ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ РЕЖИМОВ В ЗОНЕ ФРЕЗЕРОВАНИЯ ЗАГОТОВОК СПЛАВОВ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ

Арзуманян Алексан Мкртычевич
Докт. техн. наук, профессор Гюмрийского филиала
Национального политехнического университета Армении,
г. Гюмри
Манукян Оганес Самвелович
Канд. техн. наук, доцент Гюмрийского филиала
Национального политехнического университета Армении,
г. Гюмри
DOI: 10.31618/ESU.2413-9335.2019.1.58.25-28

АННОТАЦИЯ

Приведен анализ методик рассчета температуры в зоне резания при тонколезвийном фрезеровании сплавов цветных металлов. Рассмотрено влияние режимов резания на среднюю температуру в зоне резания с учетом холостого хода режушего лезвия фрезы в процессе обработки. Доказано согласование расчетных и экспериментальных данных температуры на основе компьютерного моделирования.

ABSTRACT

The analysis of methods for calculating the temperature in the cutting zone for fine-milled milling of non-ferrous alloys is given. The influence of cutting modes is considered for calculating the average temperature in the cutting zone, taking into account the idling speed of the cutting blade of the milling cutter during the machining process. Satisfaction was proved when comparing the calculated and experimental temperature data on the basis of computer simulation.

Ключевые слова*:* фрезерование, температура, цветные сплавы, режимы резания, моделирование.

Keywords*:* milling, temperature, color alloys, cutting modes, modeling.

В настоящее время при тонколезвийной обработке металлов предьявляются повышеные требования как к производительности, так и шероховатости обработанной поверхности, размерной точности и качеству обработанных деталей.

При прерывистой обработке сплавов из цветных металлов в качестве режущего инструмента часто применяются однозубые фрезы, которые не требуют специальной установки режущей пластины относительно обрабатываемой поверхности.

Чтобы повысить производительность требуется применять многозубые инструменты. Для тонколезвийной обработки применяются алмазные фрезы. Поскольку на современном этапе в условиях малого и среднего бизнесе обрабатываются штучные детали или обработка производится малыми сериями, то не выгодно иметь дорогостоящие, почти не доступные инструменты, а рекомендуется применять дешевые корундовые многозубые фрезы.

Применение таких фрез дает возможность получить возможность получить шероховатость обработанной поверхности и точность обработки аналогично алмазным инструментам. Кроме того повышается производительность обработки и стойкость режущих пластин. Благодаря высоким скоростям обработки, малым силовым нагрузкам в контактной зоне возможно определять среднюю температуру резания и, в дальнейшем с помощью расчетов уточнить распределение отдельных направлений теплопотоков в зависимости от режимов фрезерования и физико – механических свойств режущего и обрабатываемого материала.

Методы расчета тепловых потоков и температур, разработаные А.Н. Резниковым [1,2], дают возможность определить температуру в зоне резания. Экспериментами, проведенными нами доказана, что в диапазоне скоростей резания от 88 до 703 м/мин при прерывистом резании расчетные и практические значения почти совпадают. Для проведения экспериментов была применена одназубая торцевая фреза, оснащенная корундовой пластиной, закрепляемой на корпусе фрезы механическим путем. Был применен математический метод планировании экспериментов – 3^3. Величина подачи варьировались в диапазоне s= 0,007…0,07 мм/зуб, а глубина резания в интервале t= 0,02…02 мм. Геометрические параметры режущей части корундовой пластины: $\varphi = \varphi = 45$; $\alpha = 6$; $\gamma = 6$; $\lambda = 6$; r= 0,3…0,5 мм.

Обработке подвергались алюминиевый сплав Д16 и медный сплав ЛС59-1. Дальнейшая обработка данных произведена с помощью математического пакета MATLAB 6.5.

Известно, что обычно в заготовку может поступать 47 % теплоты, а в режущую пластину 4,5%.

При тонколезвийной обработке сплавов из цветных металлов оптимальные режимы резания определяются по критерию износа режущей пластины по задней грани, который также связан с шероховатостьи обработанной поверхности и температуры в зоне резания и сил резания.

Эксперименты были проведены по вышеуказанной методике, результаты которых приведены в табл.1.

Таблица 1

Результаты проведенных исследований

№ экспери-мента	*v*, м/мин	*s*, мм/зуб	*t*, мм	*Pz*, Н ·10	*Py*, Н·10	*Ra*, мкм	*Θ°* ,С
				Алюминиевый сплав Д16			
				Режущая пластина – корунд(рубин ‘Роза’)			
1	88	0,007	0,200	1,188	0,456	0,14	113
2	250	0,007	0,020	0,127	0,059	0,16	152
3	703	0,007	0,063	0,312	0,137	0,14	220
4	88	0,022	0,020	0,304	0,129	0,32	113
5	250	0,022	0,063	0,745	0,295	0,26	174
6	703	0,022	0,200	2,014	0,740	0,21	291
7	88	0,070	0,063	2,060	0,723	0,56	138
8	250	0,070	0,200	5,561	1,810	0,46	232
9	703	0,070	0,020	0,597	0,238	0,53	295

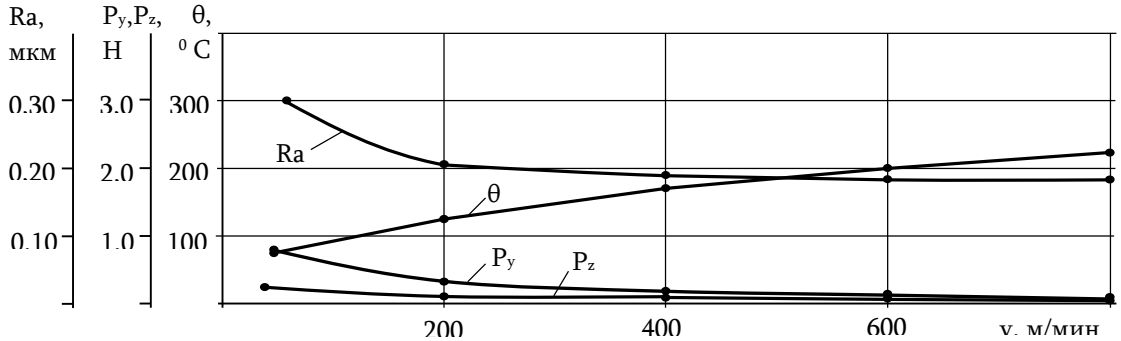
После обработки результатов исследований были получены следующие формулы для сил резания при обработке алюминиевого сплава Д16 режущей пластиной рубин ‘Роза’:

$$Pz = 304{,}4\ V^{-0{,}11}\ S^{0{,}71} \cdot t^{0{,}91} \quad (1);$$

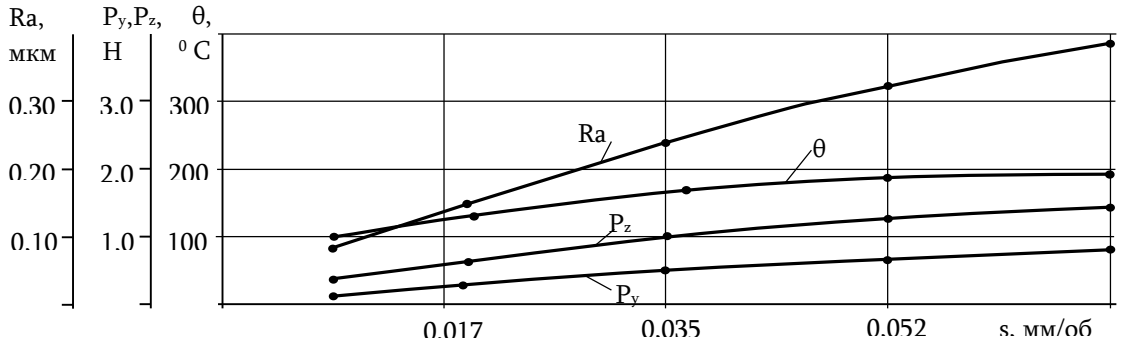
$$Ra = 2{,}62\ V^{-0{,}076}\ S^{0{,}55}\ t^{0{,}1} \quad (3);$$

$$Py = 63{,}1\ V^{-0{,}09}\ S^{0{,}63} \cdot t^{0{,}83} \quad (2);$$

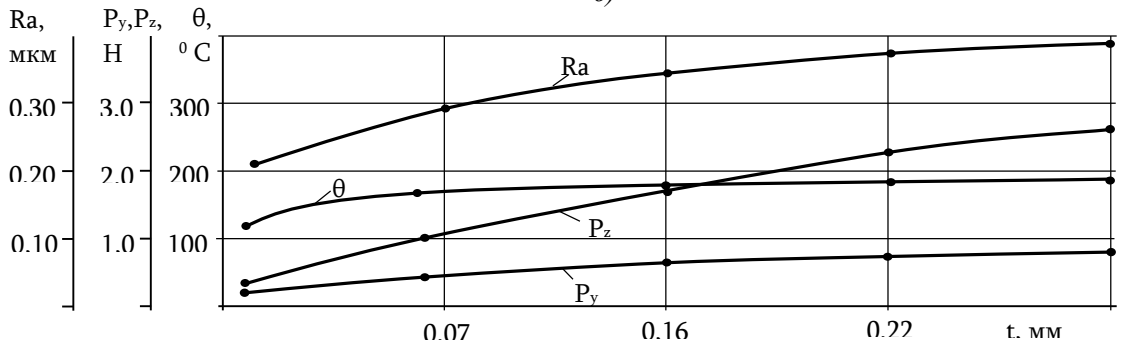
$$\Theta = 42{,}8 \cdot V^{0{,}38}\ S^{0{,}15}\ t^{0,} \quad (4).$$



а



б)



В

Рис.1. Зависимость шероховатости Ra, температуры θ и сил резания Pz, Py от режимов обработки алюминового сплава Д16.

На рис.1 приведен график влияния режимов фрезерования *v, s, t* на исследуемые величины.

Эксперименты показали, что при оптимальных сочетаниях режимов резания исследованные величины не превышают полученные расчетные значения и вполне совпадают с экспериментальными данными.

Но известны также теоретические методы определения температуры в зоне резания, где доминируются работы А.Н. Резникова и С.С. Силина [1,2,3,4].

Целью работы также является сравнение результатов температуры резания по методикам вышеуказанных авторов и экспериментальным и расчетным данным полученным нами.

Авторами [4] доказано, что при обработке титанового сплава ВТ3-1 режущим материалом ВК8 температура резания по теории А.Н. Резникова хорошо согласуется с экспериментальными данными при малых скоростях резания. Но при больших скоростях метод А.Н. Резникова дает большие расхождения экспериментальных и теоретических данных.

Для расчета температуры резания теории С.С. Силина и А.Н. Резникова имеют конкретные ограничения. По теории С.С. Силина необходимо, чтобы величина, характеризующая степень пластической деформации снимаемого материала ***B*** имела значение не менее 0,4. Метод А.Н. Резникова надо применять в том случае, если образуется сливная стружка [7].

Оценка средней температуры в зоне резания произведена посредством схемы, основанной на методе естественной термопары. Для ее измерения составлена естественная термопара из двух заготовок, изготовленных из двух различных материалов и изолированных друг от друга, а также зажимного приспособления из трех электроизоляционных прокладок [9].

В процессе фрезерования на месте изоляции заготовок образованная стружка входит в электрический контакт с материалом двух заготовок, образуя тем самым из них естественную термопару. Для повышения точности измерения температура свободных концов термопары поддерживалась на уровне 0°С, соответствующей температуре плавления чистого льда, изготовленного из дистиллированной воды. С этой целью, свободные концы термопары были погружены в отдельные стаканы с дистиллированной водой и плавающими в ней кусочками льда. Образованная в процессе резания в термопаре термоэдс, усиливалась посредством усилителя марки ТА-5 и подавалась на вход светолучевого осциллографа марки Н-700. В периоде с 2002-2009 г.г. для усиления термоэдс применялся усилитель марки ЛА-УН16, имеющий функцию автоматической компенсации температуры свободных концов термопары, что позволило исключить стабилизацию температуры свободных концов термопары.

Тарировку термопары производили посредством погружения стружек из материалов заготовок, составляющих естественную термопару, в расплавленную смесь цинка со свинцом, температура которой составляла 353,2^{0}С.

На рис. 1 представлена зависимость температуры Θ на вершине резца при скоростях резания от 88 до 703 м/мин, подаче от 0,007 до 0,07 мм/зуб и глубины резания от 0,02 до 0,2 мм при обработке алюминового сплава Д16 корундовой режущей пластиной [9].

Экспериментами доказано, что с увеличением режимов резания увеличивается температура на вершине лезвия режущей пластины, что совпадает с расчетными данными. Расчеты проведены с использованием пакета MathCAD 2000 PROFESSIONAL. Разработана методика определения температуры на вершине лезвия режущей пластины с учетом условий тонкой прерывистой обработки сплавов цветных металлов, свойств обрабатываемого и режущего материалов, геометрических параметров лезвия режущей пластины и режимов обработки.

Для расчета средней температуры к концу рабочего и холостого ходов при обработке торцевой фрезой предлагается использовать формулы:

$$\theta^{\text{m}}_{\text{ср.раб.}} = \theta_{\text{раб.}} + \left[\frac{c\left(1 - c^{m-1}\right)}{1 - c} \theta_{\text{Д}} + \Delta\theta \right] \cdot S_{\text{раб.}} \tag{5}$$

$$\theta^{\text{m}}_{\text{ср.ол.}} = \theta_{\text{хол.}} + \left[\frac{c\left(1 - c^{m-1}\right)}{1 - c} \theta_{\text{Д}} + \Delta\theta \right] \cdot S_{\text{хол.}} \tag{6}$$

где $\theta_{\text{раб.}}$ и $\theta_{\text{хол.}}$ - средние температуры резания к концу рабочего и холостого ходов, определяемые по формулам:

$$\theta_{\text{раб.}} = \frac{\left[M_1 q_1 l_1^2 + M_2 q_2 l_2^2 + l_1 l_2 \left(N_2 q_2 + N_1 q_1\right)\right]}{\lambda_p \left(l_1 + l_2\right)} \cdot S_{\text{раб.}} \tag{7}$$

$$\theta_{\text{хол.}} = \frac{\left[M_1 q_1 l_1^2 + M_2 q_2 l_2^2 + l_1 l_2 \left(N_2 q_2 + N_1 q_1\right)\right]}{\lambda_p \left(l_1 + l_2\right)} \cdot S_{\text{хол.}} \tag{8}$$

$\theta_Д$ - температура деформации, $\Delta\theta$ - повышение температуры в связи с подогревом обрабатываемого материала зубьями фрезы, идущими впереди него; $m = 1,2,3,\ldots,$ - число зубьев фрезы; C - коэффициент, учитывающий повышение температуры, вызванное накоплением теплоты в поверхностных слоях материала заготовки; $S_{раб.}$ и $S_{хол.}$ - функции, зависящие от критерия Фурье и отношения длительности холостого и рабочего ходов; l_1 и l_2 - длины контактов соответственно на передней и задней гранях режущей кромки фрезы; $\lambda_р$ - коэффициент теплопроводности материала режущей кромки; q_1 и q_2 - интенсивности итоговых источников теплоты соответственно на передней и задней гранях режущей кромки фрезы; M_1, M_2, N_1, N_2 - функции, учитывающие, что каждый из источников теплоты, действуя на своей поверхности, прогревает режущий клин и вызывает рост температуры на площадке, где расположен другой источник и определяются по формулам, приведенным в работе [4,5]. Для однозубой фрезы (или для первого зуба фрезы) $m = 1$; $\Delta\theta = 0$.

Расчетамы доказано, что средняя температура передней и задней поверхностях составляет соответственно 125,8° С и 133,2° С. Полученные почти одинаковые значения температуры резания на передней и задней грани корундовой пластины обьясняются малыми размерами среза. В итоге в конце рабочего хода средняя температура достигает до 126,4° С. Исходя из вышеуказанных соображений температура в конце холостого хода, то есть начале следующего рабочего хода будет равна 82,8° С.

Фактически после каждого холостого хода, то есть в начале следующего рабочего хода нагретая полоска обрабатываемой заготовки успевает за счет теплопроводности передать определенную часть энергии соседней полоске. Исходя из этого температура резания соответственно в начале и в конце обработки будут различаться друг от друга примерно в 1,2 раза, что получено экспериментом. Поэтому полученное расчетное значение температуры резания чуть занижено.

Связь между температурами рабочего и холостого ходов определяется по следующей зависимости: $\theta_{хол.} = \theta_{раб.}/\varepsilon^{0,174}$, где ε относительное снижение температуры, вызванное теплоотдачей в окружающий воздух.

Выводы

1. Учет влияния тепловых явлений на напряженное состояние корундовой режущей пластины позволит приблизить математическое описание физических процессов в зоне резания к реальным условиям.

2. Расчет тепловых процессов в зоне резания при тонком фрезеровании цветных металлов и сплавов летучей фрезой можно с успехом проводить по методике, разработанной для процесса шлифования с одним зерном. Формулы для определения средних температур к концу рабочего и холостого ходов при фрезеровании позволяют учесть прерывистость процесса.

3. Предложенные методики моделирования тепловых полей в заготовке из сплавов цветных металлов и корундовой режущей пластине на основе дифференциального уравнения теплопроводности позволяют выявить местоположение опасных сечений и управлять тепловыми процессами при тонкой прерывистой обработке соответствующим подбором условий и ее температурно-силовых режимов, способствуя повышению качества и точности обрабатываемых поверхностей.

4. Применение закона сохранения энергии к процессам тонколезвийной прерывистой обработки цветных металлов и сплавов корундовыми режущими пластинами позволило разработать методику расчета средней температуры в зоне резания, которая намного сокращает время расчета и обеспечивает достаточную для инженерных расчетов точность.

Использованная литература

1. Резников А.Н. Теплофизика резания. «Машиностроение» -М.: 1969, -288 с.

2. Резников А.Н. Алмазная и абразивная обработка материалов. Справочник, «Машиностроение» -М.: -1977. -391 с.

3. Резников А.Н., Резников Л.А. Тепловые процессы в технологических системах.-М.: Машиностроение, 1990. -288 с.

4. Силин С.С. Метод подобия при резании материалов.-М.: Машиностроение, 1979.-152 с.

5. Пушных В.А., Бибик В.Л. Сравнение двух методов расчета температуры резания// Известия Томского политехнического института. 2004.Том 307. N 3. – С.102…104.

6. Трусов В.Н. и др. Влияние режимов резания на температуру при фрезеровании заготовок из труднообрабатываемых материалов// Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета, N 3(27), 2011. С.57…62.

7. Арзуманян А.М. Результаты теоретических исследований тепловых явлений в процессах прерывистий обработки/ Периодический научный журнал ‘Хандзта’, №4(9), Кутаиси-Тбилиси, 2011, с. 21-32.

Работа выполнена в рамках госбюджетного финансирования по теме 18SH-2D010 ГКН Республики Армения.