

## ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН НА ЭТАПЕ ПРОЕКТНЫХ РАБОТ

Селиванова Е.Е., Злобин А.С., Сеницын К.С., Коныхова А.С., Маханькова Е.А.  
Самарский университет, г. Самара, sopromat@ssau.ru

*Ключевые слова:* долговечность, усталость, напряжения, деформация, расчётно-аналитический метод, деформационно-энергетический критерий.

В настоящее время, одним из наиболее важных процессов, наряду с повышением надёжности изделия, является также снижение затрат на всех этапах жизненного цикла. В том числе современные конструкторские пакеты дают возможность сократить время на внесение изменений в конструкцию, согласование моделей, разработку технологии изготовления. В данной работе описаны расчётно-экспериментальные методики прогнозирования влияния технологической наследственности на долговечность деталей машин на этапе проектирования деталей двигателя. Внедрение этих подходов позволит существенно сократить количество натурных испытаний деталей.

Общепринятый взгляд на процессы повреждения материала детали циклическим нагружением базируется на типичном для пластичных металлических конструкционных материалов в виде кривой сопротивления усталости. В качестве примеров на рис. 1 и 2 показаны полученные при циклическом растяжении стандартных образцов обобщённые кривые сопротивления малоциклового (МЦУ) и многоциклового (МнЦУ) усталости в диапазоне долговечностей  $10-10^8$  циклов для жаропрочного титанового сплава ВТ9 и жаропрочного никелевого сплава ЭП742ИД.

Такие характеристики сопротивления усталости, полученные для конструкционных материалов на базе простейших макроэкспериментов как на стандартных, так и нестандартных образцах для различных видов напряжённо-деформированного состояния и проводившиеся металлургические исследования образцов на разной стадии повреждения определили как действующие физические механизмы усталостного повреждения материалов деталей, так и общепринятые подходы к расчётным оценкам сопротивления усталости реальных конструкций [1].

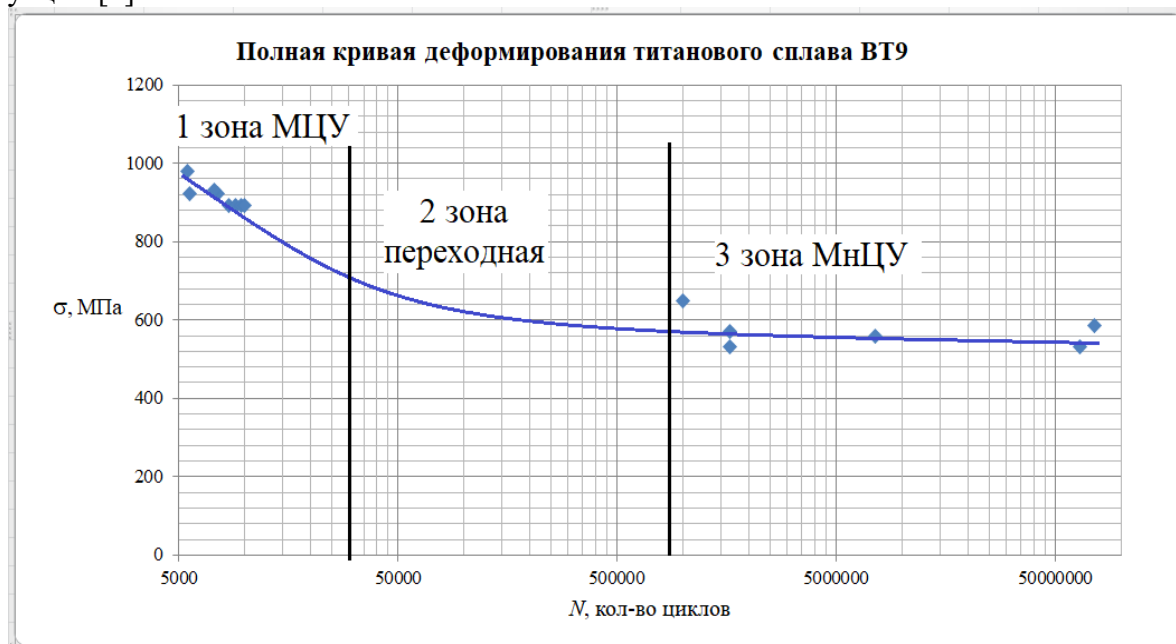


Рисунок 1 – Сопротивление усталости титанового сплава ВТ9

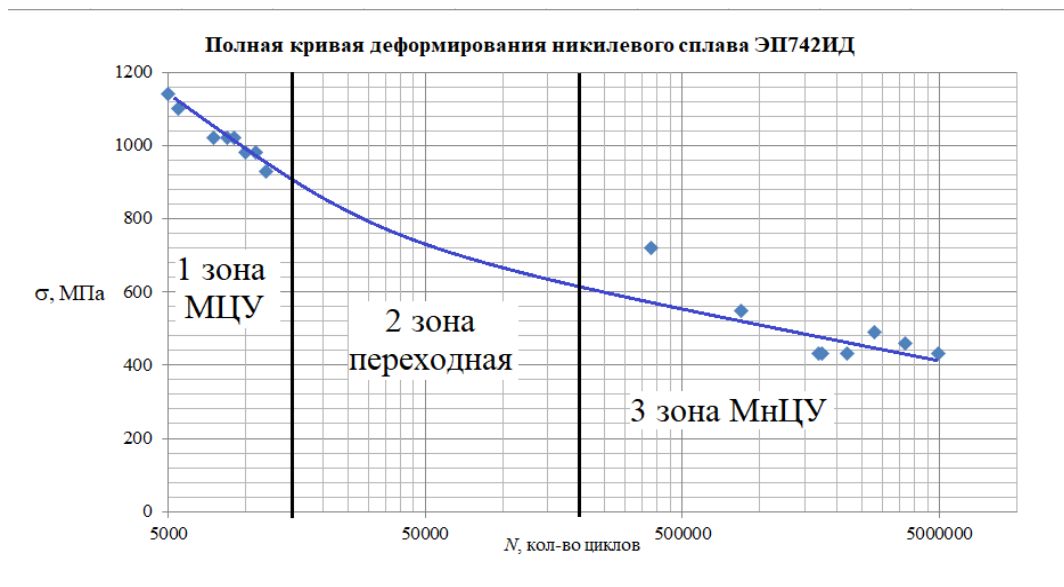


Рисунок 2 – Сопротивление усталости никелевого сплава ЭП742ИД

С точки зрения описания физических механизмов усталостного повреждения материала они в любом случае содержат в себе необратимые процессы:

- микромеханизм 1, связанный с количеством, подвижностью и взаимодействием дефектов кристаллической решётки материала детали – дислокаций, как внутри кристаллитов, так и на их границах, работающий в области упругого поведения материала и определяющий повреждение по механизму многоцикловой усталости (зона 3 обобщённой кривой сопротивления усталости, рис. 1, 2);

- мезомеханизм 2, связанный с необратимыми пластическими деформациями в первом цикле нагружения и циклическими макродеформациями отдельных кристаллитов без заметного нарушения в целом упругого поведения материала при циклическом деформировании, определяющий совместно с микромеханизмом 1 усталостное повреждение в переходной зоне (зона 2 обобщённой кривой сопротивления усталости, рис. 1, 2);

- макромеханизм, связанный с циклической макропластической деформацией материала детали, определяющий повреждение по механизму малоцикловой усталости (зона 1 обобщённой кривой сопротивления усталости, рис. 1, 2) [2].

Следует отметить, что работа всех этих механизмов существенно зависит от исходного состояния материала, унаследованного от этапа производства. Традиционное использование в расчётах прочности и долговечности деталей машин силовых критериев (напряжений) и полученного на специальных стандартных образцах экспериментального материала в сочетании с набором экспериментально же определённых эмпирических поправок успешно работает в зоне многоцикловой усталости и, в принципе, позволяет с определённой степенью достоверности выполнить расчётные оценки прочности и долговечности высоконагруженных деталей машин в переходной зоне и зоне малоцикловой усталости.

При использовании силовых и деформационных критериев традиционно и в ряде случаев вполне обоснованно применяется эмпирический учёт технологической наследственности средствами её имитации при макроэкспериментах по получению данных по предельному состоянию материала на образцах или испытаниями натуральных деталей [3].

Эти варианты либо достаточно проблемны с точки зрения обоснованности для реальной конструкции (при использовании экспериментов с образцами), либо при обоснованности – весьма затратны, т.к. при испытаниях натуральных деталей необходимо достаточное для статистического анализа количество испытаний. Их использование на стадии проектирования, как правило, сопряжено с отсутствием достаточного, а зачастую и вообще какого-либо экспериментального материала.

Именно поэтому весьма актуальна для проектировщика задача отработки расчётно-аналитических методов анализа с использованием по возможности минимального объёма экспериментального материала.

Наиболее обоснованно с точки зрения учёта технологической наследственности в области малоциклового усталости выглядит использование деформационно-энергетического критерия повреждения материала, основанного на расчёте удельной диссипации энергии деформирования материала, связанной с его пластической деформацией [1, 2].

Основанием для такого утверждения, кроме универсальности и физической обоснованности такого подхода является использование скалярной величины – энергии в отличие от использования характеристик, связанных с напряжениями и деформациями, имеющих тензорную сущность.

### **Список литературы**

1. Авербах Б.Л. Некоторые физические аспекты разрушения. Разрушение. Микроскопические и макроскопические основы механики разрушения. М.: Мир, 1973. 605 с.
2. Ануров Ю.М., Федорченко Д.Г. Основы обеспечения прочностной надёжности авиационных двигателей и силовых установок. СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2004. 390 с.
3. Биргер И.А. Остаточные напряжения. М.: Машгиз, 1963. 232 с.

### **Сведения об авторах**

Селиванова Евгения Евгеньевна, аспирант. Область научных интересов: механика остаточных напряжений, механика разрушения.

Синицин Кирилл Сергеевич, аспирант. Область научных интересов: механика остаточных напряжений, механика разрушения.

Коньхова Александра Сергеевна, аспирант. Область научных интересов: механика остаточных напряжений, механика разрушения.

Злобин Андрей Сергеевич, к.т.н., без звания. Область научных интересов: механика остаточных напряжений, механика разрушения.

Маханькова Екатерина Анатольевна, студент гр. 2303. Область научных интересов: механика остаточных напряжений, механика разрушения.

## **EVALUATION OF THE TECHNICAL DURABILITY OF MACHINE DETAILS AT THE STAGE OF DESIGN WORKS**

Selivanova E.E., Zlobin A.S., Sinicyn K.S., Konyhova A.S., Mahankova E.A.  
Samara University, Samara, Russia, [sopromat@ssau.ru](mailto:sopromat@ssau.ru)

*Keywords: durability, fatigue, stresses, deformation, computational and analytical method, deformation and energy criterion.*

One of the most important processes, along with increasing product reliability, is also reducing costs at all stages of the life cycle. In particular, modern design packages make it possible to reduce the time for making changes to the design, coordinating models, developing manufacturing technology. This paper describes the computational and experimental methods for predicting the effect of technological heredity on the durability of machine parts at the stage of designing engine parts; the introduction of these approaches will significantly reduce the number of full-scale tests of parts.