

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

уменьшение пути резания составляет 2 раза.

Установление влияния подачи на стойкость фрез осуществлялось при $v=15,4$ м/мин и $S_z=0,011; 0,018$ и $0,029$ мм/зуб. В диапазоне

$S_z=0,011...0,018$ мм/зуб наблюдалось медленное снижение стойкости, определяемое зависимостью $T = 9/S_z^{0,5}$.

При этом, несмотря на уменьшение стойкости фрезы, длина пути резания при $S_z=0,018$ мм/зуб возросла в 1,18 раза, а производительность – в 1,64 раза.

Дальнейшее увеличение подачи с $S_z=0,018$ мм/зуб до $0,029$ мм/зуб ведёт к резкому падению стойкости фрезы и длины пути резания. Зависимость стойкости от подачи на этом участке определяется выражением $T = 0,021/S_z^{2,0}$. Стойкость фрезы падает в 2,8 раза, число ходов уменьшается в 1,67 раза, минутная подача растёт в 1,6 раза. Обобщённая формула для скорости резания имеет вид

$$v = \frac{60}{T^{0,625} \cdot S_z^{0,312}}$$

Были проведены испытания составных и сборных фрез. Стойкость сборных фрез оказалась выше составных (с напайными пластинами) в 1,3 раза. Сборные фрезы обладают и другими преимуществами: многократностью использования корпуса фрезы, сокращением расхода твёрдого сплава, более высокой точностью и др.

Среди различных смазывающе-охлаждающих жидкостей (СОЖ) для проведения опытов были выбраны МР-1, 20% эмульсия и Аквол-6. Эксперименты показали высокую эффективность СОЖ Аквол-6, применение которой даёт увеличение стойкости фрез в 1,3 раза относительно МР-1, в 1,5 раза по отношению к 20% эмульсии и в 2,5 раза по сравнению с работой без применения СОЖ. Особенно заметен быстрый рост износа фрез при работе всухую после достижения износа зубьев $h_3=0,35$ мм.

Исследование эффективности применения различных марок твёрдого сплава проводилось при торцевом

фрезеровании жаропрочного сплава ЭИ 598ВД. Основные параметры инструмента и режима резания были следующие: диаметр фрезы $D=120$ мм; $Z=1$; $\varphi=45^0$; $\varphi_1=10^0$; $\alpha=15^0$; $\alpha_1=10^0$; $\omega=10^0$; $v=14$ м/мин; $S_z=0,06$ мм/зуб; $t=80$ мм; $B=2$ мм. Фрезы оснащались вставными ножами. Наибольшую стойкость $T=32$ мин. имели фрезы с пластинами из ВК10-ОМ. Фрезы с пластинами из ВК15-ОМ и ВК8 показали стойкость соответственно 21 и 17 мин. Также было установлено, что наибольшую стойкость имеют фрезы с передним углом $\gamma=10^0$ и задним углом $\alpha=15^0$. Данное исследование проводилось однозубой фрезой. При этом увеличение подачи с $0,03$ до $0,07$ мм/зуб вызывало повышение стойкости однозубой фрезы в 4 раза и выражалось уравнением $T = 2832 \cdot S_z^{1,7}$. Затем происходил перелом зависимости стойкости и с $S_z=0,07$ мм/зуб до $S_z=0,12$ мм/зуб стойкость падала в 1,7 раза, и определялась уравнением $T = 3,8/S_z^{0,8}$.

Эксперименты, проведенные полнозубыми фрезами ($z=18$) показали иную зависимость изменения стойкости от подачи. Во всём диапазоне $S_z=0,03...0,07$ мм/зуб наблюдалось однозначное падение стойкости по уравнению $T = 1,3/S_z$. Такое различие характера изменения стойкости от подачи объясняется биением зубьев фрезы, величина которого составляла $0,03...0,04$ мм. Таким образом, подача, приходящаяся на выступающие зубья фрезы, увеличивалась на величину биения зубьев по сравнению с номинальной. Действие биения усугублялось вибрациями, которые всегда сопровождают процесс фрезерования. Специально поставленные опыты показали, что увеличение биения с $0,02$ до $0,05$ мм приводило к снижению стойкости фрезы в 2,5 раза. При фрезеровании жаропрочных сплавов биение зубьев фрезы должно тщательно контролироваться и сводиться к минимальной величине. Для этого целесообразно шлифовать заднюю поверхность зубьев после установки фрезы на станке.