

$$P_{z \min} + \frac{2}{3} P_{z \max} - \frac{2}{3} P_{z \min} = \frac{2}{3} P_{z \max} + \frac{1}{3} P_{z \min} \approx P_{z \text{ ср.}}$$

Таким образом, главная составляющая силы резания может быть представлена в следующем виде:

$$P_z = P_{z \text{ ср.}} - (P_{z \max} - P_{z \min}) \left( 0,1 \cos \frac{2\pi t}{T_0} + 0,32 \sin \frac{2\pi t}{T_0} \right) \quad (6)$$

Из уравнения (6) видно, что сила  $P_z$  состоит из двух частей - постоянной  $P_{z \text{ ср.}}$  и переменной, изменяющейся по гармоническому закону с периодом  $T_0$ , равным времени на отделение одного элемента при установившейся работе.

#### Л и т е р а т у р а

1. Д е п и л и н В.И., Ч е р е м и с и н А.С. Аппаратура и методика исследования мгновенного состояния зоны резания. Производительность, качество обработки и надежность в эксплуатации изделий из жаропрочных и титановых сплавов. Труды КуАИ, выпуск 43, Куйбышев, 1970.
2. Р е з н и к о в Н.И. Учение о резании металлов. М., 1947.

А.Н.Волков, И.Г.Попов

#### ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ ПРИ ОБРАБОТКЕ СПЛАВА В93 ДВУХПЕРЫМИ ФРЕЗАМИ

При обработке деталей сложной конфигурации из высокопрочного алюминиевого сплава В93 на станках с программным управлением широкое распространение находят концевые двухзубые фрезы с большой длиной режущей части.

Чтобы избежать поломок инструмента и связанного с ними брака изделий, назначение режимов резания необходимо производить с учетом максимальных значений сил, действующих на фрезу при резании с вибрациями, которые обычно сопровождают процесс обработки сплава В93.

При проведении динамических исследований основные параметры режима резания, за исключением исследуемого, оставались неизменными и имели следующие значения:  $D_{фД} = 28$  мм;  $\ell = 70$  мм;  $z = 2$ ;  $B = 55$  мм;  $t = 10$  мм;  $S_z = 0,08$  мм/зуб;  $V = 140$  м/мин.

Измерение сил резания при работе острой и затупленной фрезами производилось 3-компонентным фрезерным динамометром, обладающим высокой частотой собственных колебаний (1400 Гц), что позволило зафиксировать высокочастотные колебания сил резания и их максимальные значения.

На рис. 1 представлены графики зависимостей максимальных значений сил  $P_{V \max}$ ,  $P_{H \max}$  и  $P_{OC \max}$  от скорости резания.

Из приведенных графиков видно, что наибольшую величину имеет сила отжима фрезы  $P_{V \max}$ , направленная по нормали к обрабатываемой поверхности, которая превосходит другие составляющие в 3 и более раз. Наименьшую величину имеет осевая составляющая силы резания  $P_{OC \max}$ . Все составляющие силы резания при работе острой фрезой с увеличением скорости резания уменьшаются.

При работе затупленной фрезой с увеличением скорости резания эти силы, наоборот, возрастают, особенно  $P_{V \max}$ . Увеличение сил в этом случае объясняется тем, что при работе затупленной фрезой на высоких скоростях возрастает температура в зоне резания, обрабатываемый материал налипает на инструмент, увеличиваются силы трения по передней и задней граням.

Обращает на себя внимание тот факт, что максимальные значения сил резания на низких скоростях при работе острой фрезой выше, чем при работе затупленной.

Это объясняется значительно более высокими амплитудами вибраций острых фрез.

С увеличением подачи силы резания возрастают, причем в большей степени при работе затупленной фрезой. Так, при увеличении подачи с  $S_z = 0,04$  мм/зуб до  $S_z = 0,156$  мм/зуб составляющая силы  $P_{V \max}$  возрастает при работе острой фрезой в 1,25 раза, а при работе затупленной - в 1,85 раза.

Увеличение ширины фрезерования (рис. 2) вызывает значительное увеличение сил резания, и особенно составляющей  $P_{V \max}$ . При изменении ширины фрезерования с 45 мм до 55 мм наблюдается уменьшение максимальных значений силы резания, что объясняется перекрытием в работе зубьев и связанным с этим резким снижением амплитуд вибраций.

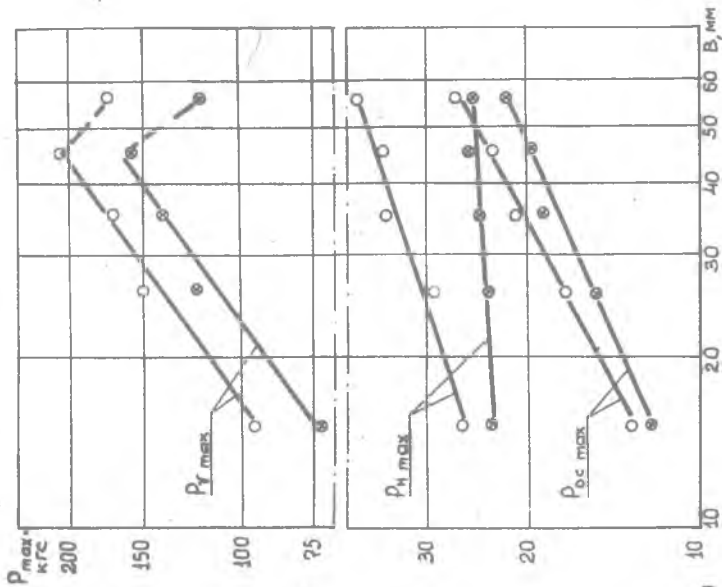


Рис. 2. Зависимость сил резания от ширины фрезерования: ○ — при работе острой фрезой; ⊙ — при работе затупленной фрезой.  $v = 1.40$  м/мин;  $t = 10$  мм;  $S_z = 0.08$  мм/зуд

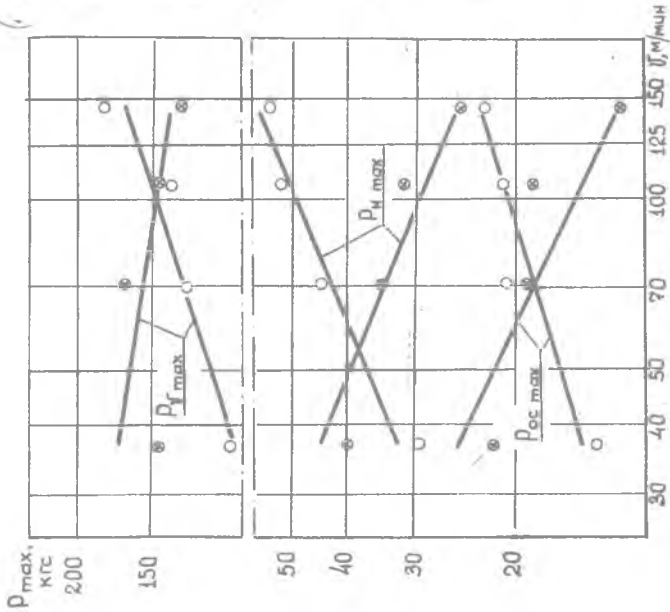


Рис. 1. Зависимость сил резания от скорости резания: ○ — при работе острой фрезой; ⊙ — при работе затупленной фрезой ( $h_{зад} = 0.2$  мм).  $B = 55$  мм;  $t = 10$  мм;  $S_z = 0.08$  мм/зуд

Увеличение глубины фрезерования вызывает значительное увеличение сил резания. Особенно сильное влияние глубина фрезерования оказывает на составляющую силы резания  $P_{H \max}$  при работе затупленной фрезой. Так, увеличение  $t$  с 3 мм до 14 мм вызывает увеличение  $P_{V \max}$  в 1,5 раза, а  $P_{H \max}$  - в 4 раза.

На основании проведенных динамических исследований были получены экспериментальные формулы для определения максимальных значений составляющих силы резания при фрезеровании в режиме вибраций, которые для случая работы притупившимися фрезами имеют вид

$$P_{V \max} = 3,3B^{0,71} t^{0,41} S_z^{0,4} V^{0,29};$$

$$P_{H \max} = 0,3B^{0,33} t^{0,62} S_z^{0,2} V^{0,56}$$

Максимальные значения составляющих силы резания при работе острыми фрезами в 1,3 - 1,5 раза меньше, чем рассчитанные по приведенным формулам.

С целью облегчения и ускорения нахождения составляющих силы резания  $P_{V \max}$  и  $P_{H \max}$  были построены номограммы, которые переданы производству для практического применения.

Полученные на основании формул или номограмм максимальные значения составляющих силы резания позволяют определить запас прочности инструмента при назначении оптимальных режимов фрезерования сплава В93.

А.Е.Вишняков

#### ИССЛЕДОВАНИЕ СИЛ И ТЕМПЕРАТУРЫ РЕЗАНИЯ ПРИ ПРОТЯГИВАНИИ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ

Для изготовления многих ответственных деталей и узлов ГТД широко используются титановые сплавы. Обработка этих сплавов связана с известными трудностями, вытекающими из их механических и теплофизических характеристик (относительно высокая механическая прочность, малая пластичность, низкая теплопроводность, склонность к схватыванию и др.). Очень часто наиболее эффективным методом обработки, обеспечивающим требуемую высокую точность и чистоту, является протягивание. А в ряде случаев, например, при изготовлении пазов в дисках турбин