

Ю. Г. КАРАПЕТЯН

ТЕМПЕРАТУРА РЕЗАНИЯ ПРИ ТОРЦЕВОМ ФРЕЗЕРОВАНИИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ РЕЖИМОВ

Одним из высокопроизводительных методов обработки металлов резанием является фрезерование. Ведущее место среди фрезерных операций занимает торцевое фрезерование, которое является одним из производительных методов обработки плоскостей разных размеров резанием.

Для процесса фрезерования характерны прерывистость и непрерывное изменение толщины среза по всему пути контакта. Эти явления приводят к изменению динамических и тепловых параметров, усадки стружки, коэффициентов трения контактных поверхностей и ряда других параметров резания.

Тепло, возникающее в процессе фрезерования, влияет на стойкость инструмента, на качество обработанной поверхности, изменяет механические свойства обрабатываемого металла впереди резца и под резцом, влияет на процесс наростообразования и т. д.

Настоящая экспериментальная работа посвящена исследованию температуры резания и установлению ее зависимости от элементов режимного поля в условиях торцевого фрезерования.

Работа произведена на вертикально-фрезерном станке «Чепель», с применением симметричной схемы фрезерования. В качестве опытного материала применялись: сталь 45, сталь IX18H9T и титановый сплав BT14. Образцы имели форму брусков с шириной $t=80$ мм и обрабатывались в состоянии поставки.

Фрезерование производилось однозубной торцевой головкой диаметром $D=110$ мм с ножом, армированным твердосплавными пластинками марки Т5К10 и ВК8, с геометрией: $\gamma=0^\circ$, $\alpha=12^\circ$, $\varphi=60^\circ$, $\lambda=0^\circ$, $\varphi_1=15^\circ$, $\alpha_1=10^\circ$.

Температура резания измерялась методом естественной термопары с регистрацией ТЭДС на фотобумаге с помощью осциллографа Н105. В работе приведены значения температуры в милливольтках.

Опыты проводились методом статистического планирования эксперимента [1], целью которого является получение большей информации при меньшем числе экспериментов, с варьированием всеми факторами одновременно.

В наших опытах рассматривается факторный эксперимент типа 3^3 , где три фактора участвуют на трех уровнях, с повторением каждого эксперимента три раза. Так как в этом случае получается большое число экспериментов, то необходимо несколько ограничить рандомизацию и

рассматривать факторный эксперимент типа 3^3 с разбиением на блоки, число которых кратно трем. В табл. 1 приведен план третьереплики факторного эксперимента 3^3 .

Таблица 1

$V, \text{м/мин}$	$S_z, \frac{\text{мм}}{\text{зуб}}$	$B, \text{мм}$
32	0,1	1,5
81	0,1	0,5
207	0,1	3,5
32	0,2	0,5
81	0,2	3,5
207	0,2	1,5
32	0,4	3,5
81	0,4	1,5
207	0,4	0,5

После проведения экспериментов составляется математическая модель зависимости максимальной и средней температуры и температуры на выходе от режимов резания в следующем виде:

$$\theta_{\max} = C_{\theta_1} V^{x_1} S_z^{y_1} B^{z_1}, \quad (1)$$

$$\theta_{\text{вых}} = C_{\theta_2} V^{x_2} S_z^{y_2} B^{z_2}, \quad (2)$$

$$\theta_{\text{ср}} = C_{\theta_3} V^{x_3} S_z^{y_3} B^{z_3}. \quad (3)$$

Результаты исследования для ст. 45 приведены в табл. 2.

Таблица 2

$V, \text{м/мин}$	$S_z, \text{мм/зуб}$	$B, \text{мм}$	$\theta_{\max}, \text{мб}$	$\theta_{\text{ср}}, \text{мб}$	$\theta_{\text{вых}}, \text{мб}$
32	0,1	1,5	7,67	7,56	7,06
81	0,1	0,5	9,38	8,88	8,85
207	0,1	3,5	13,5	12,15	12,96
32	0,2	0,5	8,09	7,6	7,47
81	0,2	3,5	11,61	10,36	10,32
207	0,2	1,5	14,4	13,38	13,89
32	0,4	3,5	10,02	8,86	9,22
81	0,4	1,5	12,4	11,41	11,69
207	0,4	0,5	15,2	14,66	14,69

Для определения показателей степени и коэффициентов, в (1), (2), (3) был использован метод наименьших квадратов. Логарифмируя (1), (2), (3) и вводя соответствующие обозначения, получаем:

$$\theta_1 = C_1 + X'_1 V_1 + X'_2 S_1 + X'_3 B_1, \quad (4)$$

$$\theta_2 = C_2 + Y'_1 V_1 + Y'_2 S_1 + Y'_3 B_1, \quad (5)$$

$$\theta_3 = C_3 + Z'_1 V_1 + Z'_2 S_1 + Z'_3 B_1. \quad (6)$$

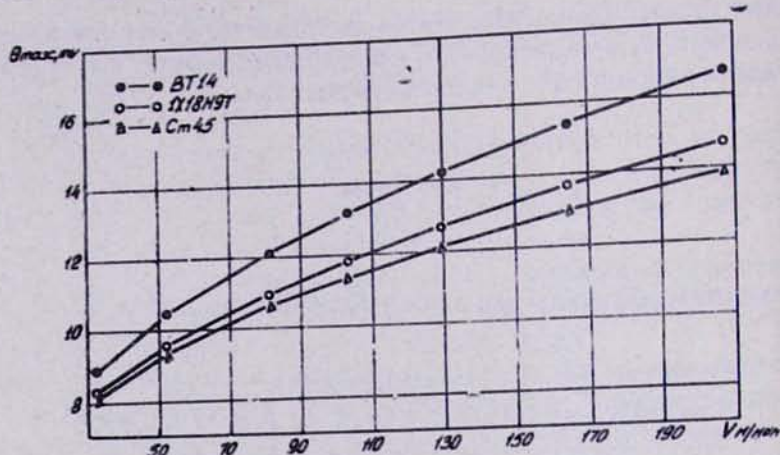
Применяя условия Гауса для (4), (5), (6) и программируя на ЭВМ

«Наири-2», получаем все неизвестные коэффициенты и показатели степени [2]. Полученные коэффициенты и показатели степени для ст. 45, ст. IX18H9T и титанового сплава BT14 приведены в табл. 3.

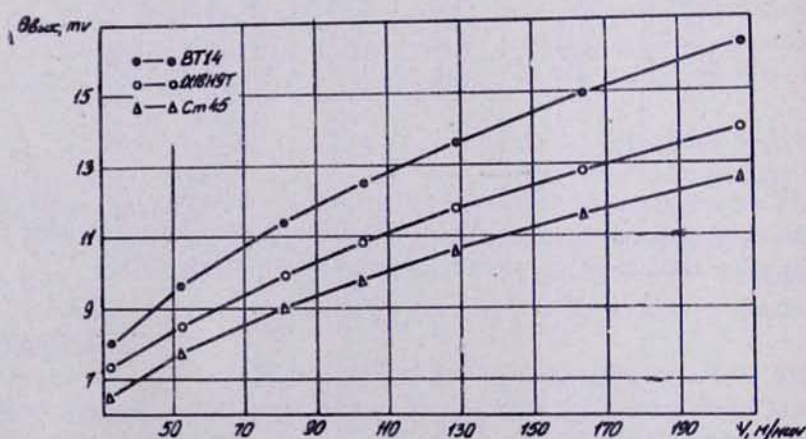
Таблица 3

Обрабатываемый материал	Для максимальной температуры $\theta_{\max}$				Для температуры на выходе $\theta_{\text{вых}}$				Для средней температуры $\theta_{\text{ср}}$			
	C_{θ_1}	X_1	Y_1	Z_1	C_{θ_2}	X_2	Y_2	Z_2	C_{θ_3}	X_3	Y_3	Z_3
Ст. 45	4,13	0,29	0,16	0,052	3,52	0,3	0,16	0,05	3,66	0,29	0,16	0,02
Ст. IX18H9T	4,23	0,31	0,19	0,04	3,06	0,36	0,18	0,02	3,63	0,32	0,2	0,04
BT14	4,11	0,34	0,19	0,04	3,12	0,38	0,17	0,03	3,12	0,38	0,18	0,04

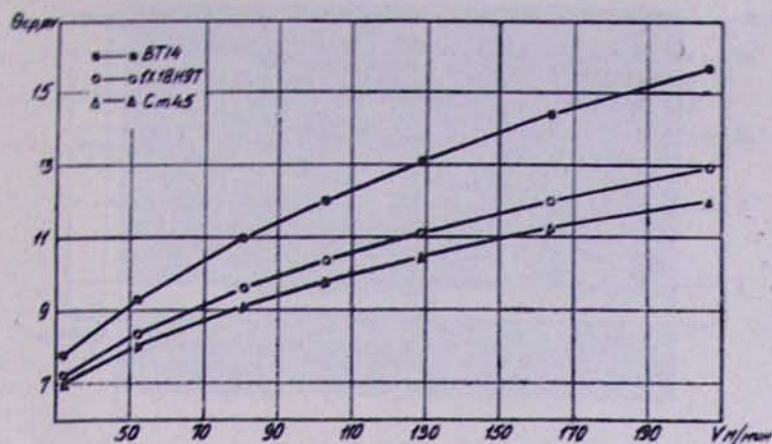
На рис. 1 а, б, в приведены графики изменения максимальной и средней температуры и температуры на выходе в зависимости от скорости



а



б



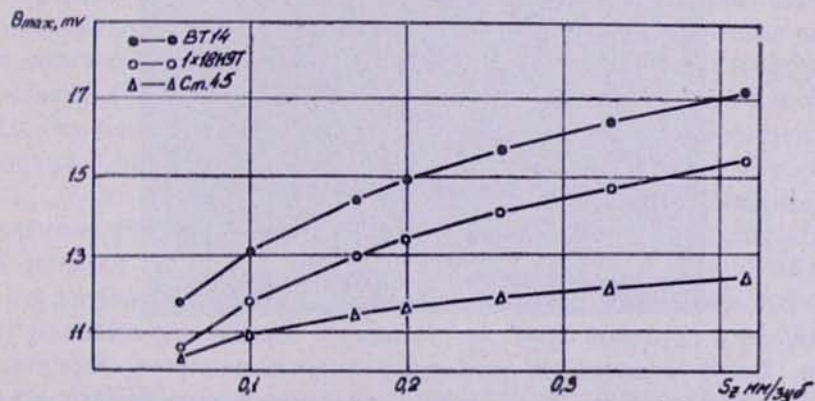
в

Рис. 1. Влияние скорости резания на: а) максимальную температуру, б) температуру выхода, в) среднюю температуру.

сти резания. Из графиков следует, что с увеличением скорости резания V максимальная и средняя температуры и температура на выходе возрастают, причем их рост происходит медленнее, чем рост скорости резания. Это объясняется тем, что с увеличением скорости резания уменьшается количество тепла, выделяющегося за счет пластической деформации, с одной стороны, а с другой—увеличивается количество тепла, выделяемое за счет работы трения.

С увеличением подачи S_z (рис. 2а, б, в) увеличивается давление на резец, следовательно, увеличивается работа деформации, вследствие чего возрастает теплота резания. Но при этом усадка стружки уменьшается, расширяется площадь контакта стружки с резцом, что приводит к улучшению отвода тепла от зоны резания. В результате температура резания повышается с увеличением подачи, но в меньшей степени, чем при повышении скорости резания.

а



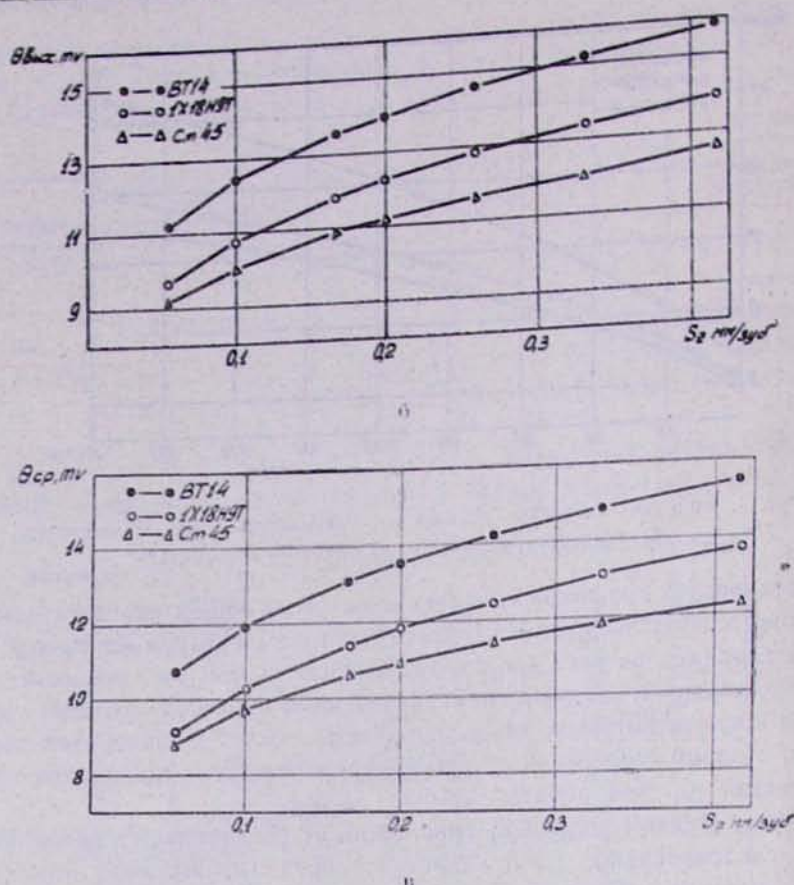
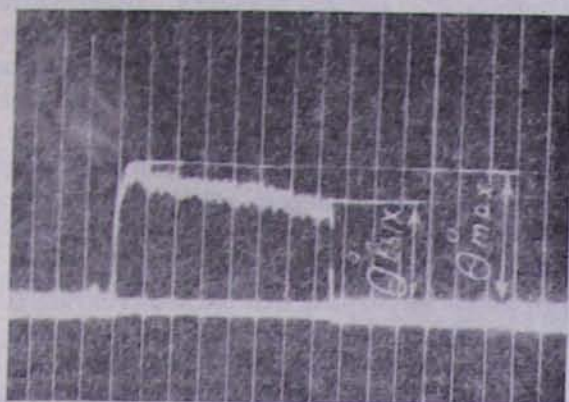


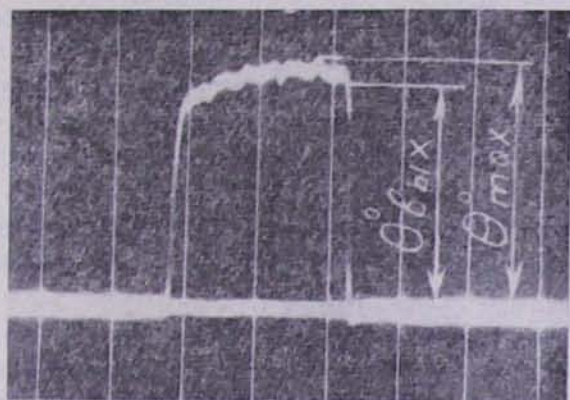
Рис. 2. Влияние подачи на: а) максимальную температуру, б) температуру выхода, в) среднюю температуру.

Еще меньше влияет на температуру глубина резания (табл. 3), так как длина рабочего лезвия увеличивается пропорционально глубине резания и почти в такой же степени усиливается теплоотвод от него, в результате температура мало изменяется с увеличением глубины резания. Кроме вышесказанного, из рис. 1 и 2 следует, что при одинаковых условиях резания температура контакта BT14 в 1,3—1,4 раза выше, чем у ст. 45, и в 1,1—1,2 раза выше, чем у ст. IX18H9T. Это объясняется низкой пластичностью и теплопроводностью титановых сплавов ($\lambda = 0,018—0,02$ кал/см сек, $^{\circ}\text{C}^{\circ}$), что способствует концентрации тепла в микрообъемах стружки и инструмента [3].

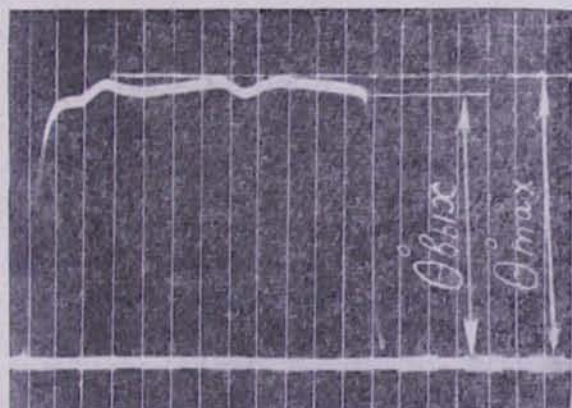
На рис. 3а, б, в приведены осциллограммы изменения температуры резания по углу контакта для стали 45 при скоростях резания $V=32$, 101 и 207 м/мин, с одинаковыми для всех скоростей подачами на зуб $S_z = 0,1$ мм/зуб и глубиной $B=2$ мм. Наряду с общим возрастанием уровня θ_{max} и $\theta_{ср}$, с увеличением скорости резания изменяется характер кривой температуры. Если при $V=32$ м/мин температура быстро нарастает



а



б



в

Рис. 3. Осциллограммы температуры резания ст. 45; $S = 0,1$ мм/зуб, $B = 2$ мм; а) $V = 32$ м/мин, б) $V = 101$ м/мин, в) $V = 207$ м/мин.

до $\theta_{\max}$ и в дальнейшем, с углом поворота уменьшается, то для $V=101$ м/мин она постепенно нарастает и имеет $\theta_{\max}$ почти на самом выходе. А при увеличении скорости резания до $V=207$ м/мин температура быстро нарастает до $\theta_{\max}$ и, в дальнейшем, с углом поворота остается постоянной.

Надо отметить, что при обработке осциллограмм по наибольшей ординате кривой определялась максимальная температура $\theta_{\max}$, путем планиметрирования — $\theta_{\text{ср}}$, а температура на выходе, $\theta_{\text{вых}}$, определялась по ординате кривой в самом конце процесса.

Для полного анализа результатов экспериментальных данных производится проверка гипотезы влияния режимного поля на максимальную и среднюю температуры и температуры на выходе методом дисперсионного анализа. Исходя из данных табл. 1 можно объединить девять экспериментов по уровням фактора В, применяя следующие обозначения (табл. 4).

Таблица 4

Фактор	Фактор		
	0	1	2
0	1	0	2
1	0	2	1
2	2	1	0

При проверке гипотезы рассматривается анализ только для максимальной температуры $\theta_{\max}$. В табл. 5 приведены значения $\theta_{\max}$ в закодированном виде, с вычитанием 11,36 из каждого показания (при этом F статистики не меняется).

Таблица 5

Фактор S_z	Фактор V			Т...к
	032	131	2207	
0 0,1	-3,69	-1,98	2,14	-3,53
0 0,2	-3,27	-0,25	3,04	0,02
1 0,4	-1,34	1,04	3,84	3,54
2 $T_{i..}$	-8,3	-0,69	9,02	$T_{...} = 0,03$
$T_{.j.}$	по 0,5	по 1,5	по 3,5	
	-1,41	-0,39	1,05	

$$SS_{\text{общ}} = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 \sum_{k=1}^3 X_{ijk}^2 - \frac{T^2}{N}$$

$$SS_{\text{общ}} = (-3,69)^2 + (-1,98)^2 + \dots + (3,84)^2 - \frac{0,03^2}{9} = 59,698.$$

$$SS_{исп. бл.} = \frac{T \cdot \cdot^2 k}{3} - \frac{T \cdot \cdot \cdot^2}{9} = \frac{24,7904}{3} - \frac{0,03^2}{9} = 8,29.$$

$$SS_{исп. вар.} = \frac{T \cdot \cdot^2 j}{3} - \frac{T \cdot \cdot \cdot^2}{9} = \frac{3,243}{3} - \frac{0,03^2}{9} = 1,08.$$

$$SS_{пол.} = \frac{Ti \cdot \cdot^2}{3} - \frac{T \cdot \cdot \cdot^2}{9} = \frac{150,73}{3} - \frac{0,03^2}{9} = 50,243.$$

$$SS_{ост.} = SS_{общ.} - SS_{исп. бл.} - SS_{исп. вар.} - SS_{пол.} = 0,084.$$

Результаты дисперсионного анализа для θ_{max} приведены в табл. 6.

Таблица 6

Источник изменчивости	Число степеней свободы	Сумма квадратов	Средний квадрат
Блок испытаний	2	8,29	4,145
Испытание вариантов	2	1,08	0,54
Положение	2	50,243	25,121
Ошибка	2	0,084	0,042
Итого	8	59,698	

По данным табл. 6 проверяем три следующие гипотезы:

$H_1: V=0$ (нет влияния скорости резания),

$$F_{2,2} = \frac{25,121}{0,042} = 598;$$

$H_2: S_z=0$ (нет влияния подачи),

$$F_{2,2} = \frac{4,165}{0,042} = 98,69;$$

$H_3: B=0$ (нет влияния глубины резания),

$$F_{2,2} = \frac{0,54}{0,042} = 12,85.$$

Из приведенных гипотез не отвергается только $H_3: B$, так как

$$F_{2,2} < F_{табл.}$$

$H_1: V$ отвергается при 1%-ном уровне значимости, а $H_2: S_z$ — при 5%-ном уровне значимости, так как $F_{2,2} > F_{табл.}$.

Расчеты дисперсионного анализа для средней температуры $\theta_{ср.}$ и температуры на выходе $\theta_{вых}$ производятся аналогично расчету θ_{max} .

Для полной достоверности полученных формул и графиков было проведено также несколько экспериментов традиционным методом (результаты здесь не приводятся).

Выводы

1. Для ст. 45, ст. IX18H9T и титанового сплава BT14 получены уравнения расчета максимальной и средней температуры и температуры на выходе в функции от параметров режимов резания.

2. Для полной достоверности полученных формул и графиков производится дисперсионный анализ.

3. При одинаковых условиях резания температура резания BT14 в 1,3—1,4 раза выше, чем у ст. 45 и в 1,1—1,2 раза выше, чем у ст. IX18H9T.

4. Наряду с общим возрастанием уровня $\theta_{\text{ср}}$ и θ_{max} , с увеличением V изменяется характер кривой температуры.

5. Расчеты, проведенные по формулам (1), (2), (3) для одинаковых условий резания, показывают, что $\theta_{\text{ср}}$ и $\theta_{\text{вых}}$ ниже θ_{max} на 10—15%, поэтому тепловые расчеты, связанные с инструментом и деталью, производятся не по средней температуре $\theta_{\text{ср}}$, а по максимальной температуре θ_{max} , действующей на большей части угла контакта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ч. Хикс. Основные принципы планирования экспериментов. М., «Мир», 1967.
2. М. В. Касьян, Г. С. Минасян, Г. Б. Багдасарян. Построение математической модели для расчета составляющих силы резания при точении безвершинным и обычным резцами. «Промышленность Армении», № 1, 1971.
3. Н. И. Резников, И. Г. Жарков и др. Производительная обработка нержавеющей и жаропрочных материалов. М., Машгиз, 1967.