

## К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ТРЕБУЕМОГО ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ПРИ ФРЕЗЕРОВАНИИ

Н. Г. РЕКА<sup>1</sup>, Г. Н. КОУРОВ<sup>2</sup>, А. Г. ЛЮТОВ<sup>3</sup>

<sup>1</sup>kourova.89@mail.ru, <sup>2</sup>kourov\_gn@mail.ru, <sup>3</sup>lutov1@mail.ru

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет» (УГАТУ)

**Аннотация.** В рамках решения актуальной проблемы формирования качества поверхности детали при фрезеровании предлагается обеспечение требуемого температурного режима в зоне резания осуществлять исходя из информации по электрическим параметрам привода главного движения станка. Обоснован выбор схемы фрезерования, обеспечивающей возможность регулирования показателей качества поверхности детали при фрезеровании. Определена связь массы нагреваемого тела при фрезеровании с параметрами режима резания.

**Ключевые слова:** процесс фрезерования; температура в зоне резания; нагреваемое тело; закон сохранения энергии.

Фрезерование является широко распространенным процессом резания металлов, применяемым для обработки плоских и фасонных поверхностей, оно является более производительным способом обработки, чем точение и строгание [1].

Однако, при фрезеровании для обеспечения максимальной производительности необходима высокая стойкость инструмента. В работе [2] для повышения стойкости инструмента необходимо процесс резания производить при оптимальной температуре в зоне резания.

Обеспечить заданную температуру в зоне резания при фрезеровании является проблемным, т.к. в настоящее время нет средств, определяющих температуру в зоне резания, применимых в промышленных условиях.

В настоящее время на кафедре автоматизации технологических процессов УГАТУ выполнена научная работа [3], в которой температуру в зоне резания предлагается измерять по расходу электроэнергии привода главного движения станка. Способ [4] определения температуры в зоне резания рассмотрен на примере процесса точения.

Авторами данной работы выдвигается гипотеза о возможности применения способа [4] при фрезеровании.

Существуют схемы встречного (рис. 1, а) и попутного (рис. 1, б) фрезерования.

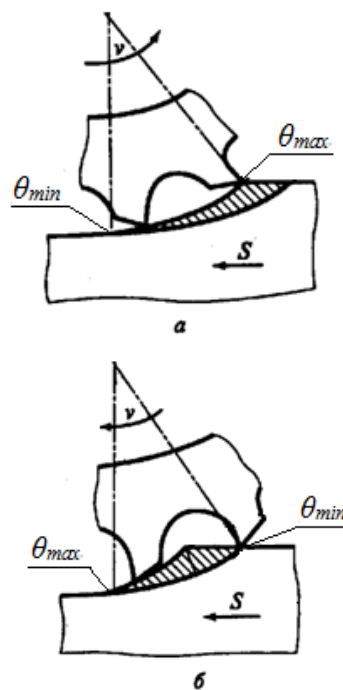


Рис. 1. Схемы фрезерования: а – встречного; б – попутного

При встречном фрезеровании (рис. 1, а) зуб врезается в холодную массу  $\theta_{\min}$  поверхности будущей детали. При дальнейшем движении срезаемая масса нагревается, и зуб выходит из заготовки при максимальной температуре  $\theta_{\max}$  срезаемого слоя, которая не может оказывать влияние на обработанную поверхность детали.

При попутном фрезеровании (рис. 1, б) зуб фрезы врезается в холодную массу обрабатываемого металла  $\theta_{\min}$ . При дальнейшем движении зуба фрезы происходит деформация срезаемого слоя и его отделение. Температура массы срезаемого слоя на выходе зуба из зоны резания будет максимальной  $\theta_{\max}$ , соответствующей температуре на обработанной поверхности детали.

Исходя из цели обеспечения заданных показателей качества обработанной поверхности путем стабилизации соответствующего температурного режима, наиболее выгодной является схема попутного фрезерования, т.к. максимальная температура срезаемого слоя образуется при выходе зуба фрезы на обработанную поверхность детали.

Масса срезаемого слоя представляет собой нагреваемое тело (рис. 2). Масса нагреваемого тела определяется параметрами процесса резания.

Линейная скорость  $v$  движения режущей кромки фрезы определяется по выражению:  $v = \omega \cdot r$ , где  $\omega$  – угловая частота вращения фрезы;  $r$  – радиус фрезы,  $r = D/2$ ,  $D$  – диаметр фрезы.

Заданное значение глубины резания определяется:

$$t = r \cdot (1 - \cos \psi). \quad (1)$$

Начало отсчета угла  $\psi$  – от нормали оси фрезы к обработанной поверхности.

Угол  $\psi$  определяется из формулы (1):

$$\cos \psi = \frac{r - t}{r}.$$

Время  $\tau_p$  прохождения режущей кромкой фрезы угла  $\psi$  определяется по выражению:

$$\tau_p = \frac{\psi}{\omega}.$$

Длина резания  $l_p$  режущей кромки от момента вхождения в заготовку до нормали

оси фрезы к обработанной поверхности составляет:  $l_p = v \cdot \tau_p$ .

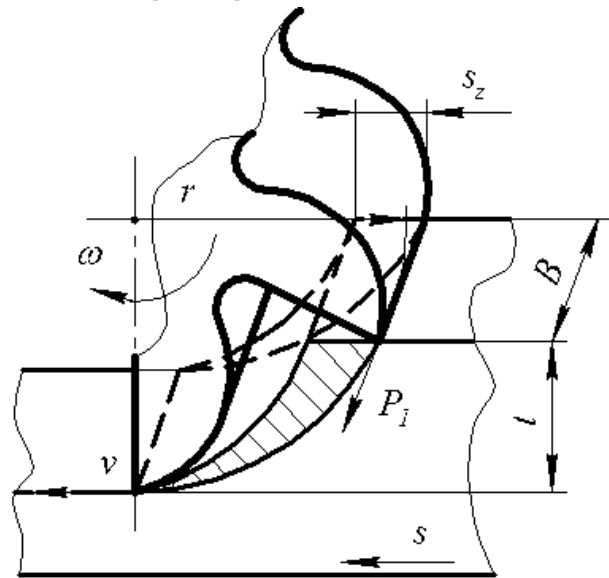


Рис. 2. Схема формирования нагреваемого тела при попутном фрезеровании:

$\omega$  – угловая скорость резания;  $r$  – радиус фрезы;  $v$  – скорость резания;  $s$  – поддача;  $s_z$  – поддача на зуб;  $P_1$  – осевая сила резания;  $t$  – глубина резания;  $B$  – ширина фрезерования

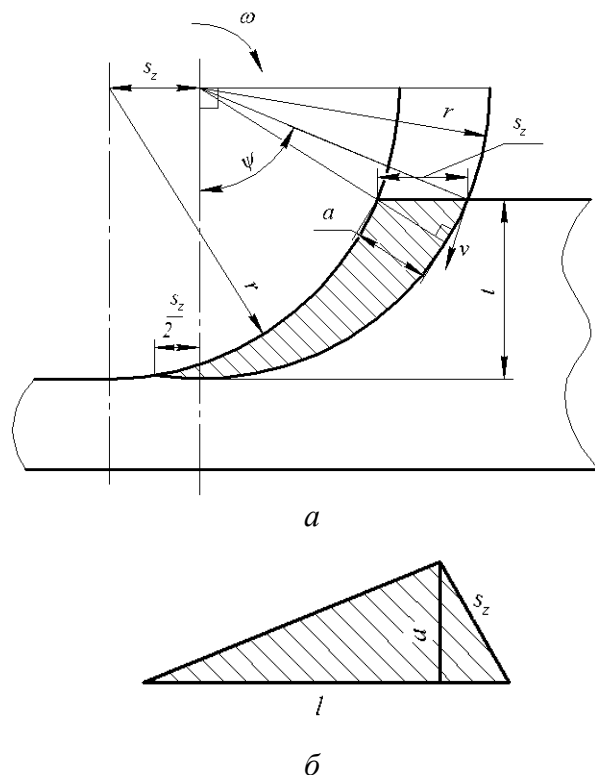


Рис. 3. Схема для расчета площади срезаемого слоя

Общая длина резания  $l$  составляет

(рис. 3, а):  $l = l_p + \frac{s_z}{2}.$

Площадь срезаемого слоя  $F$  можно аппроксимировать треугольником (рис. 3, б). Для определения площади треугольника необходимо найти толщину срезаемого слоя  $a$ . Ее величина изменяется пропорционально углу  $\psi$ . Градиент изменения составляет  $s_z/90$ . Следовательно,  $a = \frac{s_z}{90} \cdot \psi^\circ$ .

Площадь срезаемого слоя  $F$  определяется по выражению  $F = l \cdot a / 2$ .

Объем срезаемого слоя определяется произведением  $Q = F \cdot B$ .

Масса нагреваемого тела при фрезеровании определяется:  $m = Q \cdot \rho$ , где  $\rho$  – плотность материала заготовки.

Связь массы нагреваемого тела с параметрами режима резания имеет вид:

$$m = S_z \cdot \arccos\left(\frac{r-t}{r}\right) \times \left( \frac{v \cdot \arccos\left(\frac{r-t}{r}\right)}{\omega} + \frac{s_z}{2} \right) \cdot \frac{B \cdot \rho}{180}. \quad (2)$$

Для определения температуры в зоне резания, согласно [3], воспользуемся законом сохранения энергии, который для процесса резания можно представить в следующем виде:

$$N_e \cdot d\tau = c \cdot m \cdot d\lambda + F_T \cdot K_T \cdot \lambda \cdot d\tau, \quad (3)$$

где  $N_e \cdot d\tau$  представляет собой механическую энергию, поступающую в зону резания от привода главного движения;  $c \cdot m \cdot d\lambda$  – тепловая энергия, нагревающая массу  $m$ ;  $m$  – нагреваемая масса части обрабатываемого материала, подвергающегося деформации и превращающегося в стружку под действием окружной силы резания  $P_1$ , при резании зубьями  $z_p$ , одновременно находящимися в работе;  $c$  – удельная теплоемкость нагреваемой массы;  $\lambda$  – разность температур нагреваемой массы и охлаждающей среды (среднее значение), определяется по выражению  $\lambda = \theta - \theta_{OC}$ ,  $\theta$  – температура в зоне резания металла;  $\theta_{OC}$  – температура охлаждающей среды (охлаждающей средой являются стружка, деталь, инструмент, воздух или СОЖ);  $F_T \cdot K_T \cdot \lambda \cdot d\tau$  – тепловая энер-

гия, отдаваемая нагреваемой массой в охлаждающую среду;  $F_T$  – площадь теплоотдачи нагреваемой массы;  $K_T$  – коэффициент теплоотдачи нагреваемой массы в охлаждающую среду.

Для определения температуры в зоне резания одного зуба необходимо определить нагреваемую массу  $m_1$ , срезаемую одним зубом. Кроме того, необходимо определить мощность, расходуемую на резание одним зубом. Для этого общую массу  $m$  (2) разделим на число одновременно работающих зубьев  $z_p$ :  $m_1 = \frac{m}{z_p}$ ,

Мощность  $N_{e1}$ , затрачиваемая на фрезерование одним зубом, определяется по выражению:  $N_{1e} = \frac{P \cdot v}{z_p \cdot 60 \cdot 1000}$ .

Температуру в зоне резания  $\theta_1$  одного зуба можно определить из выражения (4):

$$N_{1e} \cdot d\tau = c \cdot m_1 \cdot d\lambda + F_T \cdot K_T \cdot \lambda \cdot d\tau. \quad (4)$$

Воспользовавшись операторной формой (5) представления уравнения (4), определим разность температур  $\lambda_1$ , соответствующей зоне резания одного зуба (6).

$$W(p) = \frac{\lambda_1(p)}{N_{1e}(p)} = \frac{1}{F_T \cdot K_T \left( \frac{c \cdot m_1 \cdot p}{F_T \cdot K_T} + 1 \right)}, \quad (5)$$

$$\lambda_1(p) = \frac{N_{1e}(p)}{F_T \cdot K_T \left( \frac{c \cdot m_1 \cdot p}{F_T \cdot K_T} + 1 \right)}. \quad (6)$$

Максимальная температура нагреваемого тела при выходе зуба из зоны резания:

$$\theta_1 = \lambda_1 + \theta_{OC}. \quad (7)$$

В соответствии с методикой [5] определения температуры лезвия фрезы в любой его точке в любой момент времени, позволяющей исследовать его тепловое состояние в зависимости от условий обработки, источник теплоты, возникающий на передней поверхности лезвия инструмента, может быть представлен двумерным прямоугольным с равномерным распределением плотности тепловыделения, что позволяет дать рекомендации по выбору рациональных па-

раметров процесса резания, обеспечивающих заданное значение температуры лезвия инструмента при прерывистом резании.

### ВЫВОДЫ

1. Для повышения производительности и качества поверхности детали при фрезеровании целесообразно процесс резания производить при оптимальной температуре в зоне резания.

2. Определена масса нагреваемого тела в процессе фрезерования, что позволяет определить температуру в зоне резания.

3. В настоящее время имеется возможность судить о температуре в зоне резания металла по расходу электроэнергии на процесс резания при фрезеровании на основе определения температуры массы нагреваемого тела.

4. Установлена связь между мощностью фрезерования и температурой в зоне резания с использованием закона сохранения энергии, применительно к процессу фрезерования, т. е. измеряя мощность фрезерования, можно судить о температуре в зоне резания.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Кишуров В. М.** Резание материалов. Режущий инструмент: учеб. пособие / В. М. Кишуров, П. П. Черников; Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т. – Уфа, 2004. – 268 с. [V. M. Kishurov, «Cutting materials. Cutting tools», pp. 268, 2004.]

2. **Макаров А. Д.** Оптимизация процессов резания. – М.: Машиностроение, 1976. – 278 с. [A. D. Makarov, «Cutting process optimization», pp. 278, 1976.]

3. **Река Н. Г.** Система управления лезвийной обработкой металлов на основе определения температуры в зоне резания по расходу электроэнергии: Дис. канд. техн. наук: 05.13.06 / Н. Г. Река. — Уфа, 2016. –174 с. [N. G. Reka, «Control system for blade processing of metals on the basis of determining the temperature in the cutting zone by the power consumption», pp. 174, 2016.]

4. **Река Н. Г., Коуров Г. Н., Лютов А. Г.** Способ определения температуры в зоне резания металла: пат. 2585917 Рос. Федерация: МПК В 23 В 25/06, В 23 Q 17/00 / Река Н. Г., Коуров Г. Н., Лютов А. Г.; патентообладатель Уфим. гос. авиац. техн. ун-т. – № 2014148819/02; заявл. 03.12.14; опубл. 10.06.16. [N. G. Reka, G. N. Kourou, A. G. Lutov «The method of determining the temperature in the cutting zone of the metal», 2016.]

5. **Ивченко Т. Г.** Исследование тепловых явлений при фрезеровании в условиях нестационарного теплообмена / Ивченко Т. Г., Голембиевская Т. Н., Рудина И. А. // Машиностроение и техносфера XXI века // Сборник трудов XIII международной научно-технической конференции

в г. Севастополе 11–16 сентября 2006 г. В 5-ти томах. – Донецк: ДонНТУ, 2006. Т. 2. – С. 61-63. [Т. Г. Ivchenko, «Investigation of thermal phenomena during milling under conditions of non-stationary heat exchange», 2006.]

### ОБ АВТОРАХ

**РЕКА Надежда Георгиевна**, ст. преподаватель каф. автоматизации технологических процессов. Дипл. инженер по технологии машиностроения (УГАТУ, 2012). Канд. техн. наук по автоматизации технологич. процессов и производств (ИжГТУ, 2017). Иссл. в обл. автоматизации технологич. процессов и производств.

**КОУРОВ Георгий Николаевич**, доц. каф. автоматизации технологических процессов. Дипл. инженер по автоматизации технологич. процессов и производств (СГИ, 1968). Канд. техн. наук по автоматизации технологич. процессов и производств (СГИ, 1976). Иссл. в обл. автоматизации технологич. процессов и производств.

**ЛЮТОВ Алексей Германович**, проф., зав. каф. автоматизации технологич. процессов. Дипл. инженер-электроник (УАИ, 1985). Д-р техн. наук по системн. анализу, упр. и обработке информации (УГАТУ, 2005). Иссл. в обл. автоматизации и упр. сложн. техн. объектами и процессами.

### METADATA

**Title:** To the question of determining the parameters of the required temperature mode in milling

**Authors:** N. G. Reka<sup>1</sup>, G. N. Kourou<sup>2</sup>, A. G. Lutov<sup>3</sup>

**Affiliation:** Ufa State Aviation Technical University (UGATU), Russia.

**Email:** <sup>1</sup>kourova.89@mail.ru, <sup>2</sup>kourov\_gn@mail.ru, <sup>3</sup>lutov1@mail.ru

**Language:** Russian.

**Source:** Molodezhnyj Vestnik UGATU (scientific journal of Ufa State Aviation Technical University), no. 2 (21), pp. 105-108, 2019. ISSN 2225-9309 (Print).

**Abstract:** In the article, within the framework of solving the actual problem of forming the surface quality of the part during milling, it is proposed to provide the required temperature conditions in the cutting zone based on information on the electrical parameters of the main drive of the machine. The choice of the milling scheme that provides the ability to control the quality indicators of the surface of the part during milling is grounded. The relationship of the mass of the heated body during milling with the parameters of the cutting mode is determined.

**Key words:** milling process, temperature in the cutting zone, heated body, energy conservation law.

### About authors:

**REKA, Nadezhda Georgievna**, Senior Lecturer, Master of Engineering technology (UGATU, 2012), Cand. of Tech. Sci. (IzhGTU, 2017)

**KOUROV, Georgiy Nikolaevich**, Assoc., Dept. of Automation of technological processes. Dipl. engineer of Automation of technological processes and manufactures (UAI, 1985), Cand. of Tech. Sci. (SGI, 1976)

**LYUTOV, Aleksey Germanovich**, Prof., head of a Dept. of Automation of technological processes. Dipl. electronic engineer (UAI, 1985), Dr. of Tech. Sci. (UGATU, 2005)