

ОТДЕЛОЧНО-УПРОЧНЯЮЩАЯ ОБРАБОТКА И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ИЗДЕЛИЙ

К.Ф.Митряев, А.С.Белнев, В.В.Степанов

АЛМАЗНОЕ ВЫГЛАЖИВАНИЕ КАК МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ ВЫНОСЛИВОСТИ ХРОМИРОВАННЫХ И АЗОТИРОВАННЫХ ДЕТАЛЕЙ АВИАДВИГАТЕЛЕЙ

Для улучшения механических и физико-химических характеристик поверхностного слоя деталей авиадвигателей, работающих в условиях трения, коррозионной среды и знакопеременных нагрузок, широкое применение находят гальваническое хромирование и химико-термическая обработка - азотирование.

Хром как металл с высокой твердостью и коррозионной устойчивостью, играет роль защитной оболочки, воспринимающей на себя внешние химические воздействия и контактные нагрузки. Улучшение свойств поверхностного слоя после азотирования происходит за счет его насыщения азотом и образования мелкодисперсных азотосодержащих фаз, а также химических соединений - нитридов. В результате существенно повышается твердость и износостойкость поверхностного слоя, в нем формируются сжимающие остаточные напряжения, так как образование азотосодержащих фаз идет с увеличением объема.

Однако данные процессы имеют ряд существенных недостатков. При хромировании в покрытии появляются микротрещины, поры, формируются остаточные напряжения растяжения. При азотировании происходит охрупчивание поверхностного слоя, увеличение его шероховатости, а также возможно появление микротрещин. Все это снижает эксплуатационные свойства деталей. Известно также [1-4], что применение упрочняющих видов обработки в ряде случаев существенно уменьшает или полностью устраняет указанные недостатки.

В статье приводятся результаты исследований влияния алмазного выглаживания на качество поверхности и усталостную прочность образцов из конструкционных сталей 38ХМЮА и Х12Н20ТЗР (ЭИ696). Детали из первой стали, как правило, азотируются, из второй - азотируются или покрываются хромом.

Хромирование и азотирование образцов производилось по технологии предприятия. Толщина хромового покрытия составляла 32 мкм.

Механические свойства сталей после термообработки и азотирования приведены в табл. I.

Т а б л и ц а I

Механические свойства сталей
после термообработки и азотирования

Марка стали и термообработки	σ_B , кгс мм ²	δ_5 , %	ψ , %	Темпе- ратура, °С	h, мм	Твер- дость Hv, ² кг/мм ²
Ст. 38ХМЮА, Закалка 930-950°С, Отпуск 600-670°С, Охл. в масле.	100	15	50	500	0,5-0,6	900- 1000
Ст. Х12Н20ТЗР, Закалка 1100-1150°С, Старение 700-750°С 16 часов	90	10	15	700	0,2-0,3	550- 700

Алмазное выглаживание выполнялось на токарном станке на режимах: $R_{сф} = 1,8$ мм, $S = 0,05$ мм/об, $V = 87$ м/мин, $i = 1$, СОЖ - машинное масло, $P_y = 25$ и 30 кгс - соответственно для хромированной и азотированной поверхностей.

При алмазном выглаживании хромового покрытия, нанесенного на шлифованную поверхность образцов из стали Х12Н20ТЗР, шероховатость поперечных неровностей снижается с 7 до 10 класса (ГОСТ 2789-59), микрорельеф характеризуется волнистым профилем со скругленными выступами и впадинами, исключая концентрацию напряжений. Кроме того, в результате пластического деформирования хромового слоя при выглаживании происходит изменение структуры микротрещин с частичным их залечиванием; существенно снижается пористость покрытия, в нем формируются сжимающие остаточные напряжения. При нанесении хрома на выглаженную поверхность также снижается его шероховатость и пористость, но в меньшей мере, чем при непосредственном его деформировании, улучшается сцепляемость покрытия с основой.

На рис. 1 представлены эпюры тангенциальных остаточных напряжений, измеренных на кольцах без учета влияния осевых для стали Х12Н20ТЗР. Как видно, остаточные напряжения в поверхностном слое шлифованных образцов (кривая 1) на глубине до 250 мкм являются растягивающими с максимумом до 44 кгс/мм². У выглаженных (кривая 3), наоборот, сжимающими напряжениями достигающими 90 кгс/мм². При нанесении хрома на шлифованную поверхность (кривая 2) в покрытии формируются растягивающие остаточные напряжения, достигающие у поверхности 46 кгс/мм², при нанесении на выглаженную поверхность напряжения растяжения остаются лишь в слое толщиной около 15 мкм и максимум их снижается до 15 кгс/мм² (кривая 4). Алмазное выглаживание по хрому, нанесенному на выглаженную поверхность (кривая 5), приводит к образованию в нем только сжимающих напряжений. Величина их у поверхности достигает 63 кгс/мм².

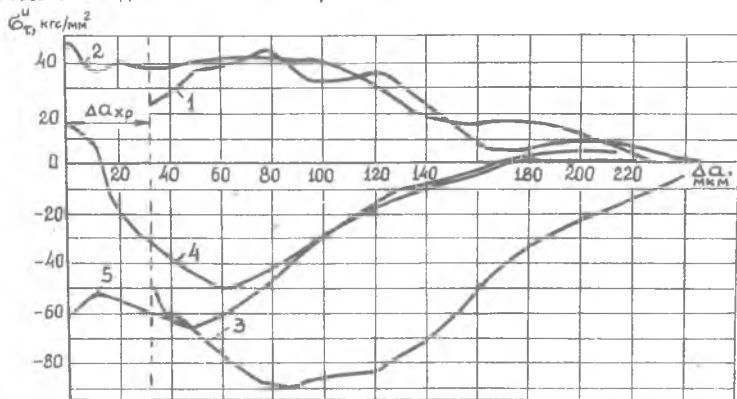


Рис. 1. Эпюры тангенциальных остаточных напряжений в образцах из стали Х12Н20ТЗР после различных видов обработки:

1 - шлифование, 2 - шлифование + хромирование, 3 - шлифование + алмазное выглаживание, 4 - шлифование + алмазное выглаживание + хромирование, 5 - шлифование + алмазное выглаживание + хромирование + алмазное выглаживание

Для проверки влияния алмазного выглаживания на усталостную прочность хромированных деталей были проведены испытания пяти серий образцов из стали Х12Н20ТЗР на машине МУИ-6000 при симметричном изгибе на базе $5 \cdot 10^6$ циклов. Как видно из рис. 2, шлифованные образцы без покрытия имеют условный предел усталостной прочности

26 кгс/мм² (кривая 1). Выглаживание шлифованных образцов (кривая 3) приводит к увеличению предела выносливости до 64 кгс/мм², т.е. в 2,5 раза. Нанесение хрома, как на шлифованную (кривая 2), так и на выглаженную поверхности (кривая 4) вызывает снижение усталостной прочности соответственно до 20 и 52 кгс/мм². Это связано с наличием в хромовом покрытии растягивающих остаточных напряжений (рис. 1) и микротрещин, которые являются концентраторами напряжений и очагами зарождения усталостных трещин.

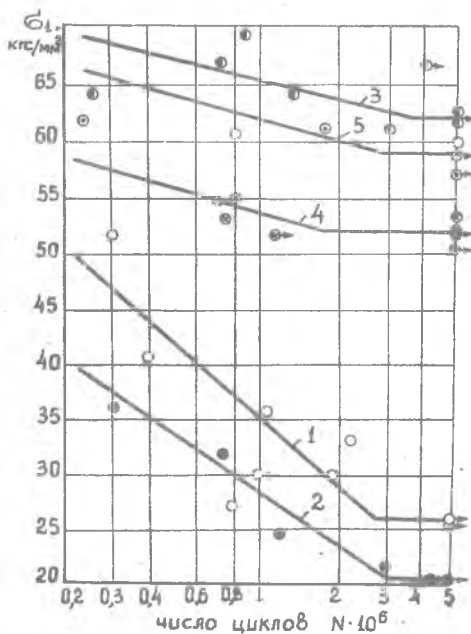


Рис. 2. Кривые выносливости при симметричном изгибе образцов из стали Х12Н20ТЗР при различной обработке поверхности: 1 - шлифование $\nabla 8$, 2 - шлифование + хромирование $\nabla 7$, 3 - шлифование + алмазное выглаживание $\nabla 10$, 4 - шлифование + алмазное выглаживание + хромирование $\nabla 9$, 5 - шлифование + алмазное выглаживание + хромирование + алмазное выглаживание $\nabla 10$

Однако во втором случае трещины из слоя хрома в основу не распространяются, так как встречают барьер в виде упрочненного выглаживания слоя металла со сжимающими остаточными напряжениями. В этом случае, как правило, очаги усталостного разрушения зарождаются под этим слоем, по-

этому уровень усталостной прочности остается достаточно высоким. Алмазное выглаживание по хрому дополнительно повышает усталостную прочность с 52 до 58 кгс/мм² (кривая 5) и почти полностью устраняет вредное влияние хромового покрытия.

Таким образом, алмазное выглаживание поверхностей деталей под хромирование и после хромирования существенно повышает качество поверхности деталей и их циклическую прочность.

Алмазное выглаживание деталей под азотирование или после азотирования снижает шероховатость поверхности по сравнению со шлифованием на 2-3 класса, обеспечивает получение более высоких сжимающих остаточных напряжений (рис. 3), повышает микротвердость поверхности, улучшает равномерность азотирования стали Х12Н20ТЗР. Все это способствует повышению эксплуатационных свойств.

На рис. 4 представлены кривые усталостных испытаний образцов из стали 38ХМЮА. Как видно, минимальный предел усталостной прочности - 36 кгс/мм^2 имеют шлифованные образцы (кривая 1). Образцы, упрочненные выглаживанием (кривая 2) и азотированием (кривая 3), имеют более высокий предел усталости - 41 кгс/мм^2 . Это, прежде всего, обусловлено различием остаточных напряжений в поверхностном слое (рис. 3). Если у шлифованных образцов на глубине до 200 мкм имеют место растягивающие остаточные напряжения с максимумом до 35 кгс/мм^2 , то у азотированных после шлифования и просто выглаженных они сжимающие и достигают $50-60 \text{ кгс/мм}^2$, а у выглаженных и дополнительно азотированных доходят до 80 кгс/мм^2 .

Роль шероховатости в повышении усталостной прочности менее существенна. Это видно из того, что у азотированных после шлифования образцов чистота на два класса ниже, чем у выглаженных, усталостная прочность их одинакова. Об этом свидетельствует и тот факт, что дополнительное выглаживание азотированных образцов и снижение их шероховатости с 8 до 10 класса повышает предел усталости лишь до $42,5 \text{ кгс/мм}^2$ (кривая 4). При этом не исключается влияние некоторого увеличения сжимающих остаточных напряжений.

На рис. 5 приведены результаты усталостных испытаний образцов из стали Х12Н20ТЗР. Здесь еще в большей мере сказывается роль упрочнения выглаживанием и азотированием. Минимальный предел усталости (26 кгс/мм^2) имеют шлифованные образцы (кривая 1). После алмазного выглаживания предел усталостной прочности повышается до 61 кгс/мм^2 (кривая 2), то есть в 2,3 раза. Использование выглаживания в соче-

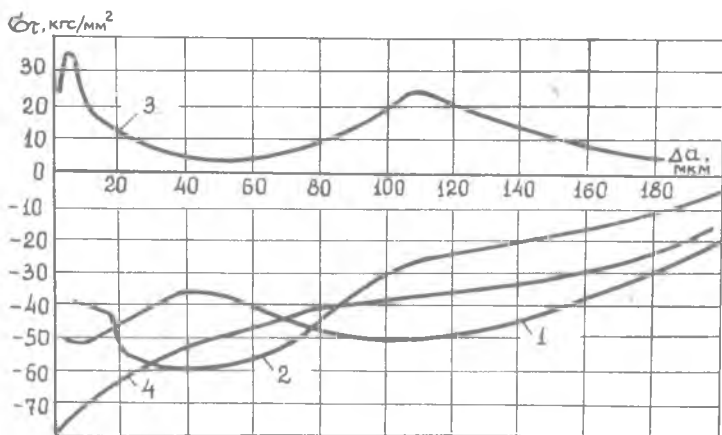


Рис.3. Тангенциальные остаточные напряжения в образцах из стали 38ХМЮА после различных видов обработки поверхности:

1 - шлифование + азотирование, 2 - шлифование + алмазное выглаживание, 3 - шлифование, 4 - шлифование + алмазное выглаживание + азотирование

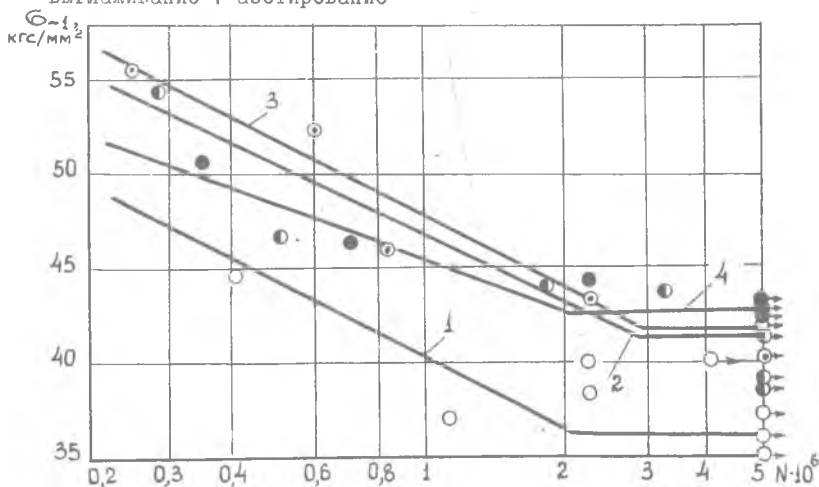


Рис.4. Кривые выносливости при симметричном изгибе образцов из стали 38ХМЮА при различной обработке поверхности:

1 - шлифование $\nabla 8$, 2 - шлифование + алмазное выглаживание $\nabla 10$, 3 - шлифование + азотирование $\nabla 8$, 4 - шлифование + азотирование + алмазное выглаживание $\nabla 10$

тани с азотированием (кривые 3 и 4) повышает предел усталостной прочности до $63 \frac{\text{кгс}}{\text{мм}^2}$. Здесь также решающую роль играет образование в поверхностном слое при выглаживании и азотировании остаточных напряжений сжатия.

Таким образом, с точки зрения повышения усталостной прочности, упрочнение поверхности алмазным выглаживанием и азотированием одинаково весьма эффективно.

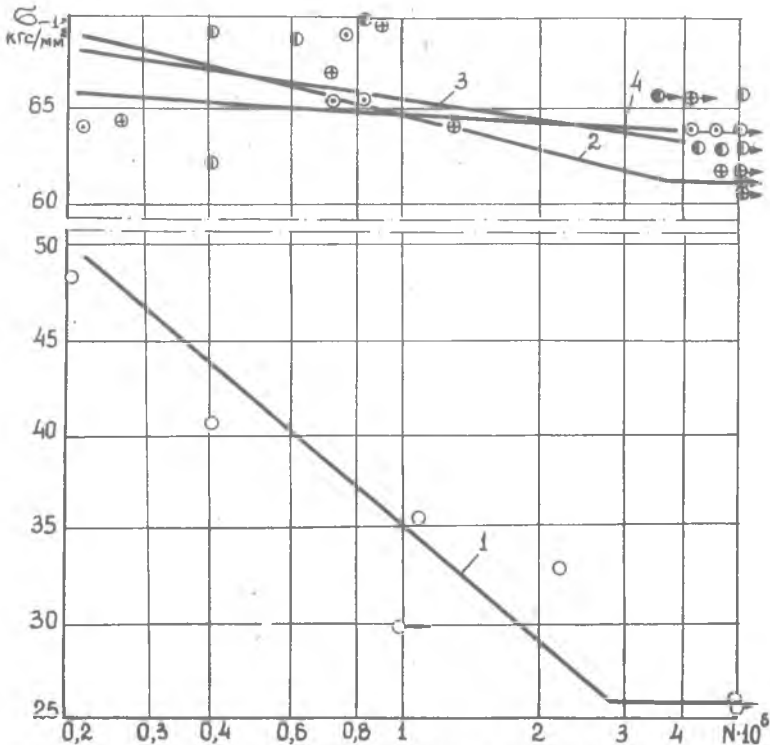


Рис.5. Кривые выносливости при симметричном изгибе образцов из стали X12H20T3P при различной обработке поверхности:

1 - шлифование $\nabla 8$; 2 - шлифование + алмазное выглаживание $\nabla 10$;
 3 - шлифование + алмазное выглаживание + азотирование $\nabla 10$; 4 -
 шлифование + азотирование + алмазное выглаживание $\nabla 10$

Сочетание алмазного выглаживания с азотированием существенно повышает износостойкость поверхностей по сравнению со шлифованием и полированием. На рис. 6 приведена диаграмма износа азотированных образцов из стали 38ХМЮА при трении качением с проскальзыванием в паре с роликами из закаленной стали ШХ15. Как видно, в период приработки наибольший износ имеют шлифованные образцы (47 мг), меньший — полированные (35,7 мг) и самый малый — шлифованные и дополнительно выглаженные. Здесь, кроме микротвердости и остаточных напряжений, большую роль играет минимальная шероховатость и благоприятный микрорельеф выглаженной поверхности, обеспечивающий наименьшие контактные нагрузки.

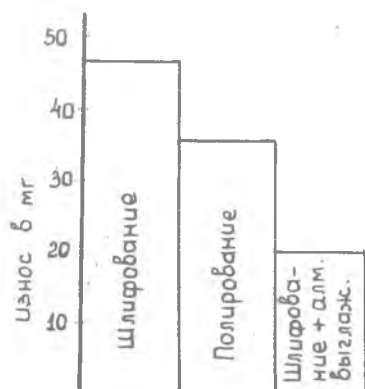


Рис. 6. Диаграмма износа азотированных образцов из стали 38ХМЮА, обработанных различными способами

шени качества поверхности хромируемых и азотируемых деталей, обеспечивает существенное повышение их усталостной прочности, износостойкости, коррозионной устойчивости, геометричности и др.

Л и т е р а т у р а

1. К у д р я в ц е в И.В. Внутренние напряжения как резерв прочности в машиностроении. Машгиз, 1951.
2. Б а л т е р М.А. Упрочнение деталей машин. М., "Машиностроение", 1968.

Алмазное выглаживание внедрено в производство на ряде хромируемых и азотируемых деталей. Так, применение выглаживания до хромирования и азотирования и после этих процессов на клапане перепуска воздуха позволило исключить дефект по контактной коррозии и задирам на трущихся поверхностях, повысить их износостойкость, увеличить его ресурс и надежность.

Из сказанного можно сделать

следующие выводы:

алмазное выглаживание является эффективным способом повышения

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