

УДК 621.45.017

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ВАЛА ТУРБИНЫ НД ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ПРОГНОЗИРОВАНИЮ ЕГО РЕСУРСНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ

Аксенов Е. В., Селиванов И. А.

Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С. П. Королёва, г. Самара

ПАО «Кузнецов», г. Самара

Условия работы авиационных ГТД характеризуются значительной циклическостью нагружения, оказывающую определяющую роль в ограничении ресурса. Целью ресурсных испытаний отдельных деталей двигателя является прогнозирование их ресурса и проверка технологических и конструктивных мероприятий.

В ходе подготовки и освоения производства двигателя НК-32 серии 02 была произведена смена типа и поставщика заготовок вала турбины низкого давления (ТНД), являющегося основной деталью двигателя. В данной работе авторами рассматриваются результаты исследования, выполненные в подтверждение ресурсных возможностей вала ТНД.

Исследования проводились в два этапа: на первом выполнено всестороннее исследование характеристик конструкционной прочности материала в соответствии с требованиями, в подтверждение достаточного запаса долговечности, проведены лабораторные циклические испытания вала ТНД эксплуатационными нагрузками. Механические свойства материалов, используемых в анализе прочности, получены в виде результатов испытаний стандартных образцов. Лабораторные испытания совместно собранных валов компрессора низкого давления (КНД) и ТНД проводились на установке для статических испытаний валов на кручение с тензометрированием вала ТНД и определением угла поворота совместно собранных валов.

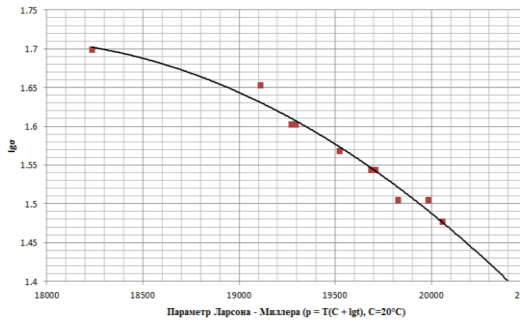
В результате проведенного исследования установлено соответствие механических свойств минимально допустимым по ТУ для материала вала – ЭП517 (15X12Н2МФВАБ).

Кратковременные механические свойства определялись на стандартных образцах при $T = 20^{\circ}\text{C}$ и $T = 550^{\circ}\text{C}$; их соответствие с минимально допустимыми по ТУ приведены в таблице 1.

Таблица 1. Значения кратковременных механических свойств материала по результатам испытаний

Температура, °С	Механические свойства			
	σ_B , кгс/мм ²	$\sigma_{0,2}$, кгс/мм ²	δ , %	ψ , %
20	116,9	99,5	15,3	51,3
По ТУ	110	90	10	45

Предел длительной прочности $\sigma_{500}^{600} = 32 \text{ кгс/мм}^2$. Результаты испытаний и зависимость $lg\sigma$ от параметра Ларсона-Миллера для материала ЭП517 при температуре представлены на рисунке 1.



Температура испытания, $T, ^\circ\text{C}$	Напряжение, σ , кгс/мм ²	Время до разрушения, час
600	50	7 ⁴⁰
	45	77 ⁰⁰
	40	118 ⁰⁰
	40	125 ²⁵
	37	228 ⁴⁰
	35	351 ¹⁰
	35	375 ⁰⁰
	32	510 ⁰⁰
	32	768 ³⁰
	30	940 ⁰⁰

Рис. 1. Результаты испытаний на длительную прочность

Испытание образцов на малоцикловую усталость проводилось при несимметричном знакопостоянном «мягком» цикле нагружения на базе $N = 5 \cdot 10^4$ циклов. Работа проводилась на гладких образцах $d = 5\text{мм}$ и образцах с надрезами $r = 1\text{мм}$, $r = 0,5\text{мм}$ и при температурах $T = 20^\circ\text{C}$ и $T = 500^\circ\text{C}$. Кривые малоциклового усталости представлены на рисунке 2.

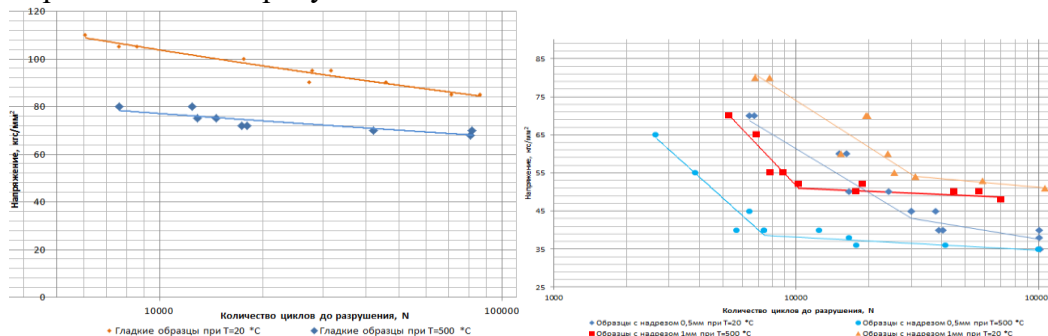


Рис. 2. Кривые малоциклового усталости по результатам испытаний гладких образцов и образцов с надрезами при $T = 20^\circ\text{C}$ и $T = 500^\circ\text{C}$

Результаты лабораторных испытаний натурального вала ТНД с запасом подтвердили обеспечение циклических параметров назначенного ресурса двигателя.

При нагрузке $M_{кр} = 11500\text{кг}\cdot\text{с}\cdot\text{м}$, $M_{кр} = 12000\text{кг}\cdot\text{с}\cdot\text{м}$, $M_{кр} = 12500\text{кг}\cdot\text{с}\cdot\text{м}$ было зарегистрировано возникновение и развитие пластической деформации вала, которая была зафиксирована как по показаниям тензодатчиков, так и по показанию угломера в виде остаточной деформации $\sigma_{ост}$ (кгс/мм²), $\varphi_{ост}$ (°). Максимальный диапазон замеренных напряжений на ступени нагружения $M_{кр} = 12500\text{кг}\cdot\text{с}\cdot\text{м}$ составил $\sigma_{зам} = -113 \div -151$ кгс/мм², угол поворота $\varphi = 25,5^\circ$, $\varphi_{ост} = 9,0^\circ$. При металлургическом исследовании установлено, что разрушение вала произошло по механизму малоциклового усталости с очагами на поверхности отверстия $\varnothing 22\text{мм}$; качество материала детали по химическому составу, твердости и структуре соответствует требованиям ТУ. Места разрушения показаны на рисунке 3.



Рис. 3. Вал ТНД после циклического разрушения

Результаты проведенных всестороннего исследования материала и циклических испытаний подтверждают возможность установления вала ТНД циклических параметров назначенного ресурса двигателя.

Библиографический список

1. Авиационные материалы. Том 3. ВИАМ, 1989.

2. Ануров Ю. М. Основы обеспечения прочностной надёжности авиационных двигателей и силовых установок / Ю. М. Ануров, Д. Г. Федорченко. – СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2004. – 390 с.
3. Кочеров Е. П. Разработка деформационно-энергетического метода оценки прочности элементов конструкций / Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук, 2012. – 160 с.
4. Фролов К. В. Машиностроение. Энциклопедия в сорока томах / В. Ф. Мануйлов. Том 3 «Технологии заготовительных производств». – М.: Машиностроение, 1996. – 734 с.
5. Manson, S. S. Thermal stress and low-cycle fatigue. NY: McGraw-hill, 1966. – 344 p