаний, что также обеспечивает повышение усталостных характеристик.



а)



б)

Рис.2. Ограниченный предел выносливости образцов сталей 40Х (а) и 30ХГС (б) при различных частотах испытаний: 1 – карбонитрация с использованием колебаний частотой 18 кГц, вводимых в расплав; 2 – карбонитрация без использования колебаний; 3 – образцы без поверхностного упрочнения.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Иванова В.С., Терентьев В.Ф. Природа усталости металлов. – М.: Metallurgy, 1975. 455 с. 2. Довгялло И.Г., Сурус А.И., Бельский С.Е. Влияние механических колебаний при низкотемпературном азотировании на характеристики упрочненного слоя. – Труды БГТУ, серия П, выпуск VII, Минск, 1999. – С. 153-157. 3. Довгялло И.Г., Царук Ф.Ф., Бельский С.Е., Капсаров А.Г. Влияние частоты механических колебаний на циклическую прочность деталей машин при различных схемах напряженного состояния. - Труды БГТУ, серия П, выпуск VII, Минск, 1999. – С. 149-153.

УДК 621.185.532

Ф.Ф. Царук, А.В. Блохин

**ВЛИЯНИЕ АМПЛИТУДНО-ЧАСТОТНЫХ ПАРАМЕТРОВ И ТЕМПЕРАТУР  
ИСПЫТАНИЙ НА УСТАЛОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ  
АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ**

*Учреждение образования “Белорусский государственный  
технологический университет”  
Минск, Беларусь*

Известно, что большинство ответственных деталей машин, элементов конструкций транспортных машин, энергетических установок в процессе эксплуатации подвергается циклическим нагрузкам широкого амплитудно-частотного диапазона. Значительная часть аварий и выходов из строя связано с разрушением деталей вследствие постепенного развития и накопления в структуре материалов процессов усталостной повреждаемости. Поэтому для разработки новых материалов и конструкций необходим большой объем усталостных испытаний.

Использование высокочастотного нагружения позволяет значительно снизить трудоемкость и временные затраты при проведении усталостных испытаний [1]. Однако различие в процессе накопления усталостных повреждений на высоких и низких частотах вынуждает проводить исследования по выявлению природы этих отличий.

Ранее, на примере анализа многоциклового высокочастотной усталости модельного материала (меди М1) была показана возможность исследования сопротивления усталости с использованием высоких частот нагружения в различных условиях [2], однако конструкционные материалы, применяемые в машиностроении, строительстве и др. отраслях, имеют более сложную структуру, поэтому в данной работе приведены некоторые результаты по исследованию сплава Д16 и сплава АМг2Н в условиях знакопеременного циклического изгиба при нормальных и повышенных температурах.

Испытываемые образцы представляли собой балочки прямоугольного сечения (1.8х6 мм), вырезанные вдоль направления проката, подвергнутые шлифовке, электрополировке и вакуумному отжигу. Нагрев образцов в электропечи сопротивления производился с выдержкой образца при заданной температуре (макс. откл.  $\pm 2^\circ\text{K}$ ) до нагружения не менее часа.

Нагружение образцов производилось с помощью специально разработанных магнитострикционных (резонансная частота  $f=2.8, 8.8, \text{ и } 18.0 \text{ кГц}$ ) стэндов.