

# ОБРАБОТКА ЛОПАТОК КОМПРЕССОРА ГТД НА УСТАНОВКЕ С ПЛАНЕТАРНЫМ ДВИЖЕНИЕМ КОНТЕЙНЕРОВ (УПДК)

Сазонов М.Б.

Самарский Государственный аэрокосмический университет, г. Самара

Обработка лопаток компрессора среднего (КСД) и высокого (КВД) давления авиадвигателей, имеющих тонкие сечения и острые кромки, поверхностно-пластическим деформированием шарами на установках УПДК является перспективной, так как объединяет упрочнение и отделку в одну операцию. Кроме того, она позволяет уменьшить секущие удары по кромкам, обеспечить шероховатость поверхности в пределах 9-10-го классов и высокий уровень остаточных напряжений (ОН) сжатия с благоприятной эпюрой. Последнее особенно важно с точки зрения повышения сопротивления усталости тонкостенных деталей.

В процессе обработки контейнеры с закрепленными в них лопатками и с рабочей смесью в виде стальных шаров при  $\omega_k = -\omega_{пл}$  (рис.1) совершают поступательное движение по круговой орбите.

Кинематический и динамический анализ движения рабочей среды в контейнере показал, что упрочнение и отделка поверхностного слоя происходят под действием скоростного напора, удара и проскальзывания шаров, перемещающихся по круговой орбите со скоростью 8-11 м/с. Глубина, степень упрочнения и остаточные напряжения зависят от размера и массы шаров, скорости их движения и силы удара, общей массы рабочей среды, траектории ее циркуляции и угла встречи шаров с поверхностью детали. Поэтому важное значение имеют схема расположения и количество одновременно обрабатываемых лопаток, степень заполнения контейнера рабочими телами.

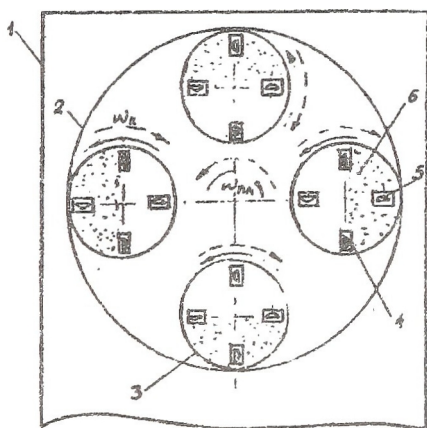


Рисунок 1 - Схема установки и закрепления лопаток компрессора в контейнере УПДК при  $\alpha=90^\circ$  (→ направление потоков рабочей среды): 1-корпус; 2-планшайба; 3-контейнер; 4-узел захвата; 5-лопатка; 6-рабочая смесь

При выборе схемы расположения лопаток необходимо также учитывать возможность сокращения вспомогательного и машинного времени. Возможны три варианта размещения лопаток в контейнере: с расположением пера по окружности ( $\alpha = 0^\circ$ ), под углом  $\alpha = 45^\circ$  и  $\alpha = 90^\circ$  к направлению вектора окружной скорости. Из этих вариантов каждый имеет определенные достоинства и недостатки.

Для лопаток КСД и КВД наиболее перспективной является обработка со схемой установки под углом  $\alpha = 90^\circ$  (см. рис. 1), так как она позволяет упрочнить спинку и корыто лопатки за одну установку путем реверсирования вращения планшайбы и значительно сократить общее время обработки.

Эффективность упрочнения по прогибу, параметрам шероховатости  $R_a$  и  $R_z$ , а также величине ОН проверялась на образцах - пластинах из стали У8А 7062061 мм, обрабатываемых шарами различного диаметра, при разных установках, скоростях и времени обработки. Значения перечисленных выше параметров приведены в таблице и на рис.2.

Деформационный прогиб ( $f$ ), шероховатость и ОН образцов из стали У8А (HRC 50-52) после обработки на УПДК

Рабочая смесь	Режимы обработки				Прогиб образца $f$ , мм	Параметры шероховат.		Остаточн. напряжения $\sigma_{ост}$ , МПа
	заполнение V, %	угол уст. $\alpha$ , град.	время обраб. $t$ , мин.	частота вращен. $n$ , об/мин		$R_a$ , мкм	$R_z$ , мкм	
Исходное состояние образца					0	2.1	5.3	-270
Стальная дробь диаметром 0,5-1,0 мм	60	0	8+8	390	0,23	1,6	3,1	
	50	45	6	390	0,22	1,9	3,5	
	60	90	6	390	0,28	1,7	3,0	-950
Стальные полированные шары диаметром 1,6 мм	50	0	5+5	330	0,3	1,7	3,5	-
	50	45	10	390	0,54	1,9	2,5	-880
	50	90	6	390	0,35	0,9	1,8	-680
Стальные полированные шары диаметром 2,5 мм	50	0	8+8	390	0,68	0,98	2,3	
	50	0	3+3	250	0,17	0,45	1,0	-
	50	45	3+3	250	0,26	0,65	1,2	-1100
	50	90	3+3	250	0,28	0,74	2,2	-1050

Из таблицы видно, что при обработке стальной дробью диаметром 0,5-1,0 мм деформационное упрочнение небольшое, в поверхностном и слое формируются ОН сжатия с максимумом у поверхности до -950 МПа. (см. рис. 2, кр.2), они быстро уменьшаются по глубине и на расстоянии от поверхности 0,12 мм не превышают -100 МПа. Такое упрочнение вполне приемлемо для лопаток КВД, имеющих кромки толщиной до 0,36 мм. Однако стальная дробь является недостаточно качественной не может обеспечить нужную шероховатость поверхности деталей без дополнительной отделочной обработки, а стальные полированные шары такого же диаметра слишком дороги.

Применение стальных полированных шаров диаметром 1,6 и 2,5 мм позволяет значительно увеличить деформационное упрочнение (на глубину до 0,2-0,3 мм) и в 2-3 раза снизить шероховатость, выровнять микрорельеф, сделать его более плавным и жестким. Однако исходные микровыступы полностью не деформируются и уровень шероховатости снижается только до 7-8-го класса. Для получения шероховатости 9-10-го класса необходимо уменьшить шероховатость исходной поверхности до 8-9-го класса на предварительных операциях.

ОН сжатия (см. рис.2, кр.3-6) при  $n=390$  об/мин имеют высокий уровень и распространяются на глубину более 0,2 мм, четко выявляется подслоный максимум на расстоянии 0,04-0,05 мм от поверхности; более значительное упрочнение и ОН до -1100 МПа при одинаковом времени обработки имеют место при  $\alpha=45^\circ$  и  $\alpha=90^\circ$ .

Результаты исследований, проведенных на лопатках КВД П-13-й ступеней из жаропрочного сплава ЭП718ВД, подтверждают данные, полученные на образцах из стали У8А.

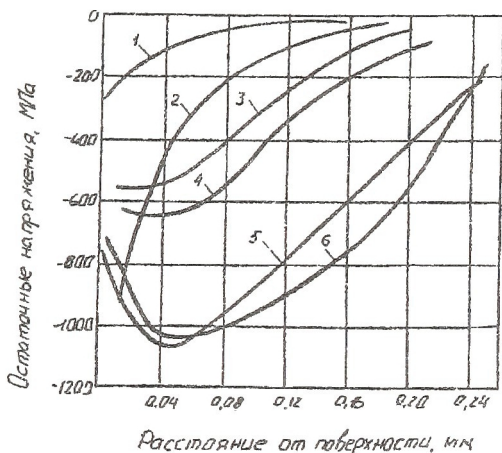


Рисунок 2 - Остаточные напряжения в образцах из стали У8А в исходном состоянии (кр.1) и после обработки на УПДК (режимы:  $n=390$  об/мин, СОЖ-вода+триэтанолламин,  $V=50\%$ ): 2-стальная дробь,  $d=0,5-1,0$  мм,  $\alpha=90^\circ$ ,  $\tau=16$  мин; 3-шары,  $d=1,6$  мм,  $\alpha=45^\circ$ ,  $\tau=6$  мин; 4-шары,  $d=1,6$  мм,  $\alpha=90^\circ$ ,  $\tau=10$  мин; 5-шары,  $d=2\div 2,5$  мм,  $\alpha=45^\circ$ ,  $\tau=6$  мин; 6-шары,  $d=2\div 2,5$  мм,  $\alpha=90^\circ$ ,  $\tau=6$  мин



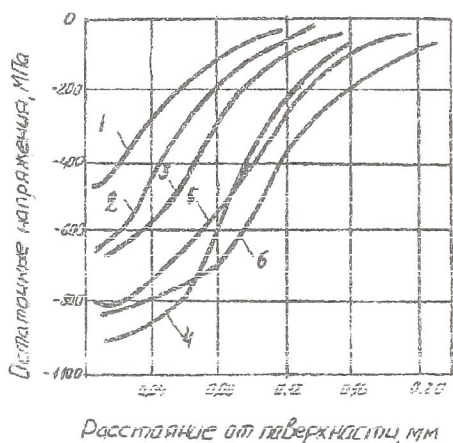


Рисунок 3 - Остаточные напряжения на спинке (кр.1,2,3) и корыте (кр.4,5,6) лопаток КВД из сплава ЭП718ВД после обработки на УПДК: ( $n=250$  об/мин, СОЖ-вода + триэтанолламин,  $V=50\%$ ): 1,4-шары,  $d=2,5$  мм,  $\alpha=45^\circ$ ,  $\tau=2+2$  мин; 2,5-шары,  $d=2,5$  мм,  $\alpha=90^\circ$ ,  $\tau=2+2$  мин; 3,6-шары,  $d=2,5$  мм,  $\alpha=90^\circ$ ,  $\tau=2,5+2,5$  мин

На рис.3 показаны эшоры ОН, полученные на образцах, вырезанных из пера лопаток КВД. ОН измерялись со стороны спинки и корыта. Применение шаров диаметром 1,6 мм эффективно при  $n=390$  об/мин, а шаров диаметром 2-2,5 мм при  $n=250$  об/мин. При установке лопаток по схеме с  $\alpha = 45^\circ$  имеется большое расхождение эшор ОН на спинке и корыте (см. рис. 3, кр. 1 и 4), что связано с различными условиями деформации. Это вызывает необходимость перестановки лопаток при обработке. При установке лопаток с  $\alpha = 90^\circ$  эшоры ОН на спинке и корыте сближаются (см.рис.3, кр. 2,3, 5,6), что позволяет производить обработку с одной установки.

Для оценки эффективности упрочнения на УПДК были проведены три серии усталостных испытаний лопаток 13-й ступени КВД на воздушном вибраторе с частотой колебаний  $F = 2200$  Гц на базе  $2 \times 10^7$  циклов. Лопатки обрабатывались на режимах, указанных на рис. 3, с соответствующими эшорами ОН. Упрочнение на каждом режиме производилось при установке в каждый контейнер по 8 лопаток. Для предотвращения расклепа кромок лопатки затенялись специальными экранами.

Шероховатость поверхности профиля пера лопаток после обработки на УПДК снизилась с  $R_Q=0,26...0,31$  мкм до  $R_Q=0,08...0,15$  мкм, что соответствовало требованиям чертежа. ОН сжатия во всех трех сериях имеют максимум у поверхности и колеблются в пределах  $-500...-900$  МПа.

Испытания показали, что предел выносливости после обработки на всех трех режимах является высоким и близким к  $\sigma_{-1}=600$  МПа. Наилучшие результаты получены на режиме:  $d=2,5$  мм;  $n=250$  об/мин;  $\tau=2,5+2,5$  мин;  $\alpha=90^\circ$ ; СОЖ вода + триэтанолламин. При повторном испытании лопаток, обработанных на этом режиме, получен предел выносливости, равный 620 МПа.

Таким образом, обработка лопаток малого размера на УПДК является эффективной как с точки зрения их выносливости, так и с точки зрения производительности и социальных условий работы.