

3. ВИАМ. Поверхностный наклеп высокопрочных материалов. Сб. под ред. д.т.н. проф. С.И.Кишкиной. ОНТИ, 1971.
4. Усталостная прочность и долговечность авиационных конструкций. Межвузовский сборник, вып. I, Куйбышевский авиационный институт, 1974.

В.И.Егоров, К.Ф.Митряев

ВЛИЯНИЕ АЛМАЗНОГО ВЫГЛАЖИВАНИЯ НА КАЧЕСТВО ПОВЕРХНОСТИ И УСТАЛОСТНУЮ ПРОЧНОСТЬ СПЛАВА ЭИ698

Разрушение деталей из жаропрочных материалов при высокотемпературной эксплуатации, как правило, начинается с поверхности, так как поверхностные слои оказываются более напряженными в силовом и тепловом отношении, подвергаются активному воздействию внешней среды с постепенным образованием дефектного разупрочненного слоя. Этим и объясняется значительное влияние исходного состояния поверхностного слоя, в первую очередь наклепа и остаточных напряжений, на длительную и усталостную прочность.

Алмазное выглаживание выгодно отличается от других методов ППД стабильностью качественных показателей обработанной поверхности, благоприятным, с точки зрения эксплуатационных свойств, микрорельефом, небольшой глубиной наклепанного слоя и возможностью тонкого его регулирования, формированием высоких сжимающих остаточных напряжений. Все это приводит к повышению усталостной прочности не только при нормальной, но и высоких температурах.

Упрочнение алмазным выглаживанием деталей из жаропрочных сталей типа ЭИ961, ЭИ736, работающих при температурах до 500-550°C, способствует повышению усталостной прочности на 10-20%, деталей из сплавов на никелевой основе типа ЭИ437Б и ЭИ598, работающих при 600-850°C, - на 7-12% [1].

Данная работа посвящена исследованию влияния алмазного выглаживания на качество поверхности и сопротивление усталости из жаропрочного деформируемого сплава на никелевой основе ЭИ698. Этот сплав имеет высокую длительную прочность, сочетающуюся с достаточно высокой пластичностью, применяется для дисков газовых турбин, работающих при температурах до 750-800°C. Детали из него обычно

изготавливают точением или шлифованием с окончательным полированием для снижения шероховатости и снятия растягивающих остаточных напряжений.

В табл. I и на рис. I приведены основные характеристики качества поверхностного слоя после точения, полирования (производилось графитовым кругом со снятием припуска 0,005 - 0,007 мм) и алмазного выглаживания ($R_{ср} = 2,0$ мм; $P_y = 20$ кгс; $S = 0,05$ мм/об; $V = 20$ м/мин; $i = I$; СОЖ - масло).

Т а б л и ц а I

Характеристики качества поверхностного слоя в зависимости от вида обработки сплава ЭИ698

Вид обработки	R_a , мкм	Класс чистоты	$H_{пов}$, кгс/мм ²	Глубина наклепа, мкм	Степень наклепа, %	$\sigma_{ср}^{max}$, кгс/мм ²	$\sigma_{ст}^{max}$, кгс/мм ²
Точение	1,7	6	490	80	110	+50	+110
Полирование	0,20	9	470	10	103	0	0
выглаживание	0,18	9	630	350	140	-120	-80

Примечание. Сердцевина имела $H^{100} = 450 - 460$ кгс/мм².

Шероховатость поверхности после алмазного выглаживания по сравнению с точением снижается на 3 класса, микротвердость повышается на 30%, в поверхностном слое формируются высокие остаточные напряжения сжатия до +80 кгс/мм² в тангенциальном направлении и до +120 кгс/мм² - в осевом. Остаточные осевые и тангенциальные напряжения определялись с учетом их взаимного влияния.

Выносливость образцов определяли при чистом изгибе на машине МВП-10000 в соответствии с ГОСТ 2860-65 при температурах 20, 650 и 750°C. Были испытаны девять партий образцов, три из которых после точения полировались графитовым кругом и принимались за исходные, остальные шесть обрабатывались алмазным выглаживанием с различными усилиями P_y (остальные элементы режима выглаживания приведены выше). После испытаний была проведена статистическая обработка полученных данных на основе корреляционного анализа. На рис. 2 по результатам испытаний построены усталостные кривые в логарифмических координатах $\lg \sigma - \lg N$, а обработка результатов и вид корреляцион-

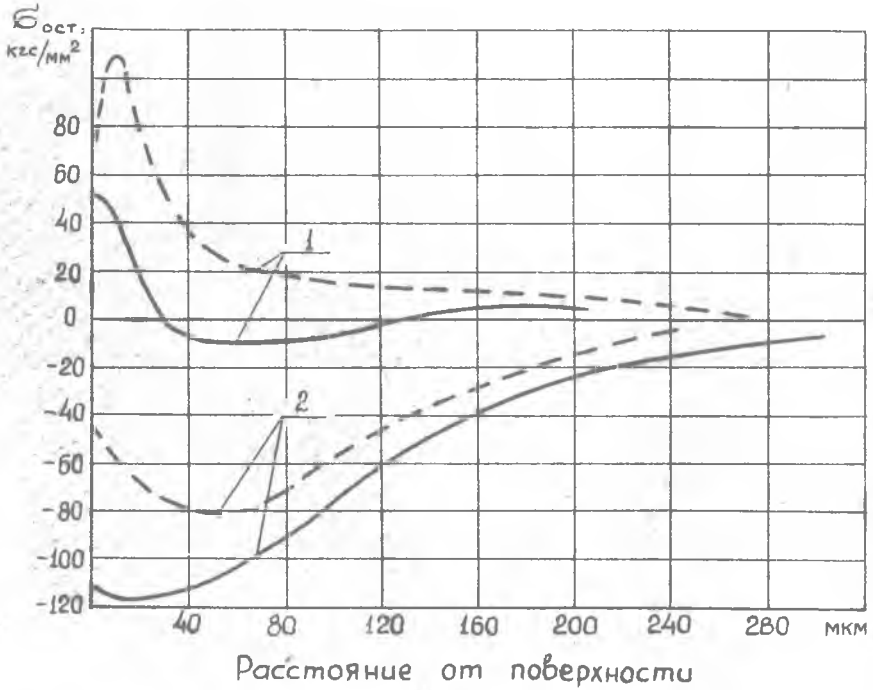


Рис.1. Остаточные напряжения (— осевые; - - тангенциальные) после точения (1) и алмазного выглаживания (2) сплава ЭИ698

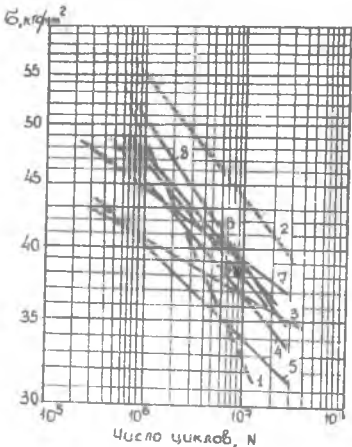


Рис.2. Изменение сопротивления усталости в зависимости от вида обработки сплава ЭИ 698:

1 - полирование, 20°C; 2 - выглаживание, $P_y = 10$ кгс, 200°C; 3 - полирование, 650°C; 4 - выглаживание.

$P_y = 10$ кгс, 650°C;
 5 - полирование, 750°C;
 6 - выглаживание, $P_y = 20$ кгс, 750°C;
 7 - " " $P_y = 10$ кгс, 750°C;
 8 - " " $P_y = 30$ кгс, 750°C;
 9 - " " $P_y = 30$ кгс, $t = 2$, 750°C

ных уравнений даны в табл. 2. Из этих данных видно, что при температуре 20°C применение алмазного выглаживания повышает предел усталостной прочности более чем на 30%, а долговечность—в 5–10 раз в зависимости от уровня напряжений. При температуре 650°C алмазное выглаживание имеет преимущество перед полированием только при базе испытаний $N < 10^7$ циклов, при более длительных испытаниях (на меньшем уровне напряжений) предел усталостной прочности выглаженных образцов становится несколько ниже, чем полированных. Испытания при более высокой температуре (750°C) показали, что выглаженные образцы при усилиях $P_y = 10, 20$ и 30 кгс и числе проходов $i = 1-2$ имеют на 7–14% более высокий условный предел усталостной прочности на базе $2 \cdot 10^7$ циклов, чем полированные. Долговечность их увеличивается в 5–7,5 раз при уровне напряжений в 43 кгс/мм². Наибольшее сопротивление усталости показали образцы, выглаженные с усилием 10 кгс, причем наклон кривой значительно выше, чем кривой неупрочненных (полированных) образцов, то есть при длительных испытаниях следует ожидать еще большего эффекта.

Из табл. 2 также видно, что при испытании выглаженных образцов имеется меньший разброс опытных данных, что характеризуется более высокими коэффициентами корреляции и меньшими значениями среднеквадратичного отклонения, чем у полированных. Это свидетельствует о повышении надежности работы выглаженных деталей.

Таким образом, выглаживание деталей из сплава ЭИ698, работающих при высоких температурах, дает, в основном, положительный результат. Имеющееся некоторое сближение предела усталостной прочности при 650°C, по-видимому, объясняется провалом пластичности при данной температуре. Поэтому при внедрении алмазного выглаживания на деталях, работающих при температуре, близкой к 650°C, и больших ресурсах, необходимы дополнительные натурные испытания.

Л и т е р а т у р а

1. Е г о р о в В.И., М и т р я е в К.Ф. Влияние алмазного выглаживания на качество поверхности и выносливость жаропрочных материалов при рабочих температурах. Сб.: "Исследование обрабатываемости жаропрочных и титановых сплавов". Вып. 2, Куйбышев, 1974.

Т а б л и ц а 2

Усталостная прочность и долговечность образцов из сплава ЭИ698
в зависимости от обработки и температуры испытания

Вид обработки	Темпе- ратура испыт. °С	Коли- чест- во об- раз- цов, шт.	Вид корреляцион- ного уравнения	Коэффи- циент корре- ляции	Средне- квадратичное откло- нение	Средневероятные значения		Долговечности N 2 при $\sigma_{\text{кгс}}/\text{мм}^2$	Км при $\sigma_{\text{кгс}}/\text{мм}^2$		
						σ - I на ба- зе циклов	кг на ба- зе				
Полирование Выглаживание $R_y = 10$ кгс	20	II	$\log N = 16,47 - 6,2 \log \sigma$	0,58	0,48	45,6	30,1	1,0	$5,5 \cdot 10^6$	$2,3 \cdot 10^6$	1,0
	20	II	$\log N = 2,2 - 12,8 \log \sigma$	0,80	0,31	51,1	40,9	1,36	$5,5 \cdot 10^7$	$1,5 \cdot 10^7$	$5,5 \cdot 10^7$
Полирование Выглаживание $R_y = 10$ кгс	650	IO	$\log N = 44,15 - 23,71 \log \sigma$	0,97	0,24	38,9	35,9	1,0	$8,9 \cdot 10^6$	$3,5 \cdot 10^5$	1,0
	650	II	$\log N = 23,57 - 10,65 \log \sigma$	0,79	0,32	41,8	33,5	0,72	$7,4 \cdot 10^6$	$1,7 \cdot 10^6$	$1,7 \cdot 10^6$
Полирование Выглаживание $R_y = 20$ кгс $R_y = 10$ кгс $R_y = 30$ кгс $R_y \div 30$ кгс $l = 2$	750	I6	$\log N = 28,14 - 13,74 \log \sigma$	0,83	0,51	39,0	33,1	1,0	$3,5 \cdot 10^6$	$5,5 \cdot 10^5$	1,0
	750	I5	$\log N = 20,07 - 8,23 \log \sigma$	0,73	0,39	47,1	35,6	1,07	$1,5 \cdot 10^7$	$4,7 \cdot 10^6$	7,5
	750	I4	$\log N = 30,94 - 14,98 \log \sigma$	0,96	0,22	44,7	32,8	1,14	$2,8 \cdot 10^7$	$3,5 \cdot 10^6$	5,4
	750	IO	$\log N = 25,32 - 11,54 \log \sigma$	0,85	0,24	44,5	36,4	1,1	$1,6 \cdot 10^7$	$3,2 \cdot 10^6$	4,8
	750	IO	$\log N = 24,87 - 11,26 \log \sigma$	0,81	0,27	44,5	36,3	1,1	$1,5 \cdot 10^7$	$3,2 \cdot 10^6$	4,8