

УДК 539.3

Д.Ю.Фокин (6 курс, каф. МПУ), А.С.Семенов, к.ф.-м.н., доц.

ВЛИЯНИЕ АНИЗОТРОПИИ И ПОЛЗУЧЕСТИ МАТЕРИАЛА НА НДС ЛОПАТОК ГАЗОВОЙ ТУРБИНЫ

Современная тенденция развития газотурбинных двигателей состоит в увеличении температуры газа на входе в турбину. В связи с этим появилась необходимость использования материалов, которые наиболее приспособлены к работе в условиях высоких температур и их больших градиентов. В настоящей работе показывается, что применение анизотропного (монокристаллического) материала целесообразно для решения указанных проблем.

Ниже представлены результаты анализа напряженно-деформированного состояния (НДС) рабочей лопатки газо-турбокомпрессора (ГТК–25 И). Лопатка состоит из рабочей части – пера (рис. 1), и хвостовика, с помощью которого она крепится к диску. Перо лопатки работает в агрессивных условиях (высокие температуры, большие градиенты температур в стенках охлаждаемых лопаток).

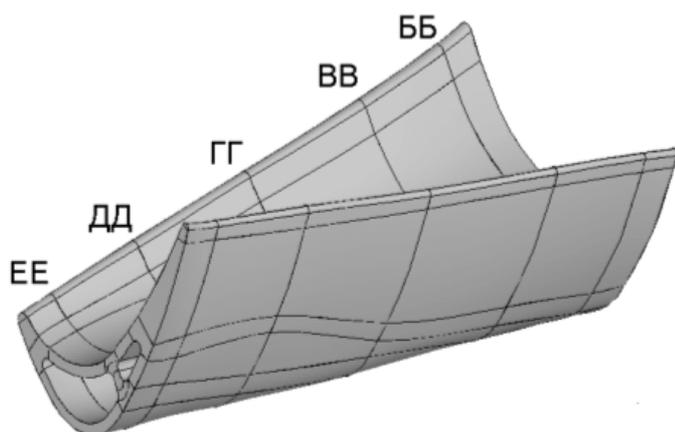


Рис. 1. Характерные сечения пера лопатки

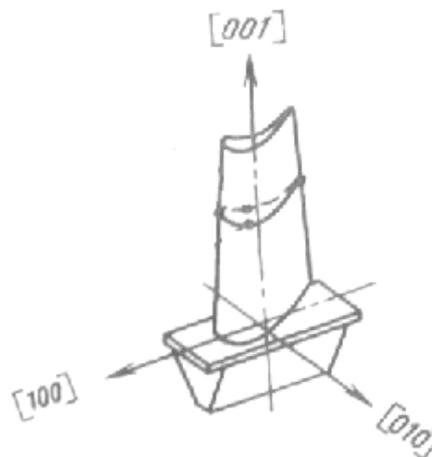


Рис. 2. Направления кристаллографических осей монокристалла

Анализ напряженно-деформированного состояния лопатки производился на основе метода конечных элементов с использованием пакета ANSYS. Результаты получены на основе решения задач теплопроводности и упругости в трехмерной постановке с учетом температурной зависимости характеристик материала. Лопатка подвержена влиянию центробежной нагрузки (радиус вращения $R = 0.843$ м, угловая скорость ротора $\omega = 5100$ об/мин). Температура пера лопатки: 775, 767 и 760 °С соответственно для верхнего, среднего и нижнего сечений пера.

Значения модулей упругости для рассматриваемых анизотропного (монокристаллического) и изотропного материалов представлены в табл. 1. В случае анизотропного материала ось 001 совпадает с осью лопатки (рис. 2).

Таблица 1. Значения модулей упругости.

Анизотропный материал	Ориентация	E, ГПа			Изотропный материал	E, ГПа		
	hkl	20 °C	750 °C	1000 °C		20 °C	700 °C	800 °C
	[001]	137.5	107.3	95		200	160	157
	[011]	235	188.2	169.5				
	[111]	308	251.2	230				

Результаты сравнительного анализа для изотропной и анизотропной лопатки представлены в табл. 2 для пяти характерных сечений пера лопатки (рис. 1).

Таблица 2. Средние значения интенсивности напряжений в сечениях (МПа).

Сечение (см. рис. 1)	ББ	ВВ	ГГ	ДД	ЕЕ
Обычная кристаллизация	131.02	119.38	90.36	64.8	28.1
Направленная кристаллизация	128.7	120.6	92.7	65.1	26.7

Уровень напряжений в табл. 2 соответствует требованиям норм прочности для сроков эксплуатации до 100000 ч лопаток из сплавов IN 738 LC и ЗМИ-3У. На рис. 3 приведены результаты сопоставления интенсивности напряжений по обводу профиля сечения ББ для лопаток из изотропного и анизотропного материалов. Максимальные значения σ_i образуются на спинке лопатки (рис. 3), причем в случае анизотропного материала они заметно ниже, чем в случае изотропного. Также интенсивность напряжений в области выходной кромки заметно ниже в случае анизотропного материала.

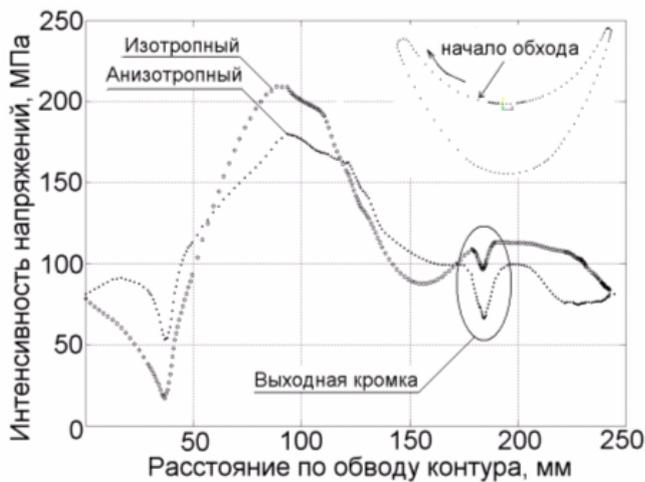


Рис. 3. Распределение интенсивности напряжений σ_i по контуру сечения ББ для изотропного и анизотропного материалов

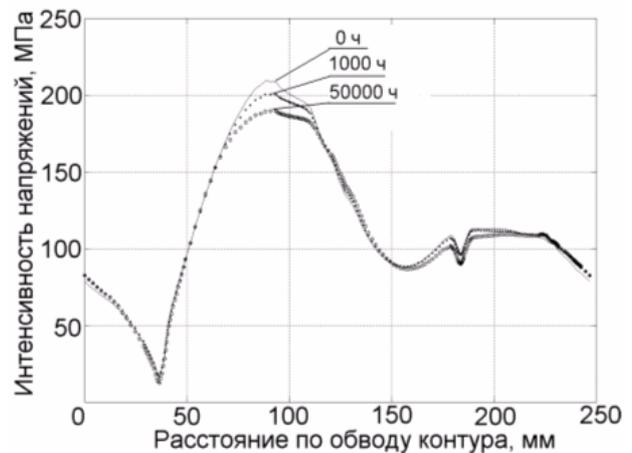


Рис. 4. Перераспределение интенсивности напряжений σ_i по контуру сечения ББ

Несмотря на то, что уровень напряжений в табл. 2 соответствует требованиям норм прочности, запасы по пределу длительной прочности по максимальным значениям интенсивности напряжений в сечении ББ оказываются не обеспеченными. Обычно предполагается, что они со временем перераспределяются за счет ползучести. Для проверки этого был проведен расчет на ползучесть лопатки из изотропного материала. Расчеты проводились при 750°C применительно к сечению ББ лопатки обычной кристаллизации с использованием закона для стадии установившейся ползучести (формула Нортона).

$$\dot{\epsilon}_i^c = B\sigma_i^n. \quad (1)$$

Результаты расчетов по релаксации и перераспределению напряжений с течением времени по контуру сечения ББ представлены на рис. 4. Анализ полученных результатов показал, что полного перераспределения не происходит даже за срок службы детали.