

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ТЕРМОПЛАСТИЧЕСКОГО УПРОЧНЕНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ДЕТАЛЕЙ ГТДИЗЖАРПРОЧНЫХ И ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ

© 2012 ВишняковМ.А.

ФГБОУ ВПО «Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королева (национальный исследовательский университет)», Самара

APPLICATION OF METHOD OF TERMOPLASTICHESKOGO WORK-HARDENING FOR INCREASE OF OPERATING PROPERTIES OF DETAILS OF GTD FROM ZHARPROCHNYKH AND TITANIC ALLOYS

© 2012 VishnyakovM.A.

The results of influence of the termoplasticheskogo work-hardening are resulted on resistance tireless durability of details of GTD from heatproof and titanic alloys

В настоящее время для авиадвигателестроения повышение сопротивления усталостной прочности наиболее ответственных деталей и механизмов, работающих в условиях циклических нагрузок и повышенных температур, остается все более актуальной проблемой. Данная задача может быть решена различными путями. Одним из них является применение методов упрочняющей технологии, основанных на поверхностном пластическом деформировании (ППД). Применение указанных методов гарантирует создание в поверхностном слое детали благоприятной эпюры сжимающих остаточных напряжений при соответствующей степени деформационного упрочнения.

Влияние остаточных напряжений на сопротивление усталости связано с тем, что при наличии в поверхностном слое сжимающих остаточных напряжений указанная характеристика изделия значительно возрастает. Практика эксплуатации газотурбинных двигателей свидетельствует о том, что

Деформационное упрочнение оказывает положительное влияние на усталостную прочность деталей при комнатной температуре. При высоких температурах упрочнение поверхностного слоя во многих случаях оказывается вредным, снижающим эксплуатационные качества детали.

Таким образом, для повышения усталостной прочности деталей, работающих при циклических нагрузках в условиях повышенных температур, наиболее приемлемым является такой метод упрочнения, который позволит обеспечить создание в поверхностном слое благоприятных остаточных напряжений сжатия при минимальной степени деформационного упрочнения.

Процесс образования остаточных напряжений сквозным нагревом с последующим ускоренным охлаждением получил название «термопластическое упрочнение» (ТПУ).

По сравнению с упрочняющими методами, основанными на ППД, метод ТПУ имеет важную особенность: он практически не вызывает дополнительного увеличения степени упрочнения поверхностного слоя.

Для подтверждения указанных положений можно привести результаты исследования остаточных напряжений в пере термоупрочненной лопатки компрессора из титанового сплава BT9. Они свидетельствует о том, что в поверхностном слое образцов толщиной $h \geq 2$ мм формируются сжимающие остаточные напряжения величиной 560-660 МПа с глубиной проникновения свыше 150 мкм. При этом напряжения с наибольшими значениями располагаются на поверхности. Это обстоятельство является особенно важным, поскольку максимальные рабочие

напряжения обычно находятся на поверхности детали. Также установлено, что в образцах толщиной $h \leq 1,5$ мм (район входной и выходной кромок пера) на глубине 15-30 мкм наблюдаются растягивающие остаточные напряжения, величиной 250-350 МПа.

Поскольку кромка является наиболее слабым местом лопатки, повышение характеристик качества поверхности в районе кромки будет, несомненно, способствовать увеличению работоспособности всей лопатки. Исследования показывают, что решить эту проблему можно за счет присоединения при ТПУ к тонким участкам кромки ($h < 2$ мм) специальной дополнительной массы (накладки).

Установлено, что после упрочнения в образцах толщиной $h = 0,87$ и $1,18$ мм, взятых соответственно из входной и выходной кромок, величины максимальных остаточных напряжений составляют 270-320 МПа при глубине залегания до 130 мкм. В более толстых образцах толщиной $h = 1,4-2,2$ мм, вырезанных из центральной части пера, величины наибольших остаточных напряжений находятся в пределах 400-600 МПа. При этом глубина их проникновения превышает 200 мкм.

Таким образом, использование специальной дополнительной массы, нивелирующей влияние масштабного фактора, дает возможность при ТПУ создать равномерное поле сжимающих остаточных напряжений по всему перу лопатки с любой сложной геометрической формой.

Аналогичные закономерности наблюдаются и для лопаток турбины ГТД из сплавов ЖС6Ф, ХН70МВТЮБ и др.

Известно, что диски турбины, а точнее места их соединения с рабочей лопаткой («елочные» пазы), являются одними из наиболее нагруженных элементов в газотурбинном двигателе. Практика эксплуатации ГТД свидетельствует о том, что дефекты в указанных местах могут носить необратимые последствия и привести к остановке всего двигателя. Поэтому увеличение долговечности работы «елочных» пазов дисков турбин играет

существенную роль в повышении работоспособности всего агрегата газовой турбины.

Поскольку для повышения сопротивления усталости деталей, работающих в указанных выше условиях, наиболее приемлемым является метод термопластического упрочнения, возникла необходимость исследования его эффективности применительно к «елочным» пазам дисков турбин из жаропрочных материалов.

Остаточные напряжения исследовались в образцах, вырезанных из межпазовых выступов диска турбины из жаропрочной стали 20Х12ВНМФ. Установлено, что после ТПУ в поверхностном слое всех образцов формируются благоприятные напряжения сжатия с максимумом на поверхности при большой глубине залегания. Например, на торцевой поверхности выступа величина радиальных остаточных напряжений равна -500 МПа. Глубина залегания напряжений существенно превышают 250 мкм.

Для подтверждения положительного влияния процесса ТПУ на сопротивление усталости упрочняемых деталей были проведены испытания образцов из соответствующих материалов. Они показали, что предел выносливости образцов из сплава ВТ9 после ТПУ равен $\sigma_{-1} = 340$ МПа, что на 42% выше, чем у образцов, не прошедших упрочнение ($\sigma_{-1} = 240$ МПа).

Аналогичные данные получены на образцах из стали 20Х12ВНМФ. Предел выносливости образцов без ТПУ составил $\sigma_{-1} = 230$ МПа, а после упрочнения - $\sigma_{-1} = 273$ МПа, что на 19% больше. Необходимо отметить, что с увеличением базы испытания относительный прирост предела выносливости растет, то есть наблюдается эффект «самоупрочнения». Кроме того, малая степень релаксации остаточных напряжений, созданных при ТПУ, также способствует большему времени до момента зарождения усталостной микротрещины. В связи с отмеченными особенностями, указанные повышения предела выносливости на 42 и 19%, по-видимому, могут быть выше.

Приведенные выше результаты свидетельствуют о том, что термопластическое упрочнение обеспечивает в поверхностном слое деталей из жаропрочных сталей и титановых сплавов с любой сложной

геометрической формой благоприятную эпюру остаточных напряжений сжатия, которые являются одной из основных причин повышения сопротивления усталостной прочности этих деталей.

УДК 621.914

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА ФРЕЗЕРОВАНИЯ ЖАРОПРОЧНЫХ СПЛАВОВ

© 2012 А.Н. Волков, М.Б. Сазонов

Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет), Самара

THE INCREASE EFFICIENCY OF HIGH-TEMPERATURE ALLOYS MILLING PROCESS

© 2012 Volkov A. N., Sazonov M. B.

The high-temperature alloys milling of the half-side and face carbide-tipped milling cutter is considered. The calculation formulae for durability of milling cutter and velocity of cutting are stated. The rational parameters of cutting conditions and the marks of lubricant fluid cooling are determined.

В производстве современных летательных аппаратов и их двигателей широкое распространение занимают детали из жаропрочных сплавов, отличающиеся крайне низкой обрабатываемостью. Обработка сопровождается большими силами и температурами, малой стойкостью инструмента и низкой производительностью.

Исследование фрезерования жаропрочного сплава ВЖЛ 14Н проводилось дисковыми двусторонними фрезами, оснащёнными твёрдосплавными пластинами марки ВК8 на станке 6Т82Г-1. Основные параметры инструмента и режима резания были следующие: диаметр фрезы $D=156$ мм, посадочный диаметр $d=50$ мм, ширина фрезы $B_0=20$ мм, число зубьев $z=18$, $\gamma=10^\circ$, $\varphi=90^\circ$, $\varphi_1=3^\circ$, фаска по задней поверхности $f=1$ мм, $\alpha_f=16^\circ$, угол наклона зубьев $\omega=8^\circ$, радиус при вершине зуба $R=2$ мм, $\alpha_R=12^\circ$. За критерий притупления принимался износ по задней поверхности зубьев $h_z=0,8...0,9$ мм. Фрезерование велось при симметричном расположении заготовки относительно

фрезы с вертикальной подачей. Глубина, ширина фрезерования и длина хода составляли соответственно $t=25$ мм, $B=2$ мм и $H=35$ мм.

Определение влияния скорости резания на стойкость фрез проводились при следующих параметрах режима резания: $v=15,4; 24,5$ и 49 м/мин, $S_z=0,018$ мм/зуб, СОЖ-МР-1. Эта зависимость может быть представлена в виде $T=5039/v^{1,58}$ для диапазона $v=15,4...24,5$ м/мин и $T=20408v^{2,0}$ для $v=24,5...49$ м/мин. Соответствующие скоростям резания $v=15,4; 24,5$ и 49 м/мин значения величин стойкости фрезы, минутной подачи и длины пути резания составили $T=67; 34; 8$ мин, $S_M=10,2; 16,2; 32,4$ мм/мин и $L=700; 560; 280$ мм. Таким образом, увеличение скорости резания в диапазоне от $15,4$ до $24,5$ м/мин увеличивает производительность по машинному времени в $1,6$ раза и снижает количество обрабатываемых деталей в $1,25$ раза. В диапазоне скоростей от $24,5$ до 49 м/мин увеличение минутной подачи и