

5.02.08

18

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ СССР
Челябинский политехнический институт
имени Ленинского комсомола

На правах рукописи

ШАЛАМОВ ВИКТОР ГЕОРГИЕВИЧ

ИССЛЕДОВАНИЕ ОПЕРАЦИИ ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО ФРЕЗЕРОВАНИЯ
УЗКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ, ИЗГОТОВЛЯЕМЫХ ИЗ
ВЫСОКОПРОЧНОЙ СТАЛИ, ПОДВЕРГНУТОЙ ТМО

Специальность 05.02.08 - "Технология машиностроения"

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Челябинск - 1978

Работа выполнена на кафедре "Станки и инструмент"
Челябинского политехнического института им. Ленинского комсомола.

Научный руководитель - доктор технических наук,
профессор Д.К. Маргулис.

Официальные оппоненты - доктор технических наук,
профессор М.М. Тверской;
кандидат технических наук,
доцент М.Х. Утешев.

Ведущее предприятие - Челябинское тракторостроительное
объединение им. В.И. Ленина.

Автореферат разослан _____

Защита состоится _____ в _____ часов на заседании Спе-
циализированного Совета К-597/1 по присуждению ученых степеней
кандидата технических наук при Челябинском политехническом
институте им. Ленинского комсомола (454044, г. Челябинск, пр. им.
В.И. Ленина, 76, 2-й этаж, конференц-зал).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Ваши отзывы в двух экземплярах, заверенных печатью, просим
направлять по адресу: 454044, г. Челябинск, пр. им. В.И. Ленина, 76,
Ученый совет ЧПИ им. Ленинского комсомола.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ
СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО
СОВЕТА



В. М. МЕНЬШАКОВ

АННОТАЦИЯ

Работа посвящена исследованию технологической операции цилиндрического фрезерования сборными твердосплавными фрезами узких поверхностей деталей, изготовляемых из высокопрочной стали, подвергнутой термомеханической обработке (ТМО). Проведены исследования по выбору оптимальных марки твердого сплава, режимов резания и геометрии инструмента. Установлен характер действия сил резания на систему СПИД и проведен анализ силовых возмущений. Предложена методика расчета наибольшей допустимой величины радиального биения смежных зубьев фрезы. На основе исследований разработана конструкция инструмента для технологических операций обработки узких поверхностей деталей из высокопрочных материалов. Реализация практических рекомендаций позволяет значительно увеличить производительность и снизить себестоимость процесса обработки узких поверхностей.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность. Принятие XXV съездом КПСС "Основные направления развития народного хозяйства СССР на 1976-80 гг." предусматривают значительное улучшение качества выпускаемых машин и приборов, повышение их технического уровня, производительности и надежности при непрерывном повышении эффективности в организации производства.

Одним из путей решения этих задач является применение новых высокопрочных материалов, которые, отвечая эксплуатационным требованиям, обладают пониженной обрабатываемостью резанием. К таким материалам относится высокопрочная ($\sigma_B \approx 200 \text{ кг/мм}^2$) и твердая ($\text{HRC} \approx 50$) сталь, подвергнутая ТМО. Первые результаты по обработке этой стали в производственных условиях показали резкое снижение производительности и повышение расхода инструмента на всех операциях механической обработки.

В настоящей работе ставилась задача технологического решения операции обработки узких поверхностей.

Анализ технической литературы показал, что при черновой обработке узких поверхностей возможно значительное повышение производительности за счет применения цилиндрических фрез, однако практическое использование их весьма ограничено из-за отсутствия рациональной конструкции инструмента и трудностей его изготовления и заточки. К тому же, ввиду недостаточной изученности процесса ци-

цилиндрического фрезерования в настоящее время практически отсутствуют научно-обоснованные технологические рекомендации по применению этого метода при обработке узких поверхностей.

В связи с этим исследование, разработка и внедрение цилиндрического фрезерования узких поверхностей деталей, изготавливаемых из высокопрочных материалов являются актуальной задачей, направленной на повышение эффективности их обработки.

Цель работы. Теоретико-экспериментальное исследование операции цилиндрического фрезерования узких поверхностей деталей, изготавливаемых из высокопрочной стали, подвергнутой ТМО и разработка научно-обоснованных рекомендаций по обработке узких поверхностей в промышленности.

Научная новизна. Впервые проведено комплексное исследование процесса цилиндрического фрезерования на операции обработки высокопрочной и твердой стали.

Обоснован характер сил резания при цилиндрическом фрезеровании узких поверхностей. Проведен спектральный анализ возникающих импульсов силы резания, позволяющий научно-обоснованно вести борьбу с колебаниями и автоколебаниями.

Разработана методика определения наибольшей допустимой величины радиального биения смежных зубьев фрезы, которая обеспечивает работу всех зубьев на дуге контакта.

Практическая ценность. На основе проведенных исследований оптимизирован технологический процесс цилиндрического фрезерования узких поверхностей деталей из стали, подвергнутой ТМО, получены данные о величине сил резания, разработана конструкция инструмента. Внедрение результатов исследований на Курганском машиностроительном заводе позволило повысить производительность (по машинному времени) в 1,5 раза при одновременном увеличении стойкости инструмента в 2 раза.

Публикация. По результатам исследований опубликовано шесть работ в открытой печати.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, шести глав, выводов, списка использованной литературы из 94 наименований и 4 приложений и содержит 123 стр. машинописного текста, 20 таблиц, 53 иллюстраций.

СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА. ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Обработку узких поверхностей (до 25 мм) можно производить строганием, а также цилиндрическим и торцовым фрезерованием. Исследования И.И. Белякова, Л.М. Стедьмана, А.О. Этин показали, что производительность цилиндрического фрезерования в условиях черновой обработки узких поверхностей выше, чем при строгании и торцовом фрезеровании. Однако широкого распространения этот процесс не получил. В технической литературе практически отсутствуют сведения по цилиндрическому фрезерованию высокопрочных материалов.

Небольшая ширина фрезерования обуславливает ограниченное число зубьев фрез, находящихся одновременно на дуге контакта инструмента с заготовкой. Вследствие этого, а также учитывая механические свойства стали с ТМО, следует ожидать значительные по величине периодические колебания сил резания в процессе работы инструмента. Имеющиеся сведения по влиянию импульсного возмущения на систему СПИД весьма ограничены (В.В. Каминская, Н.С. Колев) и не позволяют учитывать условия операций в каждом конкретном случае.

Одной из особенностей обработки высокопрочных материалов является малая допустимая величина износа зубьев фрез по задней поверхности - 0,2...0,4 мм, что приводит к необходимости заточки зубьев инструмента наостро, без цилиндрической фаски по задней поверхности. В связи с погрешностями заточки и наладки инструмента возникает радиальное биение зубьев, которое оказывает существенное влияние на процесс резания (И.Ш. Балжничер, А.М. Даниелян, А.И. Исаев, М.Н. Ларин, Г.П. Мосталыгин, А.Х. Раждобреев, И.С. Шохов). Однако научно-обоснованных рекомендаций по назначению этого параметра лано не было.

Из изложенного вытекает необходимость проведения комплексных исследований операции цилиндрического фрезерования узких поверхностей деталей из высокопрочной стали, подвергнутой ТМО.

С учетом критического анализа литературных данных в соответствии с целью работы в диссертации решались следующие задачи:

- 1) установление оптимальных инструментальных материалов, режимов резания и геометрии инструмента;
- 2) исследование характера и величины окружной силы резания;
- 3) изучение влияния радиального биения зубьев фрез на процесс резания;
- 4) разработка и внедрение научно-обоснованных технологических рекомендаций в производство.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Силовые и стойкостные исследования проводились на горизонтально-фрезерном станке модели 6Н82. Для экспериментов использовали листовую сталь, подвергнутую ТМО, с твердостью НРС 46...54. Стойкостные исследования выполняли однозубыми фрезами с механическим креплением зуба. Износ зуба фрезы контролировали по трем параметрам: фаска износа по задней поверхности (лупой Бринелля), радиус округления режущей кромки по методике проф. Д.Н. Маргулиса, радиальный износ (специальным приспособлением). Фотографирование износа по передней и задней поверхности зуба фрезы осуществляли на микроскопе МИМ-6.

Шероховатость обработанной поверхности измеряли на профилографе-профилометре модели "201" завода Калибр. Для контроля микротвердости использовали микротвердомер ПМТ-3. Глубину наклепанного слоя определяли путем последовательного травливания поверхностных слоев металла.

Измерение окружного усилия производили с применением осциллографа Н-700, в качестве упругого звена диаметра использовали хвостовик фрезы, на который наклеили тензорезисторы 2ПКБ 5х50. Исследования вели на многозубых фрезах различного конструктивного исполнения: $D = 122$ мм; $Z = 14, 20, 24$; $\omega = 30, 45, 60^\circ$; величина окружной равношагости $\Delta E = 0, 3, 5, 10^\circ$.

В качестве математического аппарата исследований применяли метод наименьших квадратов, метод планирования эксперимента.

Обработку полученных результатов и практические расчеты выполняли на ЭВМ "Наири-К".

ИЗНОС И СТОЙКОСТЬ ЗУБЬЕВ ФРЕЗ

При цилиндрическом фрезеровании стали с ТМО износу подвергается непосредственно режущая кромка инструмента. Износ носит усталостный характер с элементами хрупкого разрушения. Основным видом износа являются местные сколы. Из группы исследованных твердых сплавов (Т5К10, Т5К12В, Т14К8, Т15К8, ВК60М, ВК8, ВК10 ОМ, ТТ7К12, ТТ8К8, ТТ10К8В) лучшим по себестоимости единицы обработанной поверхности и производительности оказался твердый сплав ВК8.

Влияние геометрий зуба фрез на стойкость в широком интервале варьирования переменных исследовали однофакторным методом. В результате определена оптимальная геометрия зуба фрез: $\omega = (45 \pm 5)^\circ$;

$\alpha_N = (19 \pm 1)^\circ$; $\gamma_N = -(7,5 \pm 2,5)^\circ$. Для получения зависимости стойкости при одновременном изменении режимов резания (V , S_z , t) и геометрии инструмента (α_N , γ_N) был спланирован и реализован ДФЭ типа 2^{5-2} . Уровни факторов были выбраны с учетом силовых и стойкостных ограничений. В результате обработки экспериментальных данных была получена линейная адекватная модель вида:

$$T = 305 - 1,1V - 30,5t + 7\alpha_N - 845S_z \quad (1)$$

Зависимость справедлива в интервале переменных:

$$V = 65 \dots 105 \text{ м/мин}; \quad t = 2 \dots 6 \text{ мм}; \quad S_z = 0,08 \dots 0,16 \text{ мм/зуб}; \\ \alpha_N = 10 \dots 20^\circ; \quad \gamma_N = -(5 \dots 15)^\circ; \quad \omega = 45^\circ; \quad D = 58 \text{ мм}; \quad Z = 1.$$

Метод полутного фрезерования повышает стойкость инструмента приблизительно вдвое. Но использование его возможно только на втором и последующих проходах. Доводка задней поверхности зуба фрезы до шероховатости поверхности $R_a = 0,63 \dots 0,32$ мкм способствует повышению стойкости. Дальнейшее снижение шероховатости вследствие незначительной допустимой величины износа по задней поверхности ($f \leq 0,2 \dots 0,3$ мм) не ведет к повышению стойкости инструмента.

ИССЛЕДОВАНИЕ ОКРУЖНОЙ СИЛЫ РЕЗАНИЯ

В работе установлено, что условие равномерного фрезерования при обработке узких поверхностей часто не выполнимо по двум ограничениям:

- а) по условию нормального размещения врезаемой стружки;
- б) невозможность конструктивного оформления фрезы в необходимом числе зубьев.

Это приводит к тому, что при цилиндрическом фрезеровании узких поверхностей сила резания имеет характер повторяющихся импульсов, соответствующих работе каждого зуба фрезы. Технологическим критерием формы импульса является глубина резания:

$$t = \frac{D}{2} \left[1 - \cos \left(\frac{2B}{D} \operatorname{tg} \omega \frac{360}{2\pi} \right) \right], \quad (2)$$

при которой возникает импульс в форме равнобедренного треугольника, при меньшей - равнобедренная трапеция, при большей - разносторонний треугольник.

Для оценки импульсного воздействия был использован спектральный метод, заключающийся в том, что приложенное к системе импульсное возмущение $f(t)$ представляется в виде суммы гармонических колебаний различной амплитуды и фазы, круговые частоты которых изменяются от $\omega = 0$ до $\omega = \infty$.

Спектр $S(\omega)$ приложенного единичного импульса $f(t)$ определяется:

$$S(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) e^{-j\omega t} dt. \quad (3)$$

Оценку импульсного воздействия производим, рассматривая спектр одиночного импульса, используя модуль спектра $|S(\omega)|$ (как характеристику энергии) и принятый частотный диапазон спектра. Модуль спектра импульса определяется:

$$|S(\omega)| = \sqrt{A^2(\omega) + C^2(\omega)}, \quad (4)$$

где $A(\omega)$, $C(\omega)$ - компоненты спектра - синусоидальные и косинусоидальные составляющие спектра импульса.

Для анализа возможных форм импульсов был принят комплексный импульс (рис. 1):

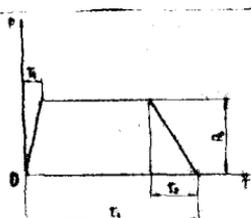


Рис. 1

$$P = \begin{cases} 0 & -\infty \leq \tau \leq 0 \\ P_0 \frac{\tau}{\tau_1} & 0 \leq \tau \leq \tau_1 \\ P_0 & \tau_1 \leq \tau \leq (\tau_0 - \tau_2) \\ P_0 \left(\frac{\tau_0 - \tau}{\tau_2} \right) & (\tau_0 - \tau_2) \leq \tau \leq \tau_0 \\ 0 & \tau_0 \leq \tau \leq +\infty \end{cases}$$

В соответствии с уравнением (3)

$$S(\omega) = \frac{P_0}{\omega^2} \left\{ \frac{1}{\tau_1} (\cos \omega \tau_1 - 1) - \frac{1}{\tau_2} [\cos \omega \tau_0 - \cos \omega (\tau_0 - \tau_2)] - \left[\frac{\sin \omega \tau_1}{\tau_1} - \frac{\sin \omega \tau_0 - \sin \omega (\tau_0 - \tau_2)}{\tau_2} \right] \right\}. \quad (5)$$

Модуль спектра

$$|S(\omega)| = \frac{2 P_0}{\omega^2} \sqrt{\frac{\sin^2 \frac{\omega \tau_1}{2}}{\tau_1^2} - \frac{2 \sin \frac{\omega \tau_1}{2} \sin \frac{\omega \tau_2}{2} \cos \frac{\omega (2\tau_0 - \tau_1 - \tau_2)}{2}}{\tau_1 \cdot \tau_2} + \frac{\sin^2 \frac{\omega \tau_2}{2}}{\tau_2^2}}$$

Используя конкретные соотношения между величинами τ_0 , τ_1 , τ_2 получили выражения для модулей спектра частных форм импульсов.

Частотный диапазон импульсов определяется:

$$\omega = \frac{2\pi}{T_0} \cdot K, \quad (7)$$

где $K = 1, 2, 3, \dots$ - порядок гармоники, принимаемый во внимание.

Для выбора значения K используем положение, что количество энергии, вносимое в систему каждой гармоникой, пропорционально квадрату ее модуля. Тогда оценочные коэффициенты при выборе K могут быть определены выражениями:

$$X_1 = \frac{C_1^2 + C_2^2 + \dots + C_K^2}{\sum_{i=1}^{\infty} C_i^2}; \quad X_2 = \frac{(C_1 \omega_1)^2 + (C_2 \omega_2)^2 + \dots + (C_K \omega_K)^2}{\sum_{i=1}^{\infty} (C_i \omega_i)^2}. \quad (8)$$

Величины X_1 и X_2 различны как по значению, так и по сложности расчетных выражений. В работе установлена их взаимосвязь:

$$X_2 < X_1, \quad (9)$$

т.е. более верно использовать выражение для X_2 . Задаваясь значением коэффициента $X_2(X_1)$ и вычисляя уравнения (8) для различного числа i , можно определить необходимое значение K .

При цилиндрической фрезеровании узких поверхностей импульсы силы резания могут следовать непосредственно друг за другом, с разрывом между собой и перекрытием друг друга. В первом случае наибольшее количество энергии несут первые гармоники. В случае следования треугольных импульсов (которые наиболее вероятны) с разрывом между собой модуль спектра в соответствии с выражением (6) при условии: $T_1 \neq T_2$; $T_1 + T_2 < T_0$ - определится:

$$|S(\omega)| = \frac{2P_0}{\omega^2} \sqrt{\frac{\sin^2 \frac{\omega T_1}{2}}{T_1^2} - \frac{2 \sin \frac{\omega T_1}{2} \sin \frac{\omega T_2}{2} \cos \frac{\omega(T_1 + T_2)}{2}}{T_1 \cdot T_2} + \frac{\sin^2 \frac{\omega T_2}{2}}{T_2^2}}. \quad (10)$$

Для этого случая

$$X_2 = \frac{\sum_{i=1}^K (C_i \omega_i)^2}{\frac{P_0^2}{2T_0^2} \pi^2 (x+y)} \quad X_4, \quad (11)$$

где

$$(C_1 \omega_1)^2 = \frac{P_0^2}{2T^2} \cdot \frac{1}{T^2} \left[\frac{1}{x^2} + \frac{1}{xy} + \frac{1}{y} - \left(\frac{1}{x^2} + \frac{1}{xy} \right) \cos 2x i \pi - \left(\frac{1}{y^2} + \frac{1}{xy} \right) \cos 2y i \pi + \frac{1}{xy} \cos 2(x+y) i \pi \right];$$

$$x = \frac{T_1}{T_0}; \quad y = \frac{T_2}{T_0};$$

T_0 - период импульсов.

Наибольшее количество энергии заключено в гармонике, порядковый номер которой K определяется:

$$K \approx \frac{T_0}{T_1 + T_2}. \quad (12)$$

В случае следования импульсов с перекрытиями в расчет необходимо принимать только переменную составляющую силы резания, т.к. постоянная составляющая не несет в себе динамического возмущения. Все характеристики при этом совпадут со случаем непрерывного следования импульсов.

Проведенный анализ показывает, что наиболее вероятно возникновение в системе СПИД колебаний с круговыми частотами: $\omega = \frac{2\pi}{T_0} K$. Для большинства практических случаев следует ожидать $K \leq 3$. Так как первая гармоническая составляющая разложения имеет частоту следования импульсов $n \cdot Z$, то наибольшее количество энергии несут гармоники с частотой: $n \cdot Z$; $2n \cdot Z$; $3n \cdot Z$.

Используя положения спектрального анализа, произведена оценка роли разношаговости зубьев фрез. Авторы разношаговых фрез снижение амплитуды колебаний при работе этим инструментом объясняют тем, что возмущающая сила имеет различный период и вызывает аperiodические колебания. Экспериментальное подтверждение этого положения получило при испытании фрез, когда в работе одновременно находилось два-три зуба. В соответствии с указанным объяснением следовало бы ожидать еще большего эффекта при обработке узких поверхностей, когда на дуге контакта с заготовкой находится только один зуб фрезы. Выполненные нами исследования зависимости амплитуды колебаний фрезерного стола от величины окружной разношаговости показали, что последняя практически не оказала воздействия.

Анализируя характер сил резания при использовании фрез с разношаговостью, можно утверждать, что и в случае изготовления фрез в соответствии с приложением к ГОСТ 3752-71 ("неравномерная разбив-

ка фрез типа 2 на окружные шаги зубьев") возмущающая сила остается периодической. Но период ее в два раза больше, чем у фрез с равномерным расположением зубьев и более сложная форма - с двумя пиками. Используя положения спектрального анализа, следует ожидать, что основные возмущения системы СПИД возможны на частотах:

$$\omega = \frac{2\pi}{2T_0} K = \frac{\pi}{T_0} K. \quad (13)$$

Таким образом, основной причиной снижения амплитуды колебаний при использовании фрез с разношаговью является изменение частотного диапазона возмущения, вызываемое резким изменением периодичности импульсов.

Для фрез с разношаговью коэффициент X_2 определяется:

$$X_2 = \frac{\sum_{i=1}^n (C_i \omega_i)^2}{\sum_{i=1}^n (C_i \omega_i)^2}.$$

где

$$\begin{aligned} (C_i \omega_i)^2 = & \frac{1}{4\pi^2} \cdot \frac{1}{l^2} \left\{ \left[-\frac{P_1}{x} (\cos 2\pi i x - 1) - \frac{P_1 - P_3}{z} (\cos 2\pi i (x+z) - \right. \right. \\ & \left. \left. - \cos 2\pi i x) - \frac{P_2 - P_3}{s} (\cos 2\pi i (x+z) - \cos 2\pi i y) - \frac{P_2}{y} (1 - \cos 2\pi i y) \right]^2 + \right. \\ & \left. + \left[\frac{P_1}{x} \sin 2\pi i x - \frac{P_1 - P_3}{z} (\sin 2\pi i (x+z) - \sin 2\pi i x) - \right. \right. \\ & \left. \left. - \frac{P_2 - P_3}{s} (\sin 2\pi i (x+z) + \sin 2\pi i y) - \frac{P_2}{y} \sin 2\pi i y \right]^2 \right\}, \\ \sum_{i=1}^{\infty} (C_i \omega_i)^2 = & \frac{1}{2} \left[\frac{P_1^2}{x} + \frac{P_3^2}{y} + \frac{(P_1 - P_3)^2}{z} + \frac{(P_2 - P_3)^2}{s} \right] \end{aligned}$$

$$x_1 = \frac{T_1}{T_0}; \quad y = \frac{T_2}{T_0}; \quad z = \frac{T_3}{T_0}; \quad s = \frac{T_0 - (T_1 + T_2 + T_3)}{T_0}$$

(рис. 2)

Анализ значений коэффициента X_2 для фрез с равномерным и неравномерным окружным шагом показывает, что с увеличением отношения $\frac{T}{T_0}$ (что соответствует увеличению глубины резания и диа-

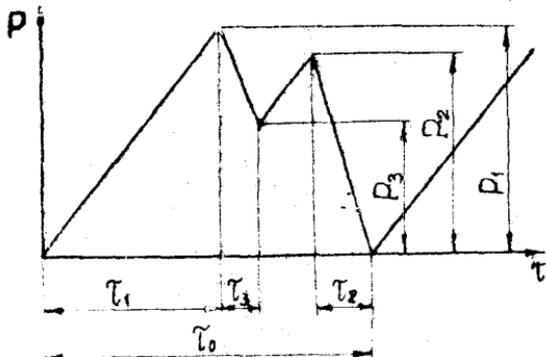


Рис. 2

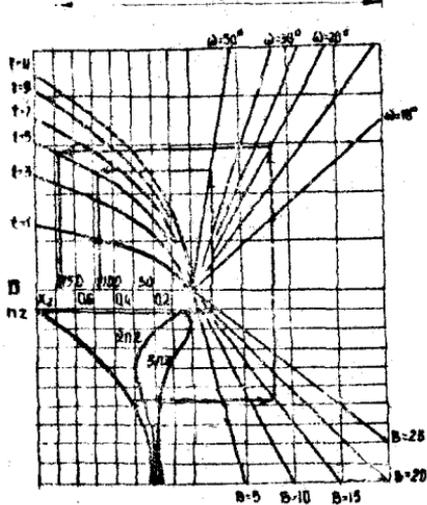


Рис. 3

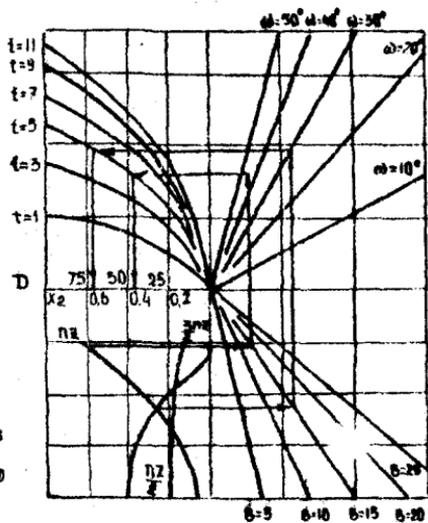


Рис. 4

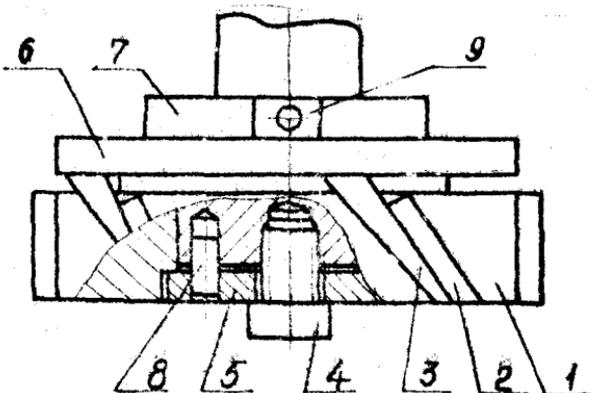


Рис. 5

метра фрез, уменьшению угла наклона режущей кромки) происходит перераспределение относительного количества энергии, вносимой каждой гармоникой. Более резко это сказывается у фрез с равношагостью.

Известно, что интенсивность автоколебательного процесса зависит от соотношения работы сил, поддерживающих колебания, и работы сил сопротивления системы. Следовательно, для того, чтобы уменьшить интенсивность вибраций, необходимо уменьшить силы, возбуждающие колебания и одновременно увеличить силы сопротивления системы. В настоящее время интенсивность вибраций снижают, в основном, путем увеличения сил сопротивления системы (применением виброгасителей различной конструкции, увеличением жесткости элементов системы СПИД и т.п.).

Разработанная методика использования данных спектрального анализа позволяет проектировать инструмент с заранее известным распределением энергии, вносимой в систему СПИД на различных частотах, т.е. появляется возможность научно-обоснованно влиять на силы, способствующие вибрациям.

На рис. 3,4 представлены номограммы для определения диаметра фрез D и угла наклона зубьев α и элементов режима резания (t , V) для получения требуемого распределения энергии гармонических составляющих разложения импульсного возмущения для фрез с равномерным (рис.3) и неравномерным окружным шагом (рис.4).

Если известно, что на операции возникают автоколебания (имеющие частоту не равную $n \cdot Z$), то необходимо применять инструмент, несущий наибольшее количество энергии на гармонике $n \cdot Z$. В случае, если существует опасность возникновения резонанса на частоте $n \cdot Z$, необходимо снизить количество энергии этой гармоники или принять основной несущей гармоникой другую частоту, что достигается применением фрез с равношагостью или изменить диаметр и угол наклона режущей кромки.

Промышленные испытания показали, что применение данной методики обеспечивает высокую плавность работы инструмента.

МЕТОДИКА НАЗНАЧЕНИЯ НАИБОЛЬШЕЙ ДОПУСТИМОЙ ВЕЛИЧИНЫ РАДИАЛЬНОГО ВИБЕНИЯ ДВУХ СМЕЖНЫХ ЗУБЬЕВ ФРЕЗЫ

Для научно-обоснованного решения этого вопроса необходим объективный критерий, который можно выбрать, изучив влияние радиального биения зубьев на силовые и стойкостные зависимости, шеро-

ховатость обработанной поверхности, характер изменения радиального биения в процессе работы инструмента.

Анализ осциллограмм окружной силы резания, полученных при работе фрезями, имеющими радиальное биение зубьев показал, что колебание окружной силы $\Delta P_{\text{окр}}$ на смежных зубьях фрезы может быть описано уравнением

$$\Delta P_{\text{окр}} = 5100 \cdot \Delta \cdot S_z^{0,54} \cdot t^{0,51}, \quad (14)$$

где Δ - величина радиального биения двух смежных зубьев.

Рассматривая схему образования микронеровностей с учетом радиального биения зубьев, получили

$$R_z = \Delta_{\text{ср}} = \frac{\sum_{i=1}^z \Delta_i}{z}. \quad (15)$$

Практическое определение высоты микронеровностей позволило получить эмпирическую зависимость

$$R_z = 10 \cdot \Delta_{\text{ср}}^{0,23}. \quad (16)$$

Используя выражения (14,16), можно определить допустимую Δ , однако для этого необходимо проведение предварительных экспериментов, что, естественно, неудобно для практики. Поэтому нами предлагается следующая методика назначения допустимой величины радиального биения смежных зубьев фрезы.

Фреза является многозубым инструментом. Для рациональной эксплуатации любого многозубого инструмента необходимо прежде всего, чтобы все его зубья участвовали в работе. Полученные осциллограммы показывают, что условие работы всех зубьев фрезы определяется сочетанием величин: t , S_z , Δ .

Рассматривая схему цилиндрического фрезерования с учетом и задавая допустимую в этом случае величину перераспределения подачи на зуб ΔS_z на величину S_z , получаем наибольшую допустимую величину радиального биения зуба из условия работы всех зубьев фрезы:

$$\Delta_{\text{max}} \leq \frac{25z \sqrt{R-1}}{R}, \quad (17)$$

где $R = \frac{D}{t}$.

Целесообразность применения методики определения Δ_{max} подтверждена экспериментально. Установлено, что в процессе работы инструмента происходит изменение Δ . При этом закономерной связи между первоначальными и последующими значениями Δ не наблюдается, но разброс значений ее практически не выходит из области, определенной по условию работы всех зубьев фрезы.

Расчет средней величины $|\bar{\Delta}|$ в любой момент времени показывает, что она близка к $\frac{\Delta_{\text{max}}}{2}$, что соответствует увеличению подачи на зуб на одних зубьях (и снижению на других) на величину $\frac{S_z}{2}$. Принимая в первом приближении, что стойкость многозубой фрезы определяется износом наиболее нагруженных зубьев, работающих с величиной подачи на зуб равной $\frac{3}{2} S_z$, можно получить переводной коэффициент для переноса результатов по стойкости полученных при работе однозубой фрезой на многозубые.

Учитывая усталостный характер разрушения режущей кромки, при котором основное влияние оказывает количество циклов нагружения, стойкость многозубой фрезы (T_2) по результатам работы однозубой (T_1) может быть выражена в виде:

$$T_2 = (0,67)^y \cdot T_1 \cdot \frac{D}{d} \quad (18)$$

где y - показатель степени в зависимости $T = \frac{C}{S_z^y}$;
 d - диаметр однозубой фрезы.

Сравнение практических результатов с расчетными показывает вполне удовлетворительное совпадение.

ЦИЛИНДРИЧЕСКИЕ СБОРНЫЕ ТВЕРДОСПЛАВНЫЕ ФРЕЗЫ ДЛЯ ОБРАБОТКИ УЗКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Полученные при исследовании силовые зависимости, данные по оптимальной геометрии инструмента и режимам резания, результаты спектрального анализа позволяют проектировать инструмент, отвечающий требованиям его эксплуатации.

Отличительной особенностью цилиндрических фрез при резании стали с ТМО является необходимость создания весьма значительного угла наклона режущей кромки $\omega = 45^\circ$. На рис.5 представлена конструкция спроектированного нами инструмента. В прямые пазы корпуса 1, расположенные под углом 45° к оси инструмента, устанавливаются зубья фрезы 2 (пластины твердого сплава ВК8 формы 2485 по

ГОСТ 2209-66), которые закрепляются штифтами или клином 3. При креплении зубьев фрезы клином относительное число зубьев инструмента $Z' = \frac{Z}{D} = 0,11 \dots 0,13$; при креплении штифтами - $0,16 \dots 0,20$. При снятии значительных припусков (до $10 \dots 12$ мм) рекомендуется крепление клином; при малых припусках - (до $3 \dots 4$ мм) - штифтами. Опорное кольцо 6 служит для предварительного натяжения клиньев 3 при сборке и дополнительной опорой при креплении штифтами. Для передачи крутящего момента с хвостовика 7 на корпус 1 служат торцовые шпонки 9. Штифт 8 служит для предотвращения самовитания винта 4. Шайба 5 удерживает корпус фрезы 1 на хвостовике 7.

Так как при обработке стали с ТМО наблюдались автоколебания с частотой ≈ 185 гц, то диаметр фрезы по номограмме (рис.3) из условия обеспечения максимального внесения энергии в систему СПИД на частоте $\nu \cdot Z$ составляет 122 мм. Число зубьев фрезы $Z = 14$.

Резущая кромка фрезы затачивается по винтовой поверхности на специальном приспособлении.

Производственные испытания фрез с клиновым креплением зубьев на КМЗ подтвердили справедливость полученных результатов исследований. Экономический эффект от их использования составляет 34 коп/м обработанной поверхности.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. При цилиндрическом фрезеровании стали с ТМО износу подвергаются непосредственно режущая кромка инструмента. При этом ни один из износов - передней и задней поверхности не является преобладающим. Износ носит усталостный характер с элементами хрупкого разрушения. Основным видом износа являются местные сколы.

2. Оптимальным инструментальным материалом по износостойкости, сопротивляемости хрупкому разрушению, производительности и себестоимости единицы обработанной поверхности является твердый сплав марки ВК8.

3. Удовлетворительная стойкость зубьев фрез достигается лишь при значительном угле наклона режущей кромки $\alpha \approx 45^\circ$.

4. При цилиндрическом фрезеровании узких поверхностей в большинстве случаев на дуге контакта с заготовкой одновременно находится лишь один зуб и условие равномерного фрезерования становится невыполнимым. Сила резания при этом имеет характер повторяющихся импульсов; форма которых определяется глубиной резания.

5. Частотный диапазон импульсного возмущения определяется периодом действия импульсов. Для оценки принятого частотного диапазона возмущения системы СПИД предложены два критерия (различных по значению и сложности расчетных выражений), определяющих количество энергии, принимаемой в расчет при замене импульсного возмущения рядом гармонических колебаний. Применение каждого из критериев определяется необходимой точностью вычисления. Установлено численное соотношение между критериями.

6. Основной причиной уменьшения амплитуды колебаний при использовании фрез с неравномерным окружным шагом следует считать изменение частотного диапазона возмущения вследствие резкого изменения периодичности импульсов.

7. Перераспределение энергии между отдельными гармониками достигается применением фрез с неравномерным окружным шагом, изменением диаметра и угла наклона режущей кромки инструмента. Увеличение диаметра фрезы и уменьшение угла наклона режущей кромки приводит к выравниванию энергии в гармонических составляющих импульсного разложения. Более резко это проявляется у фрез с окружной разношаговью.

8. Основным параметром, определяющим расчетную высоту микронеровностей и колебание окружного усилия на зубьях фрезы является их (зубьев) радиальное биение.

9. В качестве критерия для определения наибольшей допустимой величины радиального биения двух смежных зубьев предложено условие работы всех зубьев фрезы, определяемое сочетанием величин: глубины резания, подачи на зуб, диаметра фрезы и биения двух смежных зубьев инструмента. С увеличением подачи на зуб, глубины резания и уменьшением диаметра фрезы условие работы всех зубьев фрезы выполняется при большей величине радиального биения зубьев.

10. Стойкость одно- и многозубых фрез различна. Основной причиной этого является радиальное биение зубьев. Перенесение результатов, полученных при работе однозубым инструментом на многозубой возможно с помощью коэффициента, учитывающего радиальное биение зубьев.

11. Для обработки узких поверхностей спроектированы цилиндрические сборные твердосплавные фрезы с клиновым и штифтовым креплением зубьев, имеющие угол наклона режущей кромки $\omega = 45^\circ$ при относительном числе зубьев $Z' = \frac{Z}{D} \pm 0,11 \dots 0,20$ в зависимости от способа крепления. Область использования фрез с различными креп-

лением зубьев определяется припуском на операции: при глубине резания $t \leq 0,4$ мм рекомендуется штифтовое крепление зубьев; при большей - клиновое.

12. Производственные испытания сконструированных фрез подтвердили их эффективность, достигнутую в лабораторных исследованиях. При повышении производительности (по машинному времени) в 1,5 раза достигнуто одновременное увеличение стойкости (по машинному времени) минимум в два раза. Экономический эффект от использования предлагаемых фрез составляет 34 коп/м обработанной поверхности.

Основные результаты по цилиндрическому фрезерованию стали, подвергнутой ТМО, доложены

1) на XXIX, XXX, XXXI научно-технических конференциях ЧПИ в 1976, 1977, 1978 гг.;

2) на первой научно-технической конференции молодых ученых и специалистов ЧПИ в 1977 г.;

3) на республиканской конференции УССР "Прогрессивные конструкции и технологии изготовления режущего инструмента", Киев, 1977 г.;

4) на IX научно-технической конференции инструментальщиков Западного Урала "Пути повышения эффективности инструментального производства и качества инструмента", Пермь, 1977 г.;

5) на республиканской конференции УССР "Оптимизация технологических процессов механической обработки деталей и сборки приборов", Киев, 1978 г.

Основное содержание работы опубликовано:

1. Д.К. Маргулис, В.Г. Шаламов.
Влияние биения зубьев на процесс фрезерования. - В сб. Прогрессивные конструкции и технологии изготовления режущего инструмента. Киев, общ. "Знание", УССР, 1977.
2. Д.К. Маргулис, В.Г. Шаламов.
Выбор критерия для определения допустимой величины радиального биения зубьев фрез. - Тезисы докладов "Пути повышения эффективности инструментального производства и качества инструмента". Пермь, обл. НПО Машпром, 1977.
3. Д.К. Маргулис, В.Г. Шаламов.
Моделирование процесса цилиндрического фрезерования однозубой фрезой. - Брошюра "Оптимизация технологических процессов механической обработки деталей и сборки приборов". Киев, общ. "Знание", УССР, 1978.

4. В.Г.Шаламов.
Влияние биения зубьев при цилиндрическом фрезеровании на шероховатость обработанной поверхности. Сб. ЧПИ № 211 "Прогрессивная технология чистовой и отделочной обработки", 1978.
5. Д.К. Маргулис, В.Г. Шаламов.
Шероховатость обработанной поверхности при цилиндрическом фрезеровании высокопрочной листовой стали. Сб. ЧПИ № 211 "Прогрессивная технология чистовой и отделочной обработки", 1978.
6. В.Г. Шаламов, Г.А. Истомин, П.В. Прокудин, И.Л. Попов.
Фрезы для обработки листовых деталей. Сб. ЧПИ № 211 "Прогрессивная технология чистовой и отделочной обработки", 1978.
7. В.Г. Шаламов.
Динамика цилиндрического фрезерования узких поверхностей. "Известия вузов. Машиностроение" (находится в печати).
8. Д.К. Маргулис, В.Г. Шаламов.
Влияние радиального биения двух смежных зубьев на период стойкости цилиндрических фрез. "Вестник машиностроения" (находится в печати).