

МАШИНОСТРОЕНИЕ

А. Г. ГАДУКЯН, В. П. АНДРЕЕВ

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ПРОЦЕССА  
ФРЕЗЕРОВАНИЯ КОНЦЕВЫМИ ФРЕЗАМИ

Широкая механизация и автоматизация технологических процессов значительно повысила актуальность изучения динамических процессов при резании металлов. Возрастающая потребность в инструментах с гарантированной стойкостью вызвала необходимость изучения всех фактов, влияющих на стойкость инструментов.

Главными динамическими характеристиками процесса фрезерования являются усилие резания и колебательные процессы.

В статье приведены результаты исследований изменения истинного максимального усилия резания, возникающего при фрезеровании концевыми быстрорежущими фрезами, в широком диапазоне режимного поля и конструктивных параметров инструмента. Исследования проводились методом активного однофакторного эксперимента с последующей математической обработкой результатов разработанным приемом, позволяющим отражать взаимное влияние исследуемых параметров.

Определение сил резания при обработке материалов резанием приобретает в настоящее время большое значение, вследствие применения программных станков с адаптивным управлением. Указанные станки позволяют корректировать режимы резания непосредственно в процессе обработки, и тем самым дают возможность наиболее эффективного использования эксплуатационных возможностей станка и инструмента. Как правило, основным сигналом для изменения режимов резания в этом случае является изменение сил резания.

Определение сил резания приобретает особое значение при обработке деталей инструментом, имеющим малую жесткость (концевой инструмент). В данном случае режущие свойства инструмента ограничиваются его прочностью. При этом, основными силами, вызывающими поломку инструмента и влияющими на точность обработки, являются составляющие силы резания, расположенные в плоскости, перпендикулярной оси инструмента. Наряду с этим, следует определять не среднее значение сил резания, а их максимальные значения. Это объясняется тем, что средние значения сил резания представляют интерес при определении мощности, затрачиваемой на резание. В данном случае режимы резания ограничиваются не мощностными возможностями станков, а прочностью инструмента, вследствие малой его жесткости. Максимальное значение

силы резания обуславливает возможность поломки инструмента и точность обработки деталей.

В соответствии с изложенным, в работе определяются максимальные значения составляющих усилия резания, расположенные в плоскости, перпендикулярной оси концевой фрезы.

В качестве сил, расположенных в плоскости, перпендикулярной оси фрезы, рассматриваются силы, действующие в направлении подачи  $P_s$  и перпендикулярной ей  $P_H$ . Кроме того, измерение составляющих силы резания  $P_s$  и  $P_H$  позволяет определить окружную  $P_0$  и радиальную  $P_r$  силы резания и, следовательно, крутящий момент и потребляемую мощность резания путем решения системы двух уравнений, соответственно, для встречного и попутного фрезерования [1].

$$P_s = P_0 \cos \psi \pm P_r \sin \psi;$$

$$P_H = \pm P_0 \sin \psi - P_r \cos \psi.$$

Но приведенная система уравнений справедлива только для прямоугольных фрез при числе одновременно работающих зубьев  $i_z \ll 1$ . Для фрез с винтовым зубом следует пользоваться следующей системой уравнений:

$$P_s = P_0 \cos \psi_{cp} \pm P_r \sin \psi_{cp};$$

$$P_H = \pm P_0 \sin \psi_{cp} + P_r \cos \psi_{cp}, \quad (1)$$

где  $\psi_{cp}$  — угол контакта, определяемый точкой приложения сосредоточенной силы, действующей на зуб фрезы и определяемый известными законами распределения величины составляющих силы резания вдоль зуба.

Составляющие усилия резания регистрировались посредством фрезерного динамометрического столика конструкции ВНИИинструмента и осциллографа И-700. Использовались фрезы с углом наклона режущей кромки  $\omega = 35^\circ$ , марки Р6М5.

Результаты проведенных исследований показали, что в зависимости от режимов резания и конструктивных параметров инструмента максимальные значения составляющих усилия резания  $P_s$  и  $P_H$  имеют смещения по дуге контакта, в соответствии с этим максимальное усилие резания в горизонтальной плоскости  $R$  следует определять выражением (2) или (3), в зависимости от наибольшего значения  $P_s$  или  $P_H$ :

$$R = P_{s_{\max}}^2 + P_{H_{\text{тек}}}^2; \quad (2)$$

$$R = P_{s_{\text{тек}}}^2 + P_{H_{\max}}^2; \quad (3)$$

где  $P_{s_{\text{тек}}}$ ,  $P_{r_{\max}}$  — текущее и максимальное значения составляющей усилия резания по направлению подачи;  $P_{H_{\text{тек}}}$ ,  $P_{s_{\max}}$  — текущее и

и максимальное значения составляющей усилия резания, перпендикулярной подаче.

На основе полученных результатов установлены общие эмпирические формулы (4) — (6), отражающие изменения составляющих усилия резания от подачи на зуб, глубины и ширины фрезерования, износа задней поверхности режущей кромки и диаметра фрез, позволяющие определять максимальное усилие резания  $R$  в горизонтальной плоскости.

Приведенные зависимости действительны при следующих пределах варьирования исследуемых параметров:  $S_2 = 0,02 - 0,2$  мм/зуб;  $V = 40$  м/мин;  $t = 1 - 16$  мм;  $B = 4 - 24$  мм;  $h_{з.п.} = 0 - 0,3$  мм;  $D = 16 - 40$  мм и имеют вид:

а) при обработке стали 45 —

$$\left. \begin{aligned} P_{S_{\text{мин}}} &= 4,84 \cdot S_2^{0,5} \cdot D^{-0,06} \cdot t^{1,16} \cdot B^{0,87} \cdot h_{з.п.}^{-0,26} \cdot e^{4,31h_{з.п.} - 0,017B - 0,136t}, \\ P_{P_{\text{тех}}} &= 87,95 \cdot S_2^{0,64} \cdot D^{-0,75} \cdot t^{0,85} \cdot B \cdot h_{з.п.}^{0,035} \cdot e^{-1,81h_{з.п.} - 0,0176B + 0,027t}, \\ P_{H_{\text{макс}}} &= 1117 \cdot S_2^{0,63} \cdot D^{-0,98} \cdot t^{0,76} \cdot B^{0,38} \cdot h_{з.п.}^{0,31} \cdot e^{-3,9h_{з.п.} - 0,078B + 0,043t}, \\ P_{S_{\text{тех}}} &= 40,9 \cdot S_2^{0,51} \cdot D^{0,12} \cdot t^{0,68} \cdot B^{-0,12} \cdot h^{-0,007} \cdot e^{1,23h_{з.п.} + 0,077B - 0,002t} \end{aligned} \right\} (4)$$

б) при обработке стали 18Х2Н4ВА —

$$\left. \begin{aligned} P_{S_{\text{тех}}} &= 7,1 \cdot S_2^{0,41} \cdot D^{0,08} \cdot t^{1,21} \cdot B^{1,52} \cdot h_{з.п.}^{-0,25} \cdot e^{4,18h_{з.п.} - 0,527B - 0,145t}, \\ P_{P_{\text{тех}}} &= 1076 \cdot S_2^{0,77} \cdot D^{-0,79} \cdot t^{0,83} \cdot B^{0,39} \cdot h_{з.п.}^{0,01} \cdot e^{-1,55h_{з.п.} - 0,025B - 0,009t}, \\ P_{H_{\text{макс}}} &= 521327 \cdot S_2^{0,83} \cdot D^{-1,1} \cdot t^{-0,33} \cdot B^{0,59} \cdot h_{з.п.}^{0,2} \cdot e^{-2,41h_{з.п.} - 0,058B - 0,008t - 11t}, \\ P_{S_{\text{тех}}} &= 5,8 \cdot S_2^{0,79} \cdot D^{0,14} \cdot t^{1,81} \cdot B^{0,34} \cdot h_{з.п.}^{-0,26} \cdot e^{3,78h_{з.п.} - 0,018B - 0,131t} \end{aligned} \right\} (5)$$

в) при обработке серого чугуна СЧ 24—44

$$\left. \begin{aligned} P_{S_{\text{мин}}} &= (37,6 + 44h_{з.п.}) \cdot S_2^{0,67} \cdot D^{-0,83} \cdot t^{0,99} \cdot B^{0,31} \cdot e^{-0,179 + 0,0028h_{з.п.}}, \\ P_{P_{\text{тех}}} &= (92,4 + 231h_{з.п.}) \cdot S_2^{0,65} \cdot D^{-0,99} \cdot t^{0,85} \cdot B^{1,2} \cdot e^{0,015t - 0,057B}, \\ P_{H_{\text{макс}}} &= (19178 + 9034,7 \cdot h_{з.п.}) \cdot S_2^{0,63} \cdot D^{-0,75} \cdot t^{-0,41} \cdot B^{0,34} \cdot e^{-(0,03B + 0,02(t-16)^2)}, \\ P_{S_{\text{тех}}} &= (9,12 + 26,8 \cdot h_{з.п.}) \cdot S_2^{0,52} \cdot D^{0,12} \cdot t^{0,97} \cdot B^{0,12} \cdot e^{-(0,023B + 0,025t)} \end{aligned} \right\} (6)$$

Полученные результаты позволяют:

1. Использовать зависимости максимальной составляющей усилия резания в качестве исходных данных для расчета адаптивных систем управления фрезерных станков с ЧПУ.

2. Использовать результаты исследований для расчета на прочность при конструировании комбинированного быстрорежущего инструмента для станков с ЧПУ и назначать оптимальные режимы обработки с точки зрения равномерности процесса.

АрмНИИМАШ

Поступило 3.11.1978.

Ս. Գ. ԳԱԼՈՒԿԻԱՆ, Վ. Ի. ԱՆԴՐԵՅՎ

ՊՈԶԱՅԻՆ ՖՐԵԶՆԵՐՈՎ ՖՐԵԶԵՐՄԱՆ ՊՐՈՅԵՍԻ  
ԿՐՏԱՄԵԿԱՆԻ ՌԻՈՒՄԵԱՍԻՐՈՒՄԸ

Ա ռ զ ի ս լ ի ս լ ի ս լ ի ս

Հողվածում բերված են կտրման ուժերի առաջնայություն բաղադրիչների որոշման մեթոդիկա, որի հիման վրա որոշվել են կտրման ուժերի փոփոխման ժամանակ իրական առաջնայություն արժեքները, որոնք անզեղում են պոլսիին ֆրեզների ջարդվելուն:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Ролкберг А. М. Динамика фрезерования М., «Советская плука» 1945