

Таким образом, упрочнению микрошариками можно подвергать также и детали из жаропрочных сплавов, работающих в условиях повышенных температур.

Высокая эффективность упрочнения микрошариками проявилась на деталях из титанового сплава BT9 с резьбами M8xI,5, M10xI,5, M14xI,5. В данном случае применение других методов упрочнения резьб затруднено в связи с малыми радиусами впадин и вершин резьбы.

На основании вышеизложенного можно заметить, что разработка и внедрение дробеструйного упрочнения микрошариками явились резервом дополнительного повышения прочности и надежности, позволяющим расширить область применения поверхностного пластического деформирования деталей газотурбинных двигателей.

Л и т е р а т у р а

1. К о б р и н М.М. Эпюры остаточных напряжений при контактной и контактно-сдвиговой схемах поверхностного пластического деформирования. "Вестник машиностроения", 1963, № I.
2. О д н и г И.А. Основы прочности металлов паровых котлов, турбин и турбогенераторов. Госэнергоиздат, 1949.
3. С а в е р и н М.М. Контактная прочность материала. ЦНИИТМАШ. Кн.2, Машгиз, 1946.

Б.И.Крамаровский, А.Е.Вишняков, В.В.Степанов

ВОССТАНОВЛЕНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ЛОПАТОК КОМПРЕССОРА МЕТОДОМ ВИБРОГАЛТОВКИ СТАЛЬНЫМИ ШАРИКАМИ

В настоящее время многие газотурбинные двигатели имеют компрессоры с лопатками из стали IX12H2BMФ (ЭИ96I), которые упрочнены виброгалтовкой стальными шариками. Вместе с тем в эксплуатации имеется еще большое число изделий с неупрочненными лопатками компрессора. Такие лопатки при работе подвергаются эрозионному износу и механическим повреждениям кромок (забоины) более интенсивно, чем упрочненные. Вследствие этого предел выносливости неупрочненных лопаток меньше, что вызывает необходимость их замены на новые при промежуточном ремонте. У упрочненных лопаток выносливость практически не снижается,

и это позволяет их использовать в течение всего амортизационного ресурса двигателя. В частности, предел выносливости неупрочненных лопаток первой ступени компрессора при $N = 2 \cdot 10^7$ циклов после наработки 2000 часов снижается с $\sigma_{-1} = 36 \text{ кгс/мм}^2$ до $\sigma_{-1} = 30 \text{ кгс/мм}^2$, в то время как у упрочненных лопаток этой ступени он останется на постоянном уровне и равняется $\sigma_{-1} = 48 \text{ кгс/мм}^2$.

С целью продления срока службы неупрочненных лопаток компрессора была разработана технология их ремонта. При ремонте в первую очередь ставится задача удаления нарушенного (дефектного) слоя на поверхности пера.

Как показали исследования, продольная заполировка только кромок пера способствует повышению предела выносливости лопаток не более чем на 5%. Тщательная зачистка имеющихся повреждений путем применения двухкратного виброконтактного полирования на станке ШЛ-3 абразивной лентой БШ160Э5 № 12-10 и БШ160-25 № 5 с пастой и последующим продольным полированием кромок повышает предел выносливости восстанавливаемых лопаток на 15%.

Исследованиями остаточных напряжений методом Н.Н. Давиденкова установлено, что в поверхностном слое пера лопаток после двухкратного ВПЛ имеют место напряжения сжатия, а их величина не превышает 15 кгс/мм^2 .

Для улучшения качества поверхностного слоя, дополнительного повышения предела усталостной прочности и уменьшения эрозии лопаток была применена виброгалтовка стальными шариками на установках с трехкоординатной принудительной вибрацией. Упрочнение производилось в контейнере, представленном на рис. 1. Грузоподъемность виброустановки—80 кгс, амплитуда и частота колебаний в горизонтальной плоскости $A_r = 10 \text{ мм}$, $f_r = 14 \text{ 1/сек}$, в вертикальной — $A_g = 6 \text{ мм}$, $f_g = 12 \text{ 1/сек}$.

Виброгалтовка производилась последовательно в два приема:

1. Виброшлифование в течение 45–60 мин рабочей смесью: стальные шарики (ШХ15) диаметром 2–3 мм, абразивная паста (1/10 от объема шариков) с добавлением воды.

2. Виброупрочнение в течение 30–45 мин рабочей смесью: стальные шарики (ШХ15) диаметром 2–3 мм и растворитель.

Составы абразивной пасты и растворителя приведены в табл. I и 2.

Т а б л и ц а 1

Состав абразивной пасты

№ п/п	Компоненты	ТУ на компоненты	Вес, г
1	Карбид кремния зеленый М10	ГОСТ 3647-59	400
2	Окись хрома	ГОСТ 2912-58	50
3	Карбид бора № 12	ГОСТ 5744-62	25
4	Стеариновая кислота	ГОСТ 6484-64	550
5	Эмульгатор ОП-7 или ОП-10	ГОСТ 8433-57	400
6	Вода дистиллированная	ГОСТ 6709-53	500

Т а б л и ц а 2

Состав растворителя

№ п/п	Компоненты	ТУ на компоненты	Состав в весовых частях
1	Триэтаноламин	МРТУ6-02-403-67	1,5
2	Жидкое стекло	ГОСТ 13978-67	0,5
3	Дистиллированная вода	ГОСТ 6703-53	90

Диаметр шариков выбирался из условия обеспечения их вписывания в радиус перехода от пера к замку и отсутствия повреждения (расклепа) кромок. Время виброшлифования и виброупрочнения определялось опытным путем. Приведенные выше режимы работы и применение шариков диаметром 3 мм не вызывает повреждения кромок, если их толщина не менее 0,6 мм. Виброгалтовка лопаток, имеющих кромки, толщиной до 0,4 мм, проводилась шариками, диаметром 2 мм.

Тщательными обмерами с помощью приборов ПОМКД-4 большого количества лопаток установлено, что геометрия профилей в результате виброгалтовки практически не изменяется, съем металла составляет 3-5 мкм на сторону. Однако наблюдается смещение верхних сечений пера в сторону спинки в среднем на величину 0,3 мм на длине 150 мм и поворот этих сечений на 10-15 угловых минут.

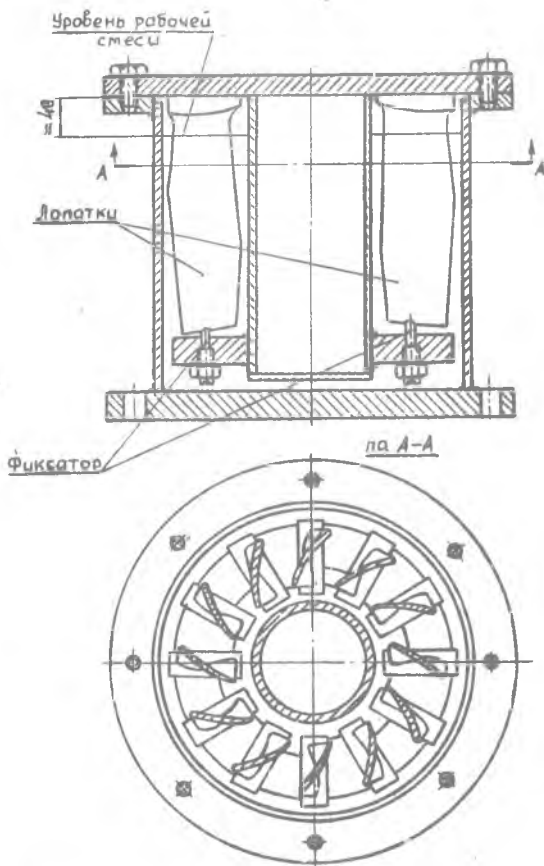


Рис.1. Контейнер для крепления лопаток, устанавливаемый на вибростенде

В поверхностном слое пера лопатки в результате упрочнения формируются остаточные напряжения сжатия $40-50 \text{ кгс/мм}^2$ с глубиной их залегания до $150-200 \text{ мкм}$ (рис.2). Глубина и степень наклепа равны соответственно $50-60 \text{ мкм}$ и $20-30\%$.

Усталостными испытаниями установлено, что предел выносливости упрочненных при ремонте лопаток выше на $25-30\%$, чем у исходных

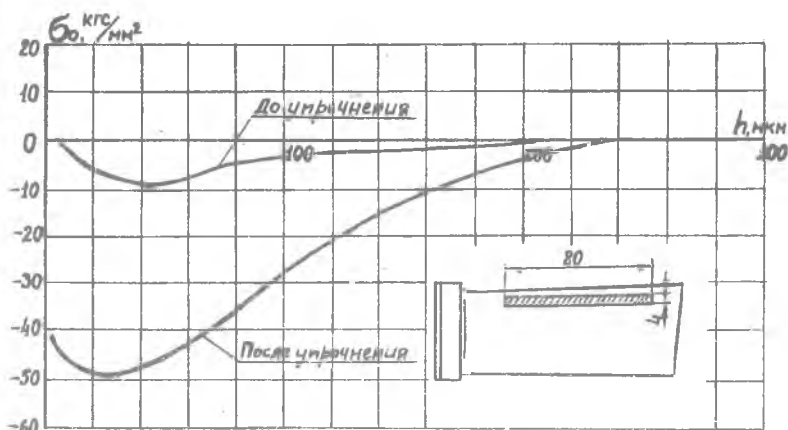


Рис.2. Эпюры остаточных напряжений в поверхностном слое пера лопатки

(лопатки с наработкой, подвергнутые виброконтактному полированию лентой ВПД-и зачистке кромок). Причем уровень условного предела выносливости достигает значений, близких соответствующему значению предела выносливости вновь изготовленных лопаток, упрочненных виброгалтовкой.

Проверка лопаток, подвергнутых двукратному ВПД, продольному полированию кромок и виброгалтовке стальными шариками, в изделиях подтвердила их полную работоспособность и надежность в течение амортизационного ресурса.

Данная технология при соответствующей отработке режимов может быть применена для ремонта лопаток из титановых сплавов и других материалов.