

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ СКОРОСТИ РЕЗАНИЯ НА СИЛЫ РЕЗАНИЯ

Козлов В.Н.¹, Чжан Х.², Дин Ц.³, Ду Ч.⁴, Ван Ш.⁵, Пань Ц.⁶

¹НИ ТПУ, ИШНПТ, доцент ОМШ,

E-mail: kozlov-viktor@bk.ru;

²НИ ТПУ, ИШНПТ, гр. 4АМ21,

E-mail: 1764602262@qq.com;

³НИ ТПУ, ИШНПТ, гр. 4АМ21,

E-mail: czechul@tpu.ru;

⁴НИ ТПУ, ИШНПТ, гр. 4АМ31,

E-mail: dc01@tpu.ru;

⁵НИ ТПУ, ИШНПТ, гр. 154А01,

E-mail: vs08@tpu.ru;

⁶НИ ТПУ, ИШНПТ, гр. 154А02,

E-mail: pc01@tpu.ru

Изменение скорости резания неоднозначно влияет на силы резания и качество обработанной поверхности. Нами были проведены эксперименты по определению этого влияния. Силы резания измерялись с помощью токарного трёхкомпонентного динамометра Kistler, термоэлектродвижущая сила (ТЭДС) – методом естественной термопары. Для этого токарный резец изолируется от станка, к нему прикрепляется медный провод в изоляции, а его второй конец прикрепляется к микроамперметру. К другому контакту микроамперметра крепится второй участок медного провода, а его свободная часть выполняет роль токосъёмника, когда его прижимают к корпусу заднего центра во время резания. Конечно, лучше это делать через специальный токосъёмник, закреплённый на заднем конце шпинделя токарного станка (рис. 1), но это слишком сложно.

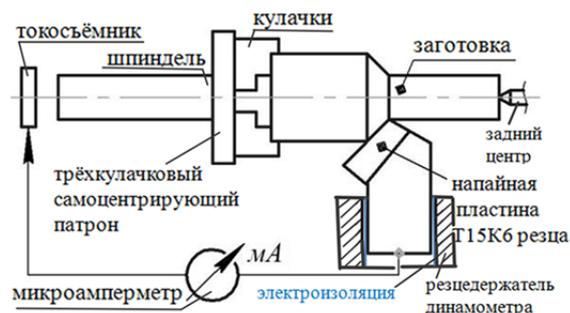


Рис. 1. Схема измерения термо-ЭДС (температуры резания) методом «естественной термопары»

Тарировочный коэффициент для термопары Сталь 45-Т15К6 $K_{\Theta} = 19,6 \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{мкА}$. Этот коэффициент можно приблизительно рассчитать при предположении, что зависимость термотока от температуры линейная, начинается с $0 \text{ }^{\circ}\text{C}$, и при появлении синего цвета стружки температура соответствует $608 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Так как при скорости резания $v \approx 63 \text{ м/мин}$ цвет стружки изменился с белого на синий и при этом $\Theta_{\text{ТЭДС}} = 31 \text{ мкА}$, то $K_{\Theta} = \Theta / \Theta_{\text{ТЭДС}} = 608/31 = 19,6 \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{мкА}$.

Минимальная частота вращения шпинделя станка была $12,5 \text{ об/мин}$, а максимальная – 1600 об/мин . При большей частоте вращения задний вращающийся центр, которым поджималась заготовка через центровочное отверстие, сильно нагревался, что могло привести к заклинанию его подшипников и срезу заднего центра.

Результаты измерения сил представлены в таблице 1. Т. к. сигнал с динамометра Kistler идёт на монитор с соответствующим усилением и сразу в ньютонах, то определять тарировочные коэффициенты по каналам P_z , P_y и P_x не требуется.

Диаметр заготовки $\varnothing d = 76,8 \text{ мм}$, скорость резания рассчитывалась по формуле $v = \pi \times d \times n / 1000 \text{ (м/мин)}$. Подача $s = 0,26 \text{ мм/об}$ и глубина резания $t = 2 \text{ мм}$ не менялись при проведении экспериментов. Толщина среза a (мм) рассчитывается по формуле: $a = s \times \sin \varphi = 0,26 \times \sin 45^{\circ} = 0,18 \text{ мм}$. Стружка отбиралась после проведения точения при каждой частоте вращения n , после чего измерялась толщина стружки a_1 с помощью индикатора на стойке и записывалась в графу 9. Коэффициент усадки стружки по толщине рассчитывался по формуле: $K_a = a_1/a$ и записывался в графу 10.

По данным экспериментов (табл. 1) были построены графики изменения температуры резания Θ и усадки стружки по толщине K_a при изменении скорости резания v (рис. 2). Было отмечено появление нароста при скорости резания 9,6 м/мин, а его исчезновение – при 60,3 м/мин, после появления стружки синего цвета, что отмечено на рис. 2. Прирезцовая поверхность стружки после достижения скорости резания $v = 60,3$ м/мин стала блестящей и без бороздок, вызванных наростом. Θ (°C) ε.

Таблица 1

*Экспериментальное определение составляющих силы резания
при изменении скорости резания*

Сталь 45 – Т15К6; $\varphi = 45^\circ$; $\varphi_1 = 45^\circ$, $r = 0,1$ мм, $\gamma = 7^\circ$, $\alpha = 10^\circ$, $\lambda = 0^\circ$, $\varnothing d = 76,8$ мм,
 $s = 0,26$ мм/об, $t = 2$ мм

n , об/мин	v , м/мин	P_z , Н	P_y , Н	P_x , Н	$\Theta_{\text{ТЭДС}}$, μА	Θ , °C	a , мм	a_1 , мм	K_a	Rz , мкм	Примечание
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
12,5	3	1920	1560	903	6	120	0,18	1,1	6,1	60	
25	6	1050	823	662	10	203	0,18	0,7	3,9	62	
40	9,6	990	781	543	13	275	0,18	0,57	3,2	65	
80	19,3	970	695	401	14	301	0,18	0,47	2,6	66	
125	30,1	850	623	392	17	340	0,18	0,43	2,4	70	
160	38,6	980	788	456	30	594	0,18	0,48	2,7	65	
250	60,3	1080	825	622	31	608	0,18	0,61	3,4	45	появился синий цвет стружки
315	76	1030	815	611	36	703	0,18	0,56	3,1	40	
630	152	840	706	555	39	760	0,18	0,47	2,6	35	
1250	301	820	522	362	44	868	0,18	0,31	1,72	30	обработанная пов. блестит
1600	386	780	414	236	46	908	0,18	0,28	1,6	30	обработанная пов. блестит

При увеличении скорости резания более 60 м/мин нарост исчезает, температура резания увеличивается, от этого увеличивается пластичность материала заготовки в зоне первичной пластической деформации. Однако при этом более существенно увеличивается скорость деформации в этой зоне, поэтому материал становится менее пластичным, что вызывает уменьшение усадки стружки (см. рис. 2), а вследствие этого и уменьшение всех технологических составляющих P_z , P_y и P_x силы резания (рис. 3).

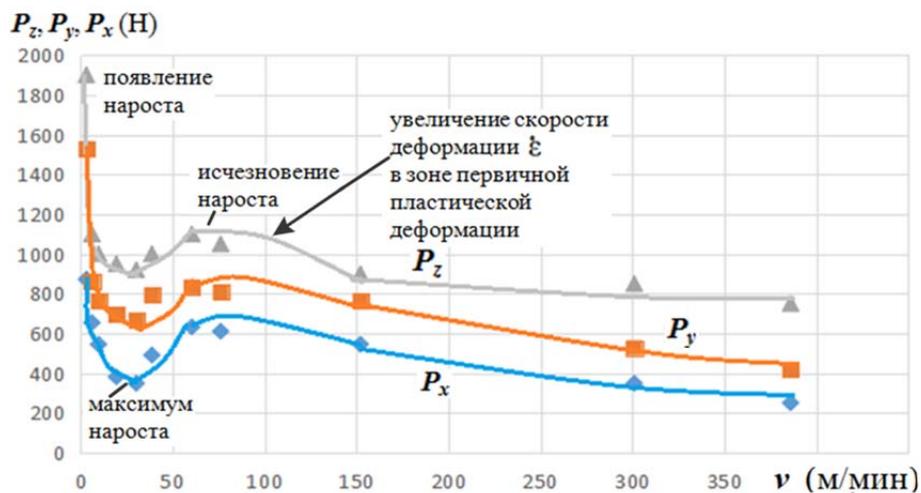


Рис. 3. Влияние скорости резания v (м/мин) на технологические составляющие P_z , P_y и P_x (Н) силы резания

Определять показатель степеней n_p при скорости резания v в известной формуле (1) при скорости резания менее 70 м/мин очень сложно из-за нестабильности образования нароста. Поэтому ограничимся расчётом при $v > 70$ м/мин.

$$P_{z,y,x} = 10 \times C_p \times t^{xp} \times s^{yp} \times v^{np} \times K_p, \text{ [Н]}, \quad (1)$$

где C_p – коэффициент, зависящий от обрабатываемого и режущего материала; K_p – произведение ряда коэффициентов, учитывающих влияние прочности обрабатываемого материала на силу резания, влияние главного угла в плане ϕ , главного переднего угла γ , угла наклона главной режущей кромки λ , радиуса при вершине резца r на силу резания.

По графикам в двойных логарифмических координатах $\lg P_z = f(\lg v)$ и $\lg P_y = f(\lg v)$ при $v > 70$ м/мин были определены показатели степени n_{pz} и n_{py} соответственно (рис. 4).

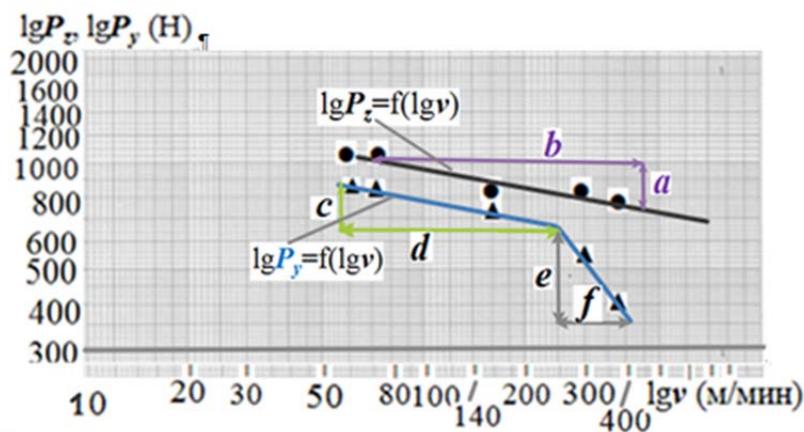


Рис. 4. Влияние скорости резания v (м/мин) на технологические составляющие P_z и P_y силы резания (Н) в двойных логарифмических координатах

Определяем показатель степени для скорости резания v при расчёте тангенциальной силы P_z (размеры a, b, c, d, e и f указаны при их измерении на мониторе персонального компьютера с увеличенным рисунком для уменьшения погрешности при их измерении штангенциркулем ШЦ – I – 150 – 0,1): $n'_{pz} = a/b = 11,35/67 = 0,17$, а т. к. при увеличении

скорости резания происходит уменьшение силы резания, то перед числом будет знак минус, т.е. $n_{P_z} = -0,17$.

Сравнение полученной величины с данными справочника [1] показало менее существенное уменьшение силы P_z при проведении экспериментов, отличие показателя степени почти в 2 раза ($n_{P_z \text{ ссп}} = -0,3$).

Аналогично определяем показатель степени для скорости резания v при расчёте радиальной силы P_y . На рис. 4 необходимо выделить 2 диапазона:

1) при $v = 63 - 250$ м/мин $n_{P_y} = c/d = 10/53 = -0,19$. Сравнение полученной величины с данными справочника [1] показало менее существенное уменьшение силы P_y в диапазоне $v = 63 - 250$ м/мин при проведении экспериментов, отличие показателя степени почти в 2 раза ($n_{P_y \text{ ссп}} = -0,3$).

2) при $v = 250 - 400$ м/мин $n_{P_y} = e/f = 21/17 = -1,23$. Сравнение полученной величины с данными справочника [1] показало более существенное уменьшение силы P_y в диапазоне $v = 250 - 400$ м/мин при проведении экспериментов, отличие показателя степени почти в 2 раза ($n_{P_y \text{ ссп}} = -0,3$).

Заключение

1. Для определения соответствия между силой тока термо ЭДС и средней температурой резания можно использовать соотношение температуры резания при отпуске (появление синего цвета стружки) и силой тока ТЭДС, что заменяет сложное тарирование термомпары **сталь – твёрдый сплав** в печи.

2. При проведении экспериментов отличие показателя степени n_{P_z} и n_{P_y} почти в 2 раза меньше, чем по справочнику ($n_{P_z \text{ эксп}} = -0,17$ и $n_{P_y \text{ эксп}} = -0,19$ против $n_{P_z \text{ ссп}} = -0,3$).

3. Во диапазоне $v = 250 - 400$ м/мин увеличение скорости более 250 м/мин приводит к очень существенному уменьшению радиальной составляющей силы резания P_y , что не отмечено в справочниках [1], учебной [2, 6] и научной литературе [3, 4, 5, 7], поэтому является научной новизной.

В работе применялось оборудование ЦКП НОИЦ НМНТ ТПУ, поддержанного проектом Минобрнауки России № 075-15-2021-710.

Список литературы

1. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х томах, т. 2. Под ред. Косиловой А.Г. и Мещерякова Р.К. – М.: Машиностроение, 2012. 496 с., ил.

2. Зубарев, Ю.М. Основы резания материалов и режущий инструмент: учебник / Ю.М. Зубарев, Р.Н. Битюков. – Санкт-Петербург: Лань, 2019. – 228 с. – URL: <https://e.lanbook.com/book/126717> (дата обращения: 14.04.2019). – Режим доступа: из корпоративной сети ТПУ. – Текст: электронный.

3. Развитие науки о резании металлов / В.Ф. Бобров, Г.И. Грановский, Н.Н. Зорев и др. – Москва: Машиностроение, 1967. – 416 с.

4. Контактные нагрузки на режущих поверхностях инструмента / Полетика М.Ф. – Москва: Машиностроение, 1969. – 148 с.

5. Физические основы процесса резания металлов / под ред. В.А. Остафьева. Киев: Вища школа, 1976. – 136 с.

6. Армарега И.Дж.А. Обработка металлов резанием / И.Дж.А. Армарега, Р.Х. Браун. – М.: Машиностроение, 1977. – 325 с.

7. Старков В.К. Физика и оптимизация резания материалов. Москва: Машиностроение, 2009. 640 с.