

УДК 621.91

Ю.Г. Кравченко, канд. техн. наук,
В.А. Дербаба, канд. техн. наук, Днепропетровск, Украина,
Н.В. Крюкова, Харьков, Украина

К ВОПРОСУ ЭМПИРИЧЕСКОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЙ И КОЭФФИЦИЕНТОВ ТРЕНИЯ ПРИ СТРУЖКООБРАЗОВАНИИ

Розроблена спрощена методика визначення напружень в площині зсуву, коефіцієнтів тертя і контактних напружень на передній та задній поверхнях лева; наведені результати відповідних обчислень для сталей.

Разработана упрощенная методика определения напряжений в плоскости сдвига, коэффициентов трения и контактных напряжений на передней и задней поверхностях лезвия; приведены результаты соответствующих вычислений для сталей.

Simplified model for estimation of stress in shear plane, coefficients of friction and contact stress on face and flank face of tool is developed; the results corresponding to calculations for steels are given.

Введение

Главными механико-энергетическими показателями процесса резания являются составляющие силы резания (главная касательная P_Z , радиальная P_Y и осевая P_X проекции).

Для их расчета и для вычисления плотностей тепловых источников требуются исходные данные по коэффициентам трения μ_γ , μ_α касательным напряжениям τ_γ , τ_α на передней A_γ и задней A_α поверхностях лезвия и напряжениям τ_s в условной плоскости сдвига P_ϕ .

Одним из направлений определения этих элементарных показателей может служить метод «обратного расчета» на основе эмпирических силовых зависимостей от параметров режима резания и геометрии лезвия.

Цель работы – получить расчетные выражения для коэффициентов трения и напряжений на контактных поверхностях лезвия и в плоскости сдвига.

Предлагаемое направление расчета включает использование наработанной информационной базы по силовым зависимостям процесса резания для большинства обрабатываемых материалов.

Постановка задачи

Основой расчета принята система уравнений равновесия представленных на рис. 1 касательной P_Z и нормальной P_N составляющих силы резания /1, 2/

$$\left. \begin{aligned} P_z &= F_\gamma \cdot \sin \gamma + N_\gamma \cdot \cos \gamma + F_\alpha \\ P_N &= F_\gamma \cdot \cos \gamma - N_\gamma \cdot \sin \gamma + N_\alpha \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где F и N с индексами γ и α – силы трения и давления на передней A_γ и площадке износа задней A_α поверхностях; γ – передний угол.

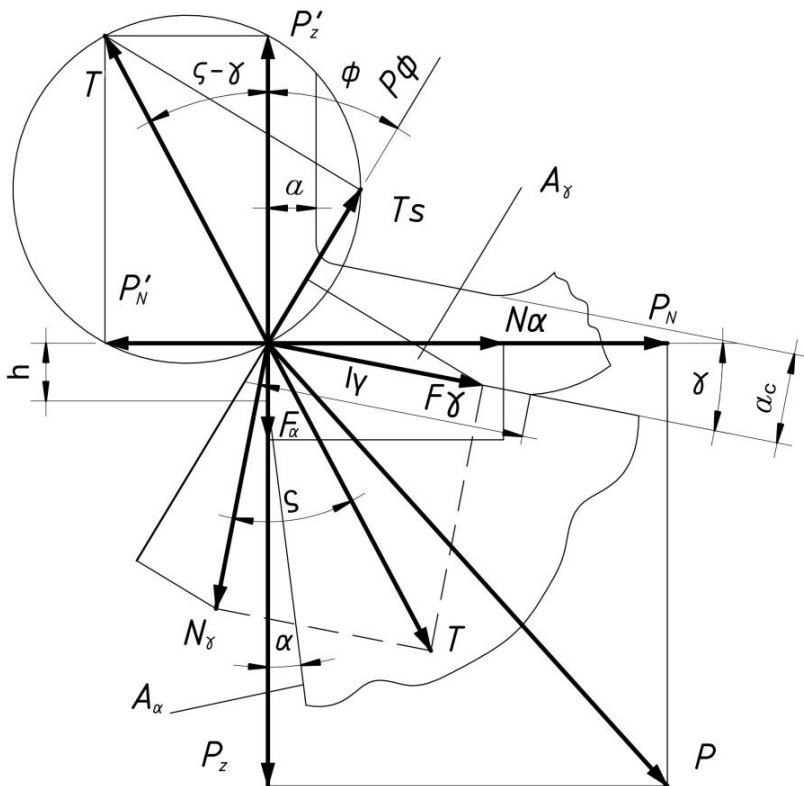


Рисунок 1 – Схема сил, действующих в плоскости сдвига P_ϕ , на передней A_γ и задней A_α поверхностях лезвия при свободном резании

При врезном точении диска с радиальной подачей $P_N = P_y$, при торцовом точении втулки с осевой подачей $P_N = P_x$, для условий прямоугольного резания

$$P_N = \sqrt{P_y^2 + P_x^2}. \quad (2)$$

Структура эмпирических зависимостей составляющих силы резания от переднего положительного или отрицательного угла γ , радиуса при вершине r , величины износа h по A_α при определенной глубине t , подачи S , скорости V резания типа

$$P_i = C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot V^z \cdot (1 - \gamma/90)^n \cdot (1 + \eta)^v \cdot (1 + h)^u \quad (3)$$

позволяет определять P_Z и P_N при нулевых значениях r и h . Этим упрощается переход от условий несвободного резания к схеме свободного резания (ничтожной погрешностью влияния соотношения высоты неровностей профиля шероховатости обработанной поверхности R_Z к глубине резания t на дополнительную предельно малую работу вспомогательной режущей кромки пренебрегаем).

Возможность получения расчетных значений P_Z и P_N по (2) и (3) при $h=0$ или при заданном h сокращает и упрощает определение коэффициентов трения μ_γ и μ_α .

Из совместного решения (1) или в результате проецирования P_Z - F_α и P_N - N_α на направления сил F_γ и N_γ по рис. 1 получаем их отдельные значения

$$\left. \begin{aligned} F_\gamma &= (P_z - F_\alpha) \sin \gamma + (P_N - N_\alpha) \cos \gamma \\ N_\gamma &= (P_z - F_\alpha) \cos \gamma - (P_N - N_\alpha) \sin \gamma \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Второй исходной зависимостью принято уравнение баланса механической (тепловой) энергии при резании

$$E = P_Z \cdot V = T_s \cdot V_s + F_\gamma \cdot V_C + F_\alpha \cdot V \quad (5)$$

с учетом касательной силы T_s и скорости сдвига $V_s = V \cos \gamma / \cos(\phi - \gamma)$ в плоскости P_ϕ . Угол сдвига $\tan \phi = \cos \gamma / (K_a - \sin \gamma)$ обычно определяется через коэффициент утолщения стружки $K_a = a_c/a$ (толщина среза $a = S \cdot \sin \phi$, ϕ – угол в плане). Скорость схода стружки по A_γ равна $V_c = V / K_a = V \cdot \sin \phi / \cos(\phi - \gamma)$.

Третье исходное положение следует из уравнения связи сил стружкообразования

$$T_s = N_\gamma \cdot \cos(\phi - \gamma) - F_\gamma \cdot \sin(\phi - \gamma), \quad (6)$$

получаемого проецированием N_γ и F_γ на направление T_s (рис. 1).

Длина контакта стружки с $A\gamma$ вычисляется по формуле (3) с поправкой (4) $l\gamma = a \cdot Ka^{0.1} [Ka(1 - tg\gamma) + 2/\cos\gamma]$, а ширина среза и длина плоскости сдвига равны $b = t/\sin\varphi$ и $l_s = a/\sin\phi$.

Основная часть

Решение задачи имеет два направления.

1. Определение коэффициентов трения и контактных напряжений на $A\gamma$ и $A\alpha$

Искомые силы давления N_γ и N_α определяются из (1). Выразив $P_z = N_\gamma(\cos\gamma + \mu_\gamma \cdot \sin\gamma) + \mu_\alpha \cdot N_\alpha$ и $N_\alpha = P_N - N_\gamma(\mu_\gamma \cdot \cos\gamma - \sin\gamma)$, получаем

$$N_\gamma = \frac{P_z - \mu_\alpha \cdot P_N}{(1 - \mu_\gamma \cdot \mu_\alpha)\cos\gamma + (\mu_\gamma + \mu_\alpha)\sin\gamma}. \quad (7.1)$$

При $\gamma=0^\circ$ и остром лезвии ($h=0, \mu_\alpha=0$) имеем $N_\gamma=P_z$.

После подстановки N_γ (7.1) в выражение N_α и соответствующих преобразований находим

$$N_\alpha = \frac{P_N(1 + \mu_\gamma \cdot tg\gamma) - P_z(\mu_\gamma - tg\gamma)}{(1 - \mu_\gamma \cdot \mu_\alpha) + (\mu_\gamma + \mu_\alpha) \cdot tg\gamma}. \quad (7.2)$$

При γ, h, μ_α и N_α равными нулю имеем $\mu_\gamma = P_N/P_z$.

При измерении составляющих силы резания следует (1) учитывать влияние фактора кривизны фаски износа h по $A\alpha$.

По схеме врезного точения с радиальной подачей в результате постоянного уменьшения диаметра заготовки происходит соответственное уменьшение кривизны площадки износа $A\alpha$ лезвия, что вызывает некоторую зависимость P_z и P_γ от диаметра заготовки и требует обязательной приработки фаски износа с поверхностью резания.

Большая стабильность результатов измерений и возможность предварительного экспресс-затупления лезвия под углом скорости резания $\eta = \arctg \cdot S_x / \pi D$ (S_x – подача на оборот, D – диаметр заготовки) достигается по схеме торцового точения с осевой подачей за счет постоянства заднего кинематического угла $\alpha_k = \alpha - \eta$ (α – инструментальный задний угол) при изнашивании $A\alpha$.

Вычисления по формулам (7) предусматривает данные по коэффициентам трения μ .

При остром лезвии ($h=0, F\alpha=N\alpha=0$) из выражения (4) имеем:

$$\left. \begin{aligned} F_\gamma &= P'_Z \cdot \sin \gamma + P'_N \cdot \cos \gamma \\ N_\gamma &= P'_Z \cdot \cos \gamma - P'_N \cdot \sin \gamma \end{aligned} \right\}, \quad (8)$$

откуда получаем известную формулу (5,6) коэффициента трения на A_γ

$$\mu_\gamma = \frac{F_\gamma}{N_\gamma} = (P'_Z \cdot \operatorname{tg} \gamma + P'_N) / (P'_Z - P'_N \cdot \operatorname{tg} \gamma). \quad (9)$$

Коэффициент трения на A_α обычно определяется методом экстраполяции значений сил P_Z и P_N при существенной величине износа лезвия h на нулевую толщину среза $a/1, 2/$

$$\mu_\alpha = P_{z0} / P_{N0}.$$

Более точно значение μ_α определяется методом разницы значений P_Z и $P_N /1/$ для текущей и нулевой величинах износа A_α

$$\mu_\alpha = \Delta P_Z / \Delta P_N.$$

Коэффициент μ_α аналитически вычисляется из отношения известных (1) значений F_α и N_α

$$\mu_\alpha = \frac{F_\alpha}{N_\alpha} = \frac{P_Z - (F_\gamma \cdot \sin \gamma + N_\gamma \cdot \cos \gamma)}{P_N - (F_\gamma \cdot \cos \gamma - N_\gamma \cdot \sin \gamma)}.$$

После подстановки F_γ, N_γ (8) и упрощений получаем

$$\mu_\alpha = (P_Z - P_Z^1) / (P_N - P_N^1). \quad (10)$$

Для определения μ_γ также существует метод «разрезного резца» /7/, а для μ_α – метод «последнего оборота» [8].

Соответственно контактные напряжения на A_γ из N_γ (7.1) или F_γ (8) равны:

$$\tau_\gamma \frac{\mu_\gamma \cdot N_\gamma}{l_\gamma \cdot b} = \frac{F_\gamma}{l_\gamma \cdot b}, \quad (11)$$

а на A_α из N_α (7.2) или F_α (1) с F_γ, N_γ (8)

$$\tau_{\alpha} = \frac{\mu_{\alpha} \cdot N_{\alpha}}{h \cdot b} = \frac{F_{\alpha}}{h \cdot b}. \quad (12)$$

2. Определение напряжений в плоскости $P\phi$

Вычисление касательных напряжений τ_s выполняется на основе угла ϕ и силы T_s сдвига.

Направления результирующей силы стружкообразования $T = (P'_z + P'_N)^{0.5}$ и составляющей P'_z образуют угол действия $\zeta - \gamma$ (угол трения $\zeta = \arctg \mu_r$), а с касательной составляющей T_s – угол $(\phi + \zeta - \gamma)$, рис. 1. Тогда

$$T_s = T \cdot \cos(\phi + \zeta - \gamma). \quad (14)$$

Из (5) при $F_{\alpha} = 0$ после исключения V имеем

$$T_s = \left[P'_z \cdot \cos(\phi - \gamma) - F_{\gamma} \cdot \sin \phi \right] / \cos \gamma.$$

После подстановки F_{γ} и N_{γ} (8) в выражение T_s из (5) или T_s (6), разложения, группирования тригонометрических функций и соответствующих сокращений находим формулу

$$T_s = P'_z \cdot \cos \phi - P'_N \cdot \sin \phi, \quad (15)$$

которая без вывода приводится в работах [6, 9].

Искомые напряжения при значениях T_s (14) или (15) равны

$$\tau_s = T_s / (l_s \cdot b). \quad (16)$$

Из (6) в виде $T_s = F_{\gamma} [\cos(\phi - \gamma) / \mu_r - \sin(\phi - \gamma)]$ с τ_{γ} (11) и τ_s (16) следует важное соотношение

$$C_K = \frac{\tau_s}{\tau_{\gamma}} \cdot \frac{l_s}{l_{\gamma}} = \frac{\cos(\phi - \gamma)}{\mu_r} - \sin(\phi - \gamma), \quad (17)$$

которое аналитически связывает все элементные показатели процесса стружкообразования. Угол ϕ и коэффициент μ_r выступают саморегуляторами процесса образования стружки с обеспечением минимального расхода потребляемой механической энергии.

Отношение касательных и нормальных сдвиговых напряжений (коэффициент «внутреннего трения») составляет

$$\mu_s = \frac{\tau_s}{\sigma_s} = \operatorname{ctg}(\phi + \zeta - \gamma). \quad (18)$$

Применение полученных формул.

Проведенные расчеты позволяют систему касательной и нормальной составляющих силы резания (1) представить в расчетном виде через элементные показатели.

1. По первому направлению на основании касательных напряжений τ_γ (11), τ_α (12) и коэффициентов трения μ_γ (9), μ_α (10) на A_γ и A_α :

$$\left. \begin{aligned} P_Z &= \tau_\gamma \left(\sin \gamma + \frac{\cos \gamma}{\mu_\gamma} \right) \cdot l_\gamma \cdot b + \tau_\alpha \cdot h \cdot b \\ P_N &= \tau_\gamma \left(\cos \gamma + \frac{\sin \gamma}{\mu_\gamma} \right) \cdot l_\gamma \cdot b + \frac{\tau_\alpha}{\mu_\alpha} \cdot h \cdot b \end{aligned} \right\} \quad (19)$$

2. По известным в теории резания зависимостям на основании напряжений сдвига τ_s (16), угла трения $\zeta = \operatorname{arctg} \mu_\gamma$ на A_γ второго направления, касательных напряжений τ_α (12) и коэффициента трения μ_α (10) на A_α :

$$\left. \begin{aligned} P_Z &= \frac{\tau_s \cdot l_s \cdot b \cdot \cos(\zeta - \gamma)}{\cos(\phi + \zeta - \gamma)} + \tau_\alpha \cdot h \cdot b \\ P_N &= \frac{\tau_s \cdot l_s \cdot b \cdot \sin(\zeta - \gamma)}{\cos(\phi + \zeta - \gamma)} + \frac{\tau_\alpha}{\mu_\alpha} \cdot h \cdot b \end{aligned} \right\} \quad (20)$$

В основной плоскости радиальная и осевая составляющие P_N (2) равны $P_y = P_N \cdot \cos \phi$ и $P_x = P_N \cdot \sin \phi$.

Влияние радиуса при вершине r на составляющие P_Z , P_y , P_x учитывается поправочными коэффициентами $k_i = (1+r)^V$ зависимости (3).

Реализация и анализ

Эмпирические зависимости (3) для базовых по обрабатываемости сталей и по применению твердых сплавов приведены в табл. 1.

Порядок и результаты расчетов элементных показателей для среднего уровня параметров процесса резания сведены в табл. 2.

Таблица 1 – Значение коэффициентов пропорциональности C_p (числитель – сталь 45, $\sigma_B = 750$ МПа – твердый сплав Т15К6, знаменатель – 12Х18Н9Т $\sigma_B = 600$ МПа – ВК8) и показателей степени x – u зависимости (3) при $\varphi = \varphi' = 45^\circ$, $\lambda = 0^\circ$ и сухом резании [10, 11, 12, 13, 14]

Наименование сил, H	C_p	x	y	$-z$	η	ν	u
		t , мм	S , мм/об	V , м/с	$(1-\gamma/90)$	$(1+\eta)$, мм	$(1+h)$, мм
Касательная P_z	1560/1790	1	0,75	0,15	1,1	0,1	0,4
Радиальная P_y	620/809	0,9	0,6	0,3	2,8	0,3	1,4
Осевая P_x	437/460	1	0,5	0,4	2,4	-0,2	1,2

Таблица 2 – Расчетные значения элементарных показателей процесса резания по зависимостям (3) и табл. 1

Наименование параметров и показателей процесса		Условия точения и расчетные показатели для стали	
		45	12Х18Н9Т
Режимы резания	глубина t , мм	2,8	
	подача S , мм/об	0,35	0,44
	скорость V , м/с	2	1
Геометрия лезвия	угол γ , град.	10	15
	радиус r , мм	1	
	износ h , мм	0,5	0,4
Сечение среза	толщина $a \cdot 10^{-3}$, м	0,25	0,31
	ширина $b \cdot 10^{-3}$, м	4	
Силы резания при $r=0$, $h=0$	касательная P'_z (3), Н	1575	2206
	нормальная P'_N (2), Н	640	920
Плоскость сдвига P_ϕ	коэффициент K_a	2	1,8
	угол сдвига ϕ , град.	28	32
	длина $l_S \cdot 10^{-3}$, м	0,53	0,59
	сила T_S (14), (15), Н	1090	1384
	напряжение τ_S (16), МПа	514	586
Передняя поверхность A_γ	длина $l_\gamma \cdot 10^{-3}$, м	0,99	1,11
	сила F_γ (8), Н	904	1460
	коэффициент μ_γ (9)	0,63	0,77
	напряжение τ_γ (11)	228	329
	соотношение C_K (17)	1,19	0,95
Силы резания при $r=0$ и h	касательная P_z (3), Н	1852	2524
	нормальная P_N (2), Н	1094	1441
Задняя поверхность A_α	сила F_α (1), Н	281	313
	коэффициент μ_α (10)	0,61	0,61
	напряжение τ_α (12), МПа	140	196

Из полученных данных следует, что среди исследуемых напряжения τ_s , τ_γ , τ_α наибольшие значения имеют τ_s , а наименьшие – τ_α . В сравнении со сталью 45 аустенитная сталь 12X18H9T с более низкой обрабатываемостью, резание которой сопровождается наростообразованием, имеет более высокие значения коэффициента μ_γ всех напряжений τ и меньшую величину отношения C_K .

Основные тенденции изменения расчетных показателей представлены в табл. 3

С увеличением главного энергетического параметра V при некотором постоянстве μ_s , σ_s , σ_γ установлено незначительное снижение τ_s , μ_γ и более значимое – τ_γ , а также незначительное увеличение C_K .

С увеличением главного геометрического параметра γ соблюдается относительное постоянство τ_s при некотором уменьшении μ_s и увеличении σ_s , значительное увеличение μ_γ и τ_γ при постоянстве σ_γ и значительное уменьшение C_K .

Таблица 3 – Зависимость элементных показателей от исследуемых параметров процесса точения стали 45 при исходных данных табл. 1 и 2

Обозначение показателей	Значение показателей			
1. Влияние скорости резания V ($\gamma = 10^\circ$, $h = 0,5$ мм)				
Скорость V , м/с	0,5	1,25	2	2,75
Коэффициент $K_a = 2,3 \cdot V^{0,2}$	2,7	2,2	2,0	1,9
Угол сдвига ϕ град.	21,3	25,9	28,0	29,7
Длина $l_s \cdot 10^{-3}$, м	0,67	0,57	0,53	0,50
Напряжение τ_s , МПа	533	522	514	507
Коэффициент μ_γ	0,78	0,67	0,63	0,60
Коэффициент μ_s	0,86	0,85	0,83	0,82
Напряжение σ_s , МПа	620	614	619	618
Длина $l_\gamma \cdot 10^{-3}$, м	1,17	1,04	0,99	0,96
Напряжение τ_γ , МПа	289	249	228	218
Напряжение σ_γ , МПа	370	372	362	363
Соотношение C_K	1,06	1,15	1,19	1,22
Коэффициент μ_α	0,47	0,56	0,61	0,65
Напряжение τ_α , МПа	169	143	140	132
Напряжение σ_α , МПа	359	255	230	203

Продолжение табл. 3

Обозначение показателей	Значение показателей			
2. Влияние переднего угла γ ($V = 2$ м/с, $h = 0,5$ мм)				
Угол γ , град.	-10	0	10	20
Коэффициент $Ka = 2,4(1 - \gamma/90)^{1,7}$	2,9	2,4	2,0	1,6
Угол сдвига ϕ , град.	17,8	22,6	28,0	36,8
Длина $l_s, \cdot 10^{-3}$, м	0,82	0,65	0,53	0,42
Напряжение τ_s , МПа	480	511	514	486
Коэффициент μ_γ	0,36	0,49	0,63	0,79
Коэффициент μ_s	0,91	0,88	0,83	0,70
Напряжение σ_s , МПа	527	581	619	694
Длина $l_\gamma, \cdot 10^{-3}$, м	1,51	1,20	0,99	0,82
Напряжение τ_γ , МПа	129	181	228	272
Напряжение σ_γ , МПа	358	369	362	344
Соотношение C_K	2,0	1,51	1,19	0,92
Коэффициент μ_a	0,43	0,51	0,61	0,75
Напряжение τ_{α} , МПа	181	164	140	118
Напряжение σ_{α} , МПа	421	321	230	157
3. Влияние величины износа h ($V = 2$ м/с, $\gamma = 10^\circ$)				
Износ $h, \cdot 10^{-3}$, м	0,2	0,5	0,8	
Коэффициент μ_a	0,68	0,61	0,55	
Напряжение τ_{α} , МПа	155	140	132	
Напряжение σ_{α} , МПа	228	230	240	

При этом увеличение V и γ оказывает на A_α повышение μ_α и снижение τ_α при значительном уменьшении σ_α .

По мере роста h происходит незначительное снижение μ_α и τ_α при постоянстве σ_α .

Так же расчеты показали, что для исследуемых сталей отношение длин $l_s : l_\gamma$ в широком диапазоне V и γ равно близко 0,5 и может быть использовано в инженерных расчетах.

Полученные значения и функциональные зависимости служат ориентиром при отработке предпосылок по выбору коэффициентов трения μ и напряжений τ для аналитического расчета сил и температур на A_γ и A_α .

Заключение

1. Выполнено обоснование формул для определения сил давления и коэффициентов трения на передней и задней контактных площадках лезвия, касательной силы в плоскости сдвига.

2. Выведена формула взаимосвязи элементарных показателей пластической деформации в плоскости сдвига и трибологии на передней поверхности лезвия.

3. Составлены итоговые выражения для вычисления составляющих силы резания на основе элементарных показателей процесса стружкообразования.

4. Установлено влияние скорости резания, переднего угла и фаски износа лезвия по задней поверхности на коэффициенты трения и касательные напряжения в плоскости сдвига, на передней и задней поверхностях лезвия.

5. Наибольшие касательные напряжения развиваются в плоскости сдвига, а касательные напряжения на передней поверхности значительно превосходят соответствующие напряжения на площадке износа задней поверхности лезвия.

Список использованных источников: 1. Зорев Н.Н. Вопросы механики процесса резания металлов. – М.: Машгиз, 1956. – 368с. 2. Розенберг А.М., Еремин А.Н. Элементы теории процесса резания металлов. – М.: Машгиз, 1956. – 319с. 3. Абуладзе Н.Г. Определение длины контакта сливной стружки с передней поверхностью инструмента. – Тр. Грузинского политехн. ин-та. – Тбилиси: ГПИ, 1969 – №3. – С.131–137. 4. Розенберг Ю.А. Методы аналитического определения степени деформации металла стружки при резании // Вестник машиностроения. – 2001. – №3. – С.34–38. 5. Макаров А.Д. Износ и стойкость режущих инструментов. – М.: Машиностроение, 1966. – 264с. 6. Армареги И.Д., Браун Р.Х. Обработка металлов резанием. – М.: Машиностроение, 1977. – 325с. 7. Гордон М.Б. Исследование трения и смазки при резании металлов. В кн.: Трение и смазка при резании металлов. – Чебоксары: Изд-во Чувашского гос. ун-та, 1972. – С.7–89. 8. Мазур М.П. Основи фізики процесу різання / Мазур М.П. Основи теорії різання матеріалів // М.П. Мазур, Ю.М. Внуков, В. Л. Доброскок та ін.; під заг. ред. М. П. Мазура. – Львів: Новий світ – 2000, 2010. – С.84–144. 9. Трент Е.М. Резание металлов. – М.: Машиностроение, 1980. – 263с. 10. Справочник технолога – машиностроителя. В 2-х т. Т.2 / Под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. – 4-е изд. – М.: Машиностроение, 1985. – 496с. 11. Зорев Н.Н. Расчет проекций силы резания. – М.: Машгиз, 1958. – 56с. 12. Резников Н.И. Производительная обработка нержавеющей и жаропрочных материалов / Н.И. Резников, И.Г. Жарков, В.М. Зайцев и др.; под ред. Н.И. Резникова – М.: Машгиз, 1960. – 200с. 13. Петрушин С.И., Грубый С.В. Обработка чугунов и сталей сборными резами со сменными многогранными пластинами. – Томск: Изд-ие ТПУ, 2000. – 156с. 14. Внуков Ю.Н., Саржинская А.Г. Методика теоретического определения составляющих силы резания при токарной обработке. – Резание и инструмент в технологических системах: Междунар. науч.-техн. сб. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2008. – Вып.75. – С. 63–76.

Bibliography (transliterated): 1. Zorev N.N. Voprosy mehaniki processa rezaniya metallov. – М.: Mashgiz, 1956. – 368s. 2. Rozenberg A.M., Eremin A.N. Jelementy teorii processa rezaniya metallov. –

M.: Mashgiz, 1956. – 319s. 3. Abuladze N.G. Opredelenie dliny kontakta slivnoj struzhki s perednej poverhnost'ju instrumenta. – Tr. Gruzinskogo politehn. in-ta. – Tbilisi: GPI, 1969 – №3. – S.131–137. 4. Rozenberg Ju.A. Metody analiticheskogo opredelenija stepeni deformacii metalla struzhki pri rezanii // Vestnik mashinostroenija. – 2001. – №3. – S.34–38. 5. Makarov A.D. Iznos i stojkost' rezhushhijh instrumentov. – M.: Mashinostroenie, 1966. – 264s. 6. Armarego I.D., Braun R.H. Obrabotka metallov rezaniem. – M.: Mashinostroenie, 1977. – 325s. 7. Gordon M.B. Issledovanie trenija i smazki pri rezanii metallov. V kn.: Trenie i smazka pri rezanii metallov. – Cheboksary: Izd-vo Chuvashskogo gos. un-ta, 1972. – S.7–89. 8. Mazur M.P. Osnovi fiziki procesu rizannja / Mazur M.P. Osnovi teorii rizannja materialiv // M.P. Mazur, Ju.M. Vnukov, V. L. Dobroskok ta in.; pid zag. red. M. P. Mazura. – L'viv: Novij svit – 2000, 2010. – S.84–144. 9. Trent E.M. Rezanie metallov. – M.: Mashinostroenie, 1980. – 263s. 10. Spravochnik tehnologa – mashinostroitelja. V 2-h t. T.2 / Pod red. A.G. Kosilovoj i R.K. Meshherjakova. – 4-e izd. – M.: Mashinostroenie, 1985. – 496s. 11. Zorev N.N. Raschet proekcij sily rezanija. – M.: Mashgiz, 1958. – 56s. 12. Reznikov N.I. Proizvoditel'naja obrabotka nerzhavejushhijh i zharoprochnyh materialov / N.I. Reznikov, I.G. Zharkov, V.M. Zajcev i dr.; pod red. N.I. Reznikova – M.: Mashgiz, 1960. – 200s. 13. Petrushin S.I., Grubij S.V. Obrabotka chugunov i stalej sbornymi rezcami so smennymi mnogogrannymi plastinami. – Tomsk: Izd-je TPU, 2000. – 156s. 14. Vnukov Ju.N., Sarzhinskaja A.G. Metodika teoreticheskogo opredelenija sostavljajushhijh sily rezanija pri tokarnoj obrabotke. – Rezanie i instrument v tehnologicheskijh sistemah: Mezhdunar. nauch.-tehn. sb. – Har'kov: NTU «HPI», 2008. – Vyp.75. – S. 63–76.

Поступила в редколлегию 15.05.2015