

ТЕМПЕРАТУРА КОНТАКТА РЕЗЕЦ — МЕДЬ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ПАРАМЕТРАХ РЕЖИМНОГО ПОЛЯ

Вопросы обработки чистой меди представляют интерес не только с теоретической точки зрения, но и имеют практическое значение для ряда предприятий типа Кировоаканского завода «Автогенмаш». Специфические особенности резания меди, связанные с высокой теплопроводностью, сочетаются с характерным изнашиванием режущей кромки инструмента. В связи с этим возникла необходимость исследования температуры, возникающей на поверхности контакта.

Для полного представления о влиянии температуры резания и влиянии на нее различных параметров режимного поля необходимо провести исследования с целью определения функциональной зависимости

$$\theta = f(V, t, S, \gamma, \varphi). \quad (1)$$

Предварительные эксперименты показали, что целесообразно провести исследования температуры контакта для резцов из быстрорежущей стали Р18 и резцов, армированных пластинками ВК8, так как резцы из этих инструментальных материалов показали хорошие стойкостные данные [1].

Для повышения эффективности проводимых экспериментов необходимо применять статистический метод планирования эксперимента, что дает возможность определить интересующий параметр со значительно меньшей ошибкой [2].

Поэтому составление математической модели разрешает использовать принцип факторного эксперимента.

В наших экспериментах использовался факторный эксперимент типа 3^3 , то есть три фактора на трех уровнях каждый. Это значит, что при определении температуры контакта учитывается влияние трех факторов, остальные факторы принимаются постоянными. Рассматривается функциональная зависимость $\theta = f(V, t, S)$, при этом $\gamma = \text{const}$; $\varphi = \text{const}$ и $\theta = f(V, \gamma, \varphi)$, где $t = \text{const}$; $S = \text{const}$.

Для факторного эксперимента 3^3 имеем 27 комбинаций, которые могут быть такими, как показано в табл. 1 [для функции $\theta = f(V, t, s)$].

Надо отметить, что каждый эксперимент повторяется 3 раза, в таком случае число проводимых экспериментов составляет $27 \times 3 = 81$. План факторного эксперимента 3^3 полностью рандомизирован, при этом использовались таблицы случайных чисел [3]. Эксперименты проводились в следующем порядке (используются обозначения табл. 1): 201,

Фактор <i>S</i>	Ф а к т о р <i>V</i>								
	0			1			2		
	Ф а к т о р <i>t</i>								
	0	1	2	0	1	2	0	1	2
0	000	010	020	100	110	120	220	210	220
1	001	011	021	101	111	121	201	211	221
2	002	012	022	102	112	122	202	212	222

021, 221, 200, 111, 012, 101, 022, 100, 102, 122, 222, 110, 211, 112, 000, 121, 220, 011, 001, 020, 002, 202, 210, 120, 010, 212.

Результаты проводимых экспериментов для резца Р18 и для резца, армированного пластинкой ВК8, приведены в табл. 2.

После проведения экспериментов составляем математическую модель зависимости температуры контакта от факторов *v*, *t* и *s*. Она имеет следующий вид:

$$\theta = C \cdot V^x \cdot t^y \cdot S^z. \quad (2)$$

Для определения показателей *x*, *y* и *z*, а также коэффициента *C* был использован метод наименьших квадратов. Логарифмируя уравнение (2), получим:

$$\theta' = C'_1 + X V' + Y t' + Z S'. \quad (3)$$

Нашей задачей является нахождение по результатам наблюдений наиболее вероятных значений коэффициентов *C*₁, *X*, *Y* и *Z*, дающих минимум функции:

$$\Phi = \sum_{i=1}^k (\theta'_i - C'_1 - X V'_i - Y t'_i - Z S'_i)^2 \rightarrow \min, \quad (4)$$

где *k* — число наблюдений.

Приравнивая к нулю частные производные функции Φ по неизвестным параметрам *C*₁, *x*, *y* и *z*, получим систему нормальных уравнений.

Применяя метод Гауса для решения полученной системы и произведя расчеты на ЭВМ «Наири-2», получены все неизвестные степени и коэффициент, входящие в уравнение (2).

Для быстрорежущего резца уравнение (2) принимает следующий вид:

$$\theta = 72,56 \cdot V^{0,246} \cdot t^{0,084} \cdot S^{0,134}, \quad (5)$$

а для резца, армированного пластинкой ВК8,—

$$\theta = 36,32 \cdot V^{0,466} \cdot t^{0,041} \cdot S^{0,153}. \quad (6)$$

Таблица 2

V , м/мин	t , мм	S , мм/об	Температура, °С					
			Резец Р 18			Резец ВК8		
			θ_1	θ_2	θ_3	θ_1	θ_2	θ_3
60	0,25	0,15	133	137	137	173	178	175,5
60	0,25	0,3	147,3	146,3	152	190	191	187
60	0,25	0,5	147,3	147,3	147,3	207	212	207,5
60	1,0	0,15	149	152	152	195	195	204
60	1,0	0,3	169	170	169	230,5	230,5	230,5
60	1,0	0,5	185,8	185,8	185,8	233	235	235
60	2,0	0,15	157,5	157,5	157,5	182,5	182,5	175
60	2,0	0,3	178	178	178	190	193	202
60	2,0	0,5	207	202,5	198	182,5	230,5	233
120	0,25	0,15	174,5	174,5	173,5	240,5	240,5	241,5
120	0,25	0,3	180	185,8	191	260	264,5	260
120	0,25	0,5	192,5	197	190	288,5	286	286
120	1,0	0,15	191	189	189	245	270	260
120	1,0	0,3	199,5	198	206	235	279	247
120	1,0	0,5	231	226	226	255	298	303
120	2,0	0,15	193,5	191	192,5	303	250	250
120	2,0	0,3	210	238	232	250	291	303
120	2,0	0,5	235	238	244	303	327	327
200	0,25	0,15	191	185,8	174,5	300	298	291
200	0,25	0,3	202,5	202,5	202,5	353	327	348
200	0,25	0,5	214	217	218	363	273	368
200	1,0	0,15	214	214	208,5	327	291	338
200	1,0	0,3	232	238	226	378	378	327
200	1,0	0,5	238	234	231	353	399	404
200	2,0	0,15	202,5	210	218	303	303	332,7
200	2,0	0,3	232	238	238	430	404	430
200	2,0	0,5	244	240	242,5	430	404	404

Для полной достоверности полученных результатов проводим проверку гипотезы влияния параметров режимного поля v , t , s на температуру резания методом дисперсионного анализа. В табл. 3 приведены значения температуры при резании меди резцом из быстрорежущей стали Р18, а в табл. 4 — значения температуры при резании меди резцом, армированным пластинкой ВК8. Эти величины предварительно закодированы вычитанием из каждого показания соответственно: для Р18 — 200, для ВК8 — 300 (при этом значение F статистики не меняется).

Расчеты методом дисперсионного анализа производятся в следующем порядке.

Сначала найдем общую сумму квадратов по формуле:

$$SS_{\text{общ.}} = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c \sum_{n=1}^n T_{ijkn}^2 - \frac{T \dots^2}{a \cdot b \cdot c \cdot n}, \quad (7)$$

где a , b , c — уровни факторов, n — число наблюдений в каждом варианте.

Сумму квадратов, соответствующую скорости резания, определяем по формуле:

Таблица 3

Подача S	Скорость резания V									$T \cdot k$
	60			120			200			
	Глубина резания t									
	0,25	1,0	2,0	0,25	1,0	2,0	0,25	1,0	2,0	
0,15	-67	-51	-42	-25	-9	-6	-9	14	3	-575
	-63	-48	-42	-25	-11	-9	-14	14	10	
	-63	-48	-42	-26	-11	-7	-25	9	18	
	-193	-147	-126	-76	-31	-22	-48	37	31	
0,3	-53	-31	-22	-20	0	10	3	32	32	-58
	-53	-30	-22	-14	-2	38	3	38	38	
	-48	-31	-22	-9	6	32	3	26	38	
	-154	-92	-66	-43	4	80	9	96	108	
0,5	-53	-14	7	-7	31	35	14	38	44	266
	-53	-14	3	-3	26	38	17	34	40	
	-53	-14	-2	-10	26	44	18	31	43	
	-159	-42	-8	-20	83	117	49	103	127	
$T_{ij} \dots$	-506	-281	-184	-139	56	175	10	236	266	$T \dots = -376$

$$SS_v = \sum_{i=1}^3 \frac{T_{i \dots}^2}{n \cdot b \cdot c} - \frac{T \dots^2}{n \cdot a \cdot b \cdot c}. \quad (8)$$

Сумму квадратов для глубины резания определяем по формуле:

$$SS_t = \sum_{j=1}^3 \frac{T \cdot j \dots^2}{n \cdot a \cdot c} - \frac{T \dots^2}{n \cdot a \cdot b \cdot c}. \quad (9)$$

Сумму квадратов для подачи определяем по формуле:

$$SS_s = \sum_{k=1}^3 \frac{T \cdot \dots k^2}{n \cdot a \cdot b} - \frac{T \dots^2}{n \cdot a \cdot b \cdot c}. \quad (10)$$

По формулам (11), (12), (13), (14) определяется сумма квадратов для указанных на индексе взаимодействий:

$$SS_{v \times t} = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 \frac{T_{ij \dots}^2}{n \cdot c} - \sum_{i=1}^3 \frac{T_{i \dots}^2}{n \cdot b \cdot c} - \sum_{j=1}^3 \frac{T \cdot j \dots^2}{n \cdot a \cdot c} + \frac{T \dots^2}{n \cdot a \cdot b \cdot c}; \quad (11)$$

$$SS_{v \times s} = \sum_{i=1}^3 \sum_{k=1}^3 \frac{T_{i \cdot k}^2}{b \cdot n} - \sum_{i=1}^3 \frac{T_{i \dots}^2}{n \cdot b \cdot c} - \sum_{k=1}^3 \frac{T \cdot \dots k^2}{n \cdot a \cdot b} + \frac{T \dots^2}{n \cdot a \cdot b \cdot c}; \quad (12)$$

$$SS_{t \times s} = \sum_{j=1}^3 \sum_{k=1}^3 \frac{T \cdot j k^2}{n \cdot a} - \sum_{j=1}^3 \frac{T \cdot j \dots^2}{n \cdot a \cdot c} - \sum_{k=1}^3 \frac{T \cdot \dots k^2}{n \cdot a \cdot b} + \frac{T \dots^2}{n \cdot a \cdot b \cdot c}; \quad (13)$$

$$SS_{v \times t \times s} = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 \sum_{k=1}^3 \frac{Tijk \cdot^2}{n} - \sum_{i=1}^3 \frac{T_i \cdot \cdot^2}{n \cdot b \cdot c} - \sum_{j=1}^3 \frac{T \cdot j \cdot \cdot^2}{n \cdot a \cdot c} - \sum_{k=1}^3 \frac{T \cdot \cdot k \cdot^2}{n \cdot a \cdot b} \quad (14)$$

Сумму квадратов ошибок получим, вычитая из полной суммы квадратов все полученные величины:

$$SS_{\text{ост.}} = SS_{\text{общ.}} - SS_v - SS_t - SS_s - SS_{v \times t} - SS_{v \times s} - SS_{t \times s} - SS_{v \times t \times s}, \quad (15)$$

По формулам (7)—(15) произведем расчеты дисперсионного анализа для двух инструментальных материалов Р18 и ВК8.

Результаты расчетов дисперсионного анализа для быстрорежущего резца Р18 приведены в табл. 5, а для резца, армированного пластинкой

Таблица 4

Таблица

Подача <i>S</i>	Скорость резания <i>V</i>									<i>T · k ·</i>
	60			120			200			
	Глубина резания <i>t</i>									
	0,25	1,0	2,0	0,25	1,0	2,0	0,25	1,0	2,0	
0,15	-127	-105	-117	-59	-55	3	0	27	3	-1352
	-122	-105	-117	-59	-30	-50	-2	-9	3	
	-124	-96	-125	-58	-40	-50	-9	38	33	
	-373	-306	-359	-176	-125	-97	-11	-56	39	
0,3	-110	-69	-110	-40	-65	-50	53	78	130	-489
	-109	-69	-107	-35	-21	-9	27	78	104	
	-113	-69	-98	-40	-53	3	48	27	130	
	-332	-207	-315	-115	-135	-56	128	183	364	
0,5	-93	-67	-117	-11	-45	3	63	53	130	49
	-88	-65	-69	-14	-2	27	73	99	104	
	-92	-65	-67	-14	3	27	68	104	104	
	-273	-197	-253	-39	-44	57	204	256	338	
<i>Tij · · ·</i>	-978	-710	-927	-330	-308	-96	321	495	741	<i>T · · ·</i> = -1792

ВК8,— в табл. 6. Используя данные табл. 5, можно проверить следующие гипотезы:

$$H_1: V = 0 \text{ (нет влияния скорости резания)}, F_{2,54} = \frac{21639,85}{20,65} = 10479,3;$$

$$H_2: t = 0 \text{ (нет влияния глубины резания)}, F_{2,54} = \frac{7861,35}{20,65} = 380,6;$$

Таблица 5

Источник изменчивости	Степень свободы	Сумма квадратов	Средний квадрат
Скорость резания Vt	2	43279,7	21639,85
Глубина резания tj	2	15722,7	7861,35
$V \times t$ — взаимодействие (Vt_{ij})	4	278,3	69,57
Подача Sk	2	13327,7	6663,85
$V \times S$ — взаимодействие (VS_{ik})	4	183,2	45,8
$t \times S$ — взаимодействие (tS_{jk})	4	1008,5	252,1
$V \times t \times S$ — взаимодействие (VtS_{ijk})	8	1063,2	132,9
Ошибка $\varepsilon m(ijk)$	54	1115,4	20,65
Сумма	80	75978,2	

Таблица 5

Источник изменчивости	Степень свободы	Сумма квадратов	Средний квадрат
Скорость резания Vt	2	323363,3	161681,65
Глубина резания tj	2	9511,1	4755,55
$V \times t$ — взаимодействие (Vt_{ij})	4	8595,9	2148,97
Подача Sk	2	37000,2	18500,1
$V \times S$ — взаимодействие (VS_{ik})	4	934,7	233,67
$t \times S$ — взаимодействие (tS_{jk})	4	1459,7	364,92
$V \times t \times S$ — взаимодействие (VtS_{ijk})	8	3826,9	478,36
Ошибка $\varepsilon m(ijk)$	54	14924,0	276,37
Сумма	80	408022,8	

$$H_3: S = 0 \text{ (нет влияния подачи), } F_{2,54} = \frac{6663,85}{20,65} = 322,7;$$

$$H_4: Vt_{ij} = 0 \text{ (нет влияния } V \times t \text{ — взаимодействия), } F_{4,54} = \frac{69,57}{20,65} = 3,36;$$

$$H_5: VS_{ik} = 0 \text{ (нет влияния } V \times S \text{ — взаимодействия), } F_{4,54} = \frac{45,8}{20,65} = 2,21;$$

$$H_6: tS_{jk} = 0 \text{ (нет влияния } t \times S \text{ — взаимодействия), } F_{4,54} = \frac{252,1}{20,65} = 12,2;$$

$$H_7: VtS_{ijk} = 0 \text{ (нет влияния } V \times t \times S \text{ — взаимодействия), } F_{8,54} = \frac{132,9}{20,65} = 6,43.$$

Из проверяемых гипотез не отвергаются лишь две: $H_4: Vt_{ij} = 0$ и $H_5: VS_{ik} = 0$, потому, что величины $F_{4,54} < F_{\text{табл.}}$, при 1%-ном уровне значимости. Остальные гипотезы следует отвергать. Результаты проверок показывают, что решающее влияние на температуру контакта резец — медь оказывает скорость резания, меньше — подача и глубина резания. А влияние взаимодействий, несмотря на его существование, весьма мало по сравнению с v , t и s .

Используя данные табл. 6, проверяем следующие гипотезы:

$$H_1: V = 0 \text{ (нет влияния скорости резания), } F_{2,54} = \frac{161681,65}{276,37} = 585,0;$$

$$H_2: t = 0 \text{ (нет влияния глубины резания), } F_{2,54} = \frac{4755,55}{276,37} = 17,2;$$

$$H_3: S = 0 \text{ (нет влияния подачи), } F_{2,54} = \frac{18500,1}{276,37} = 66,9;$$

$$H_4: Vt_{ij} = 0 \text{ (нет влияния } V \times t \text{ — взаимодействия), } F_{4,54} = \frac{2148,97}{276,37} = 7,5;$$

$$H_5: VS_{ijk} = 0 \text{ (нет влияния } V \times S \text{ — взаимодействия), } F_{4,54} = \frac{2335,42}{276,37} = 8,4;$$

$$H_6: tS_{ijk} = 0 \text{ (нет влияния } t \times S \text{ — взаимодействия), } F_{4,54} = \frac{364,92}{276,37} = 1,03;$$

$$H_7: VtS_{ijk} = 0 \text{ (нет влияния } V \times t \times S \text{ — взаимодействия), } F_{8,54} = \frac{478,36}{276,37} = 1,7.$$

Не отвергаются лишь последние две гипотезы: $H_6: tS_{ijk} = 0$ и $H_7: VtS_{ijk} = 0$ ($F_{4,54} < F_{\text{табл.}}$, $F_{8,54} < F_{\text{табл.}}$). Остальные гипотезы отвергаются, потому что полученные величины F значимы при 1%-ном уровне значимости.

Следовательно, по результатам проверок очевидно существование влияния скорости резания на температуру резания, а также влияние подачи и глубины резания.

На рис. 1 показано влияние скорости резания на температуру контакта при обработке меди. Из приведенных графиков следует, что с уве-

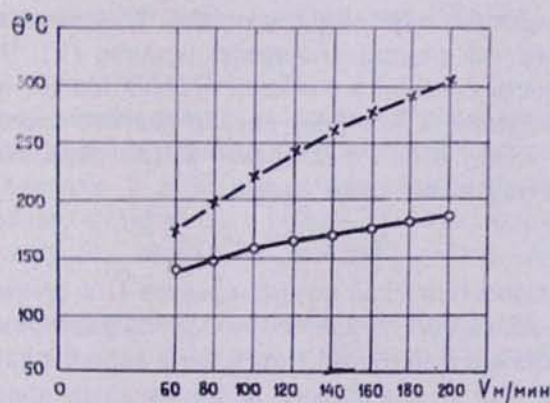


Рис. 1. Зависимость температуры контакта от скорости резания ($t = 0,25$ мм, $S = 0,15$ мм/об); O — резец Р18, $\varphi = 60^\circ$, $\gamma = 25^\circ$; X — резец ВК8, $\varphi = 60^\circ$, $\gamma = 35^\circ$.

личением скорости резания температура контакта возрастает, но это происходит медленнее по сравнению с ростом скорости резания.

Менее интенсивно на температуру контакта влияют подача и глубина резания (рис. 2 и 3). С увеличением глубины резания увеличивается рабочая длина режущей кромки резца, что способствует лучшему теплоотводу. Но с другой стороны, увеличивается работа деформации, следовательно, и температура резания. Заметно, что при $t > 1$ мм температура контакта не получает больших изменений.

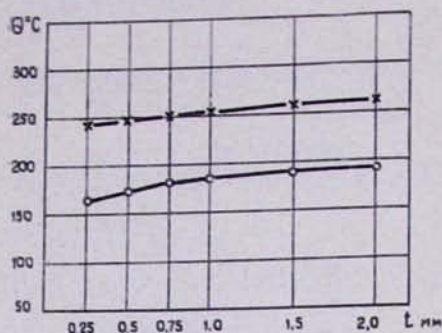


Рис. 2. Зависимость температуры контакта от глубины резания ($V=120$ м/мин, $S=0,15$ мм/об); 0 — резец P18, $\varphi=60^\circ$, $\gamma=25^\circ$; X — резец BK8, $\varphi=60^\circ$, $\gamma=35^\circ$.

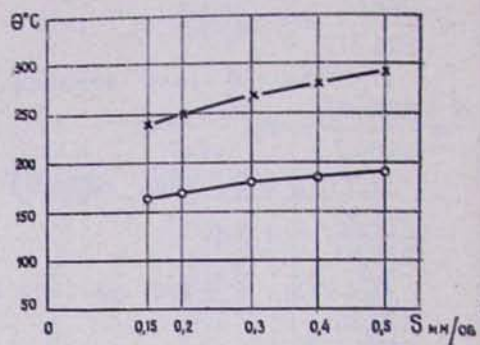


Рис. 3. Зависимость температуры контакта от подачи ($V=120$ м/мин, $t=0,25$ мм); 0 — резец P18, $\varphi=60^\circ$, $\gamma=25^\circ$; X — резец BK8, $\varphi=60^\circ$, $\gamma=35^\circ$.

С увеличением подачи работа деформации увеличивается, что способствует возрастанию температуры. Площадь контакта стружки с передней поверхностью резца увеличивается с увеличением подачи, которая способствует понижению температуры (улучшается теплоотвод). Видимо, на температуру в большей степени влияет работа деформации.

Рассмотрим зависимость между температурой контакта резец — медь и геометрическими параметрами резцов. Присоединим к этим факторам (γ и φ) и третий фактор — скорость резания (V). Это продиктовано тем, что скорость резания в большей степени влияет на температуру контакта, и желательно с помощью дисперсионного анализа установить взаимодействие между этими факторами. Таким образом, рассматривается следующая математическая модель:

$$\theta = C \cdot V^x \cdot \gamma^p \cdot \varphi^q. \quad (16)$$

Для определения значений коэффициентов C и степеней x , p , q для двух инструментальных материалов проводится факторный эксперимент типа 3^3 вышеуказанным методом. Результаты исследования для быстрорежущих резцов P18 и для резцов, армированных пластинками BK8, приведены в табл. 7.

Все неизвестные коэффициенты и степени, входящие в уравнение (16), определяются по вышеуказанной методике.

Для быстрорежущих резцов это уравнение принимает вид:

Таблица 7

V, м/мин	γ, град	φ, град	Температура, °C					
			Резец P18			Резец BK8		
			θ ₁	θ ₂	θ ₃	θ ₁	θ ₂	θ ₃
60	15	45	157	157	157	214	213	211
60	15	60	137	135	137	207	208	206
60	15	90	170	170	169	232	230	230
60	25	45	126	127	131	170	180	170
60	25	60	136	136	139	201	200	204
60	25	90	165	164	162	207	207	208
60	35	45	132	132	133	145	144	140
60	35	60	105	106	103	181	182	184
60	35	90	119	118	118	198	196	197
120	15	45	207	205	206	293	293	293
120	15	60	191	191	191	291	295	293
120	15	90	213	216	214	318	320	316
120	25	45	164	164	162	240	241	240
120	25	60	167	167	168	279	280	280
120	25	90	221	220	221	291	291	292
120	35	45	156	157	158	215	216	218
120	35	60	142	140	139	245	246	247
120	35	90	171	171	174	276	273	274
200	15	45	249	251	248	335	3 0	334
200	15	60	204	204	208	373	3 3	374
200	15	90	256	256	255	398	400	397
200	25	45	191	191	192	308	303	308
200	25	60	184	186	185	332	334	332
200	25	90	248	250	250	368	366	370
200	35	45	181	181	179	260	260	260
200	35	60	164	172	175	285	284	284
200	35	90	191	191	192	258	260	256

$$\theta = 42,11 V^{0,344} \gamma^{-0,304} \varphi^{0,179} \quad (17)$$

Для резцов, армированных пластинками BK8,—

$$\theta = 33,13 V^{0,425} \gamma^{-0,269} \varphi^{0,229} \quad (18)$$

Для полной достоверности результатов проводится проверка гипотезы о влиянии режимов резания на температуру контакта методом дисперсионного анализа. С этой целью значения температуры для двух инструментальных материалов можно предварительно закодировать, вычитая из каждого показания соответственно: для P18—200; для BK8—250.

Расчеты дисперсионного анализа проводятся по формулам (7)—(15). Результаты расчетов приведены в табл. 8 (резец P18) и 9 (резец BK8).

Используя данные табл. 8, проверяем следующие гипотезы:

$$H_1: V = 0 \text{ (нет влияния скорости резания)}, F_{2,54} = \frac{34000,1}{1,69} = 20118,4;$$

Таблица 8

Источник изменчивости	Степень свободы	Сумма квадратов	Средний квадрат
Скорость резания V_1	2	68600,2	34000,1
Передний угол γ_1	2	28968,6	14484,3
$V \times \gamma$ — взаимодействие ($V\gamma_{ij}$)	4	978,2	244,55
Угол в плане φ_2	2	16684,4	8342,2
$V \times \varphi$ — взаимодействие ($V\varphi_{ik}$)	4	1177,8	294,45
$\gamma \times \varphi$ — взаимодействие ($\gamma\varphi_{jk}$)	4	6240,9	1560,22
$V \times \gamma \times \varphi$ — взаимодействие ($V\gamma\varphi_{ijk}$)	8	1796,9	224,61
Ошибка $\varepsilon_m (l_{jk})$	54	91,4	1,69
Сумма	80	123938,4	

$$H_2: \gamma = 0 \text{ (нет влияния переднего угла), } F_{2,54} = \frac{14484,3}{1,69} = 8570,5;$$

$$H_3: \varphi = 0 \text{ (нет влияния угла в плане), } F_{2,54} = \frac{8342,2}{1,69} = 4936,2;$$

$$H_4: V\gamma_{ij} = 0 \text{ (нет влияния } V \times \gamma \text{ — взаимодействия), } F_{4,54} = \frac{244,55}{1,69} = 144,7;$$

$$H_5: V\varphi_{ik} = 0 \text{ (нет влияния } V \times \varphi \text{ — взаимодействия), } F_{4,54} = \frac{294,45}{1,69} = 174,2;$$

$$H_6: \gamma\varphi_{jk} = 0 \text{ (нет влияния } \gamma \times \varphi \text{ — взаимодействия), } F_{4,54} = \frac{1560,22}{1,69} = 923,2;$$

$$H_7: V\gamma\varphi_{ijk} = 0 \text{ (нет влияния } V \times \gamma \times \varphi \text{ — взаимодействия), } F_{8,54} = \frac{224,61}{1,69} = 132,9.$$

Все вышеприведенные гипотезы отвергаются, потому что значения F статистики значимы при 1%-ном уровне значимости. По данным табл. 9 проверяем следующие гипотезы:

$$H_1: V = 0 \text{ (нет влияния скорости резания), } F_{2,54} = \frac{114516,8}{26,17} = 4375,8;$$

Таблица 9

Источник изменчивости	Степень свободы	Сумма квадратов	Средний квадрат
Скорость резания V_1	2	229033,8	114516,8
Передний угол γ_1	2	59904,8	29952,4
$V \times \gamma$ — взаимодействие ($V\gamma_{ij}$)	4	10087,6	2521,9
Угол в плане φ_2	2	22996,3	11498,1
$V \times \varphi$ — взаимодействие ($V\varphi_{ik}$)	4	421,0	105,2
$\gamma \times \varphi$ — взаимодействие ($\gamma\varphi_{jk}$)	4	1735,1	433,7
$V \times \varphi \times \gamma$ — взаимодействие ($V\gamma\varphi_{ijk}$)	8	7356,0	919,5
Ошибка $\varepsilon_m (l_{jk})$	54	1413,5	26,17
Сумма	80	332948,1	

$$H_2: \gamma = 0 \text{ (нет влияния переднего угла)}, F_{2,54} = \frac{29952,4}{26,17} = 1144,5;$$

$$H_3: \varphi = 0 \text{ (нет влияния угла в плане)}, F_{2,54} = \frac{11498,1}{26,17} = 439,3;$$

$$H_4: V_{\gamma\varphi} = 0 \text{ (нет влияния } V \times \gamma \text{ — взаимодействия)}, F_{4,54} = \frac{2521,9}{26,17} = 96,3;$$

$$H_5: V_{\varphi\gamma} = 0 \text{ (нет влияния } V \times \varphi \text{ — взаимодействия)}, F_{4,54} = \frac{105,2}{26,17} = 4,0;$$

$$H_6: \gamma\varphi_{\gamma\varphi} = 0 \text{ (нет влияния } \gamma \times \varphi \text{ — взаимодействия)}, F_{4,54} = \frac{433,7}{26,17} = 16,5;$$

$$H_7: V_{\gamma\varphi\gamma\varphi} = 0 \text{ (нет влияния } V \times \gamma \times \varphi \text{ — взаимодействия)}, F_{4,54} = \frac{919,5}{26,17} = 35,1.$$

Все эти величины значимы при 1%-ном уровне значимости. Следовательно, все семь гипотез отвергаются.

Следует указать, что на температуру контакта влияют все факторы (γ , φ) и взаимодействия этих факторов.

На рис. 4 и 5 приведены графики влияния переднего угла и главного угла в плане на температуру контакта резец — медь при обработке меди.

С увеличением переднего угла температура контакта уменьшается, что связано с уменьшением пластической деформации. С другой стороны, с увеличением контактной площади уменьшается и ухудшается теплоотвод, что приводит к увеличению температуры, однако первый фактор превалирует над последним.

При одинаковых значениях параметров режимного поля температура контакта у резцов, армированных пластинками ВК8, больше, чем у быстрорежущих резцов. Это хорошо видно из графиков, показанных на рис. 4 и 5.

С увеличением главного угла в плане температура контакта возрастает.

С целью сравнения экспериментальных данных, полученных нами при резании меди МЗ быстрорежущим резцом и резцом, армированным пластинкой ВК8, с расчетными были проведены расчеты средней температуры контакта по методике А. Н. Резникова [4].

В табл. 10 приводятся данные для реза из быстрорежущей стали Р18 с параметрами $\varphi=60^\circ$, $\gamma=25^\circ$ при $t=0,25$ мм, $s=0,15$ мм/об и реза, армированного пластинкой ВК8, с параметрами $\varphi=60^\circ$, $\gamma=35^\circ$, при $t=0,25$ мм, $s=0,15$ мм/об.

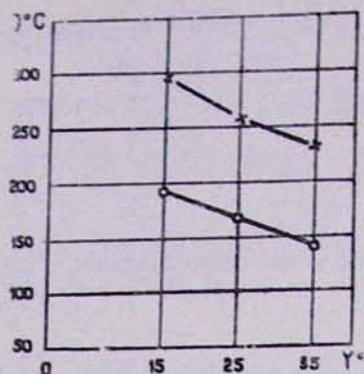


Рис. 4. Влияние переднего угла на температуру контакта ($V=120$ м/мин, $t=0,25$ мм, $S=0,15$ мм/об, $\varphi=60^\circ$); 0 — резец P18, X — резец BK8.

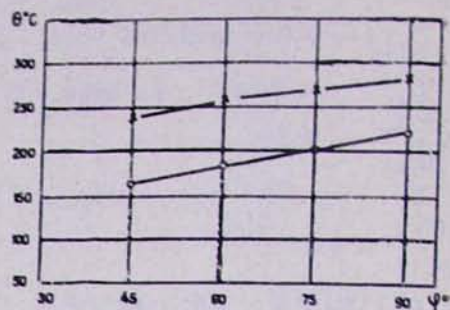


Рис. 5. Влияние главного угла в плане на температуру контакта ($V=120$ м/мин, $t=0,25$ мм, $S=0,15$ мм/об, $\gamma=25^\circ$); 0 — резец P18, X — резец BK8.

Таблица 10

Скорость резания, м/мин	Резец P18			Резец BK8		
	$\theta_{\text{эксп.}}$	$\theta_{\text{расч.}}$	Расхождение, %	$\theta_{\text{эксп.}}$	$\theta_{\text{расч.}}$	Расхождение, %
200	184	242,4	-24,1	284	246,5	+15,2
160	191	217,1	-12,0	264	259,1	+1,8
120	174	203,7	-14,5	246	251	-1,9
100	158	211,8	-25,4	217	235,2	-7,7
80	148	207,3	-28,5	192	208,5	-7,9
60	136	183,5	-25,8	182	198,5	-8,3

Проведенные эксперименты и их анализ дают основание для следующих выводов:

1. На температуру контакта резец — медь в большей степени влияет скорость резания. Причем рост температуры происходит медленнее, чем рост скорости резания.

2. Подача в большей степени влияет на температуру, чем глубина резания. Это объясняется тем, что с увеличением глубины теплоотвод более улучшается, чем при увеличении подачи. С другой стороны, решающим фактором является работа деформации, которая превалирует над первым.

3. При обработке меди резцом, армированным пластинкой BK8, температура получается больше, чем при обработке быстрорежущим резцом P18. Вероятно, это зависит от теплопроводности этих инструментальных материалов и коэффициентов трения.

4. С целью получения меньшей температуры контакта следует провести обработку меди резцами, имеющими следующие геометрические параметры: $\gamma=25\div35^\circ$; $\varphi=45\div60^\circ$.

5. Для оценки параметров используется линейный метод наименьших квадратов. Для полной достоверности полученных результатов применялся дисперсионный анализ.

ЛИТЕРАТУРА

1. М. Т. Наджарян, Оптимальная скорость резания при обработке технически чистой меди. «Воздействие режущего инструмента на физические свойства металлов», вып. III, Изд. АН Арм. ССР, Ереван, 1973.
2. Ч. Хикс, Основные принципы планирования эксперимента. М., «Мир», 1967.
3. Ф. Мостеллер, Р. Рурке, Дж. Томас, Вероятность. М., «Мир», 1969.
4. А. Н. Резников, Теплофизика резания. М., 1969.