

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ УСТРОЙСТВ УДАЛЕНИЯ СТРУЖКИ ПРИ ФРЕЗЕРОВАНИИ ЗАКРЫТЫХ ПРОФИЛЬНЫХ ПАЗОВ

Мышов М. С.¹ (ДонНТУ, г. Донецк, Украина)

Очевидным способом повышения эффективности обработки закрытых и полужакрытых профильных (Т-образных, типа «ласточкин хвост» и т.п.), а также других пазов с затрудненным отводом стружки, является снятие ограничения по фактору наличия отделенной стружки в зоне обработки [1]. Эффективным вариантом устранения этого ограничения является принудительное удаление стружки при помощи устройств, использующих гидродинамический потенциал напорных струй жидкости, водо-воздушной смеси и т.д. В то же время, методика определения параметров таких устройств не установлена. С учетом этого разработаем методику определения их оптимальных параметров.

В качестве исходных данных принимаются неизменяемые параметры системы принудительного удаления стружки:

1. Геометрические параметры режущего инструмента и обрабатываемого паза: d – диаметр Т-образной фрезы; l – высота режущей части фрезы; h_1 – длина передней поверхности зуба фрезы; β_z – угол между передней поверхностью зуба фрезы и поверхностью затылка следующего зуба; ω_n – угол подъема винтовой канавки фрезы; α – передний угол зуба фрезы; c – высота Т-образного паза; a – ширина предварительно обработанного паза.

2. Параметры удаляемых элементов стружки и массива стружки: k_p – коэффициент разрыхления стружки; f_n – коэффициент трения элемента стружки по передней поверхности зуба фрезы; f_h – коэффициент трения элемента стружки по нижней поверхности паза; ρ_c – плотность элемента стружки; ρ_m – плотность массива стружки; ε – угол естественного откоса насыпного массива стружки.

3. Параметр смазочно-охлаждающей технологической среды (СОТС) ρ_0 – плотность жидкости.

В качестве исходной величины используется также номинальная производительность фрезерования закрытых профильных пазов Q_n при минутной подаче S_m , принимаемой в качестве оптимальной в рассматриваемых условиях эксплуатации

$$Q_n = Q_n \Big|_{S_m = const} \rightarrow \max .$$

Реализация оптимального значения S_m обеспечивается соответствующими значениями подачи на зуб S_z и частоты вращения шпинделя станка n при постоянстве периода стойкости инструмента T .

В качестве функции цели при определении оптимальных параметров используется производительность резания, требуемое значение которой определяется в соответствии с выражением

$$Q_{nomp} = Q_n \Big|_{S_z = S_{zoon}, n = n_{onm} \rightarrow T = const} .$$

¹ Под руководством ас. Гнитько А. Н.

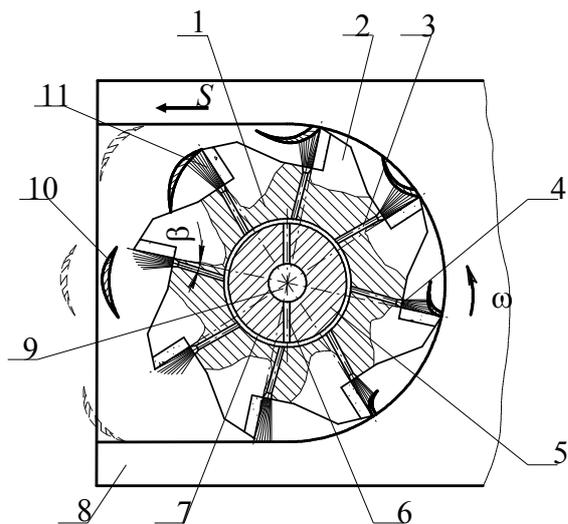


Рис. 1. Фреза для обработки Т-образных пазов: 1 – корпус; 2 – зуб; 3 – канал в корпусе фрезы; 4 – насадок; 5 – оправка; 6 – радиальный канал; 7 – кольцевая проточка; 8 – обрабатываемая заготовка; 9 – осевой канал; 10 – элемент стружки; 11 – струя рабочей смеси

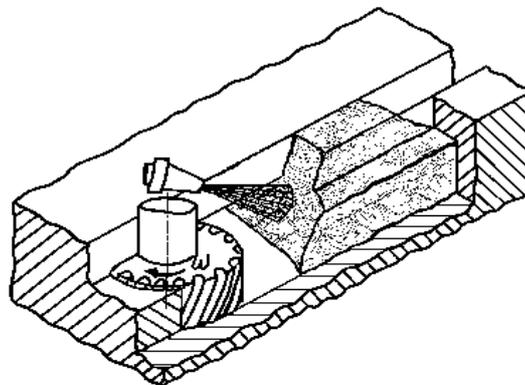


Рис.2. Схема удаление стружки напорной струей СОТС вне инструмента

Определение искомых параметров устройств удаления стружки, обеспечивающих потребное значение производительности резания, производится в двух направлениях:

1. Удаление элементов стружки с подачей жидкости по каналам в теле режущего инструмента (рис. 1).
2. Удаление элементов стружки и тел волочения (массива стружки) по каналам вне инструмента (рис.2).

В соответствии с первым направлением определение искомых параметров устройств удаления стружки, обеспечивающих потребное значение производительности резания, выполняется в следующем порядке:

1. Устанавливается наличие или отсутствие самоудаления элементов стружки из пространства между зубьями фрезы после их отделения зубом инструмента от заготовки, что решается с помощью математической модели перемещения стружки режущим инструментом ММ2 [2]. С ее помощью определяются значения и вектор направления действия скорости v_1 и перемещения S элемента стружки вдоль зуба фрезы при значении силы принудительного воздействия на элемент стружки напорной струей жидкости F_{np} равном нулю.

Конечные зависимости модели имеют вид

$$S = C_1 \cdot e^{\alpha_1 \cdot t} + C_2 \cdot e^{\alpha_2 \cdot t} + D/B,$$

$$v_1 = \alpha_1 \cdot C_1 \cdot e^{\alpha_1 \cdot t} + \alpha_2 \cdot C_2 \cdot e^{\alpha_2 \cdot t},$$

$$\alpha_{1,2} = \frac{-A \pm \sqrt{A^2 - 4B}}{2}, C_1 = -\frac{D \cdot \alpha_2}{B \cdot (\alpha_2 - \alpha_1)}, C_2 = \frac{D \cdot \alpha_1}{B \cdot (\alpha_2 - \alpha_1)},$$

$$A = 2\omega \cdot f_n, B = -\omega^2 \cos \alpha \cdot (\cos \delta - \sin \delta \cdot f_n),$$

$$D = (2F_{np} / \rho_c \cdot S_z(d - a) \cdot l) \times (\cos \beta - \sin \beta \cdot f_n) - g \cdot f_n(1 + \sin \alpha + f_n) +$$

$$+ \omega^2 [r_{\phi p} - (h1 - \sqrt[3]{3(S_z(d - a) \cdot l) / \pi / 2}) \cos \alpha] \cdot (\cos \delta - \sin \delta \cdot f_n),$$

где t – время перемещения элемента стружки вдоль передней поверхности зуба фрезы; ω – угловая скорость элемента стружки в переносном вращательном движении; δ – угол наклона вектора центробежной силы инерции; F_{np} – сила принудительного воздействия на элемент стружки; β – угол наклона вектора силы F_{np} к передней поверхности зуба фрезы; g – ускорение свободного падения; $r_{\phi p}$ – радиус фрезы.

Положительные значения искомых величин отражают наличие самоудаления элементов стружки из пространства между зубьями фрезы, а отрицательные – обратное, то есть не способность самостоятельной эвакуации из зоны резания. Это обуславливает повторное резание стружки зубьями инструмента, возникновение циркуляции элементов в пространстве между зубьями фрезы.

Для предотвращения этого явления необходимо дополнительное принудительное воздействие напорной струей жидкости, то есть $F_{np} > 0$. Оптимальное значение F_{np} выбирается таким, чтобы скорость v_1 приняла положительные значения. Кроме того, выбор значений F_{np} основывается на расстоянии, на которое необходимо удалить элемент стружки.

Для определения этого расстояния x используется следующая зависимость [2]

$$x = \frac{mv_1^2}{2 \cdot F_n},$$

где m – масса элемента стружки; F_n – сила трения по нижней поверхности паза.

2. Определяется требуемое значение давления напорных струй жидкости на элемент стружки по зависимости

$$p_{номп} = \frac{F_{np}}{S},$$

где S – значение площади, на которой осуществляется давление напорных струй жидкости на элемент стружки. Так как расстояние, на котором струя воздействует на элемент, практически равно нулю, то значение S принимается равным площади поперечного сечения насадка на выходе.

Значение диаметра насадка d_n определяется конструктивно исходя из геометрических параметров режущего инструмента, а именно

$$d_n \leq r_{cmp},$$

где r_{cmp} – радиус стружечной канавки фрезы.

Расход жидкости определяется параметрами существующих установок подачи напорных струй жидкости при станках.

В соответствии со вторым направлением определение искомых параметров

устройств удаления стружки, обеспечивающих требуемое значение производительности резания, выполняется в следующем порядке:

1. Определяется требуемое давление струи жидкости на выходе из насадка (вне режущего инструмента) для перемещения элемента стружки на расстояние X вдоль паза, либо для его удаления из паза при помощи следующей зависимости [3]

$$P_{\text{потр}} = \frac{16X \cdot F_n \cdot \left(\frac{\rho_0 \cdot \pi \cdot d_n^2 \cdot h}{4} + m \right)^2}{\pi^2 \cdot m \cdot \rho_0 \cdot h^2 \cdot \mu^2 \cdot d_n^4},$$

где ρ_0 - плотность жидкости; h - длина струи (равна x); μ - коэффициент расхода насадка.

В приведенной зависимости диаметр насадка и расход жидкости определяются аналогично методике описанной в пункте 2 первого направления.

2. При накоплении элементов стружки в пазу из них формируются тела волочения определенной длины. Для ее определения используются следующие зависимости:

а) при заполнении предварительно обработанного прямоугольного паза (рис. 3, а)[4]

$$L_1 = \frac{mv_1^2}{2 \cdot F_n},$$

где L_1 - длина тела волочения при обработке Т-образной фрезой, соответствующая заполнению прямоугольного паза стружкой.

б) при заполнении Т-образного паза (рис. 3, б)[4]

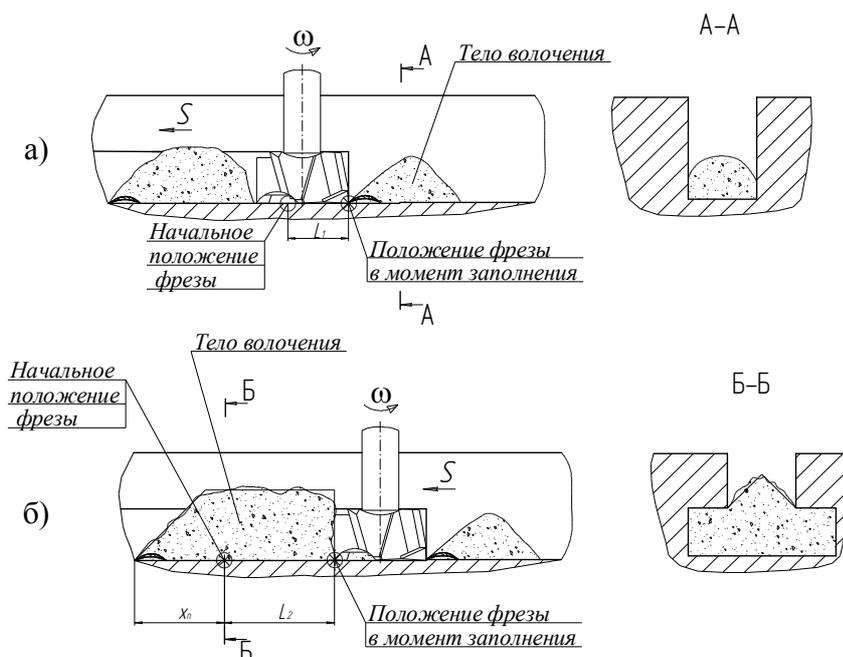


Рис. 3. Схема заполнения стружкой пазов при их фрезеровании: а) прямоугольного паза; б) Т-образного паза

$$L_2 = \frac{[(x + d/2 - \pi d/8) - c \tan \varepsilon/2]dc + a^2/4 [\cot \varepsilon(x - a/2) - c] + \cot \varepsilon \cdot a^3/16}{(d - a) \cdot l \cdot k_p - (d \cdot c + \cot \varepsilon \cdot a^2/4)},$$

где L_2 – длина тела волочения при обработке паза, соответствующая заполнению Т-образного паза стружкой.

3. Определяется требуемое значение силы принудительного воздействия F_{np} на тело волочения для его перемещения с использованием следующей зависимости [5]:

$$F_{np} = \frac{f_n \cdot \rho_m \cdot g \cdot L_1(L_2)}{\cos \gamma} [d \cdot c + 2f_n \cdot n_b \left(\frac{2f_n \cdot n_b \cdot c + f_n \cdot n_b \cdot d - f_n \cdot n_b \cdot d_k}{c \cdot d} \right)^{-1}] \times \\ \times (e^{(2f_n \cdot n_b \cdot L_1(L_2) \cdot d^{-1} + f_n \cdot n_b L_1(L_2) \cdot c^{-1} - f_n \cdot n_b \cdot d_k \cdot L_1(L_2) \cdot c^{-1} \cdot d^{-1})} - 1) \cdot [c + 0,5(d - d_k)],$$

где $L_1(L_2)$ – длина тела волочения, соответствующая заполнению соответственно прямоугольного либо Т-образного паза стружкой; γ – угол вектора силы принудительного воздействия; n_b – коэффициент бокового давления; d_k – диаметр концевой фрезы (или ширина дисковой фрезы), используемой для предварительной обработки паза.

4. Определяются значения давления $p_{номр}$, диаметра насадка d_n и расхода согласно методике описанной в пункте 2 первого направления.

Выводы.

1. Разработана методика определения оптимальных параметров устройств удаления стружки при фрезеровании закрытых профильных пазов.

Список литературы: 1. Родин П. Р. Металлорежущие инструменты: Учебник для вузов. – 3-е изд., перераб. и доп. – К.: Вища шк. Головное изд.-во, 1986. – 455 с. 2. Нечпаев В. Г., Гнитько А. Н. Математична модель переміщення стружки різальним інструментом при фрезеруванні закритих профільних пазів. Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Машинобудування і машинознавство. Випуск 92. – Донецьк: ДонНТУ, 2005. – С. 72-82. 3. Нечпаев В., Гнитько А. Математическая модель эвакуации стружки при фрезеровании закрытых профильных пазов // Tehnologii Moderne, Calitate, Restructurare. Vol. 4. Chisinau, Universitatea tehnica a Moldovei, 2005, p. 197 - 182. 4. Нечпаев В. Г., Гнитько А. Н., Пархоменко Н. В. Исследование процесса заполнения закрытых профильных пазов стружкой при их фрезеровании // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Международный сб. научных трудов. – Донецк: ДонНТУ, 2005. Вып. 29. - С.229-238. 5. Нечпаев В. Г., Гнитько А. Н. Разработка математической модели удаления стружки напорными струями СОТС при фрезеровании Т-образных пазов // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Международный сб. научных трудов. – Донецк: ДонНТУ, 2002. Вып. 21. - С.146-150.