

Р. Б. МАРТИРОСЯН, В. И. КАЛАНТАРЯН

СИЛЫ НА ЗАДНЕЙ ГРАНИ ПРИ СВОБОДНОМ КОСОУГОЛЬНОМ РЕЗАНИИ

При глубоком анализе вопросов механики резания следует учесть также силы на задней грани. Основные методы определения этих сил проанализированы в работе [2]. В настоящей статье рассмотрен другой метод определения этих сил при свободном косоугольном резании.

Рассмотрим схему сил, действующих на резец (рис. 1).

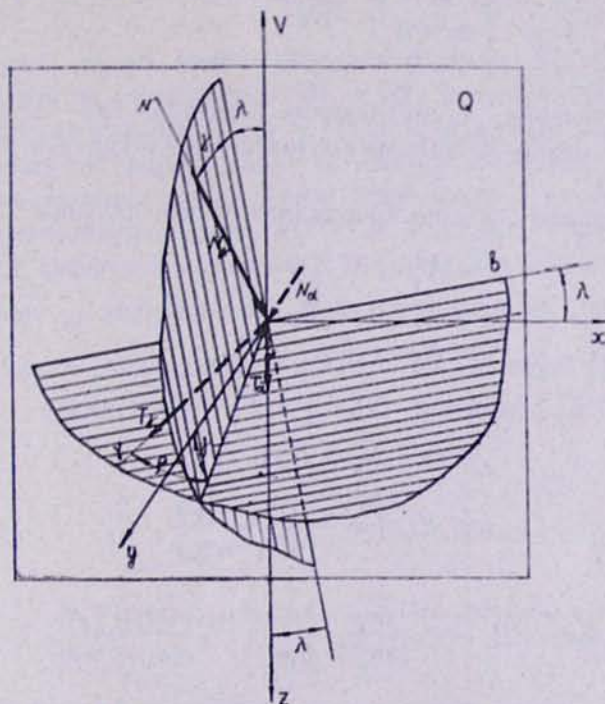


Рис. 1. Схема сил, действующих на резец при свободном косоугольном резании.

Здесь угол λ получается поворотом режущей кромки b вокруг оси y , а передний угол γ поворотом передней грани вокруг оси b . v — направление схода стружки, в этом направлении действует полная сила трения T_γ . N — нормаль к передней поверхности. Обозначим направляющие косинусы для действующих сил на резец с осью z через l , с осью x — через m и с осью y — через n . Будем считать дейст-

вующие силы положительными, а за положительное направление оси z примем обратное направлению вектора скорости резания.

Тогда соответствующими направляющими косинусами для сил будут:

$$\begin{aligned}
 N_T &= \begin{cases} l = \cos\gamma \cdot \cos\lambda \\ m = \cos\gamma \cdot \sin\lambda \\ n = -\sin\gamma \end{cases} \\
 T_T &= \begin{cases} l_1 = \cos\varphi \cdot \sin\gamma \cdot \cos\lambda + \sin\varphi \cdot \sin\lambda \\ m_1 = \cos\varphi \cdot \sin\gamma \cdot \sin\lambda - \sin\varphi \cdot \cos\lambda \\ n_1 = \cos\varphi \cdot \cos\gamma \end{cases} \\
 N_\alpha &= \begin{cases} l = 0 \\ m = 0 \\ n = 1 \end{cases} \\
 T_\alpha &= \begin{cases} l = -1 \\ m = 0 \\ n = 0 \end{cases}
 \end{aligned} \quad (1)$$

При определении направляющих косинусов сил N_α и T_α считалось, что угол между площадью контакта задней грани и поверхностью резания $\alpha_1 = 0$.

Спроектировав силы на координатные оси, получим

$$\begin{aligned}
 P_z &= N_T l + T_T l_1 + T_\alpha, \\
 P_x &= N_T m + T_T m_1, \\
 P_y &= N_T n + T_T n_1 + N_\alpha.
 \end{aligned} \quad (2)$$

Исключив из уравнений (2) N_T и T_T , будем иметь

$$T_\alpha = F(x)N_\alpha + f(x), \quad (3)$$

$$\text{где } F(x) = -\frac{lm_1 - l_1 m}{mn_1 - m_1 n}, \quad (4)$$

$$f(x) = P_z - P_x \frac{ln_1 - l_1 n}{mn_1 - m_1 n} + P_y \frac{lm_1 - l_1 m}{mn_1 - m_1 n}.$$

В зависимости от программы экспериментов в качестве независимой переменной x могут выступать: либо толщина среза— a , либо передний угол— γ , либо угол наклона режущей кромки— λ и т. д. T_α и N_α также являются функциями вышеперечисленных параметров.

Однако интенсивность изменения T_α и N_α при изменении толщины среза или переднего угла мала по сравнению с интенсивностью изменения P_z , P_y и P_x , поэтому при дифференциально малом изменении параметра x приращениями T_α и N_α можно пренебречь. Тогда при приращении аргумента x на dx уравнение (3) примет следующий вид:

$$T_z = F(x + dx)N_z + f(x + dx). \quad (5)$$

Вычитывая из (5) уравнение (3), получаем

$$[F(x + dx) - F(x)]N_z + f(x + dx) - f(x) = 0,$$

откуда

$$N_z = - \frac{\Delta f(x)}{\Delta F(x)}.$$

При $dx \rightarrow 0$ приращение функции и ее дифференциал отличаются друг от друга на бесконечно малую величину высшего порядка, чем dx , поэтому можем перейти к следующей зависимости:

$$N_z = - \frac{df}{dF} \quad (6)$$

или

$$N_z = - \frac{\frac{df}{dx}}{\frac{dF}{dx}}. \quad (7)$$

Аналогичным путем можно определить также T_z . Однако удобнее T_z определить из соотношений (3) и (4), используя (6) или (7).

Как следует из уравнений (6) и (7) для заданного значения аргумента $x = x_0$ силу на задней грани N_z можно определить также графически, либо как отношение тангенсов углов наклона касательных, проведенных соответственно к кривым $f(x)$ и $F(x)$ при $x = x_0$ (7), либо как отношение дифференциалов этих функций (6). Так как отношение $\frac{df}{dF}$ не зависит от величины dx , то для повышения точности измерений значение dx следует брать достаточно большим (рис. 2).

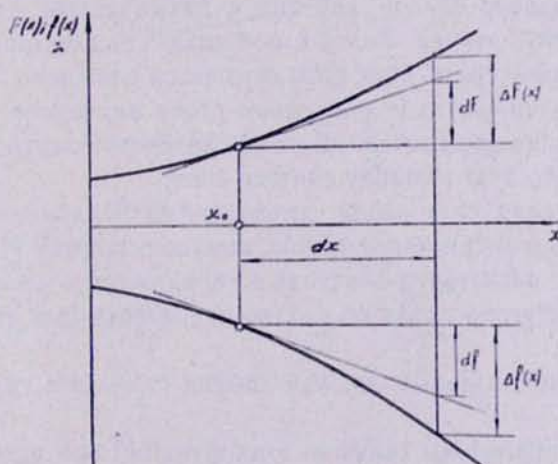


Рис. 2.

По вышесказанной методике были определены силы на задней грани при свободном косоугольном резании ряда материалов.

Исходные данные для определения сил на задней грани при резании стали 40х приведены в табл. 1, 2, 3.

Процесс резания осуществлялся на горизонтально-фрезерном станке модели 6Н81 продольным движением стола. Деталь крепилась на станине в специальном приспособлении. Силы резания определялись трехкомпонентным динамометром с датчиками омического сопротивления.

При данной схеме обработки, ввиду малости толщины среза, точная установка режущей кромки на толщину среза затруднительна, помимо этого вследствие упругих деформаций СПИД фактическое значение толщины среза отклоняется от установленного. Во избежание этих затруднений был разработан специальный метод—«метод двух индикаторов» (рис. 3).

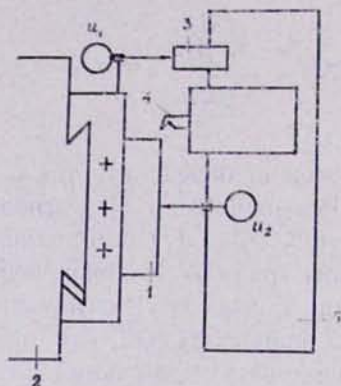


Рис. 3.

Индикатор U_1 крепится неподвижно вместе с деталью 1 на станине станка 2. Индикатор U_2 и упор (3) с динамометром, несущий резец 4, крепятся на стол станка. Резец с помощью индикатора U_2 устанавливается на толщину среза. При этом снимается показание индикатора U_1 . После прохода поперечным движением стола индикатор U_1 устанавливается на прежнее показание, при этом разность показаний индикатора U_2 даст фактическую толщину снятого слоя.

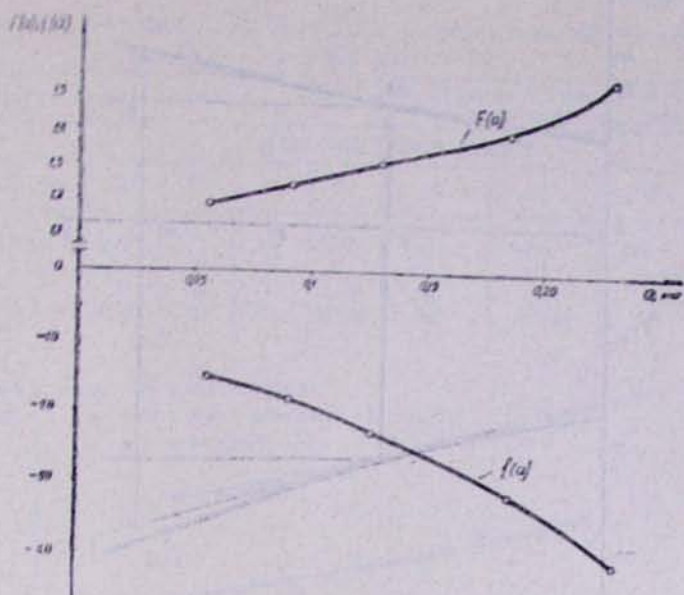
Для измерения угла схода стружки ρ на обрабатываемую поверхность наносились риски параллельно режущей кромке [1].

В качестве расчетного значения ρ принималось среднее арифметическое значение углов схода во входящей и выходящей точках режущей кромки.

По экспериментальным данным таблиц строились графики функций $F(x)$ и $f(x)$.

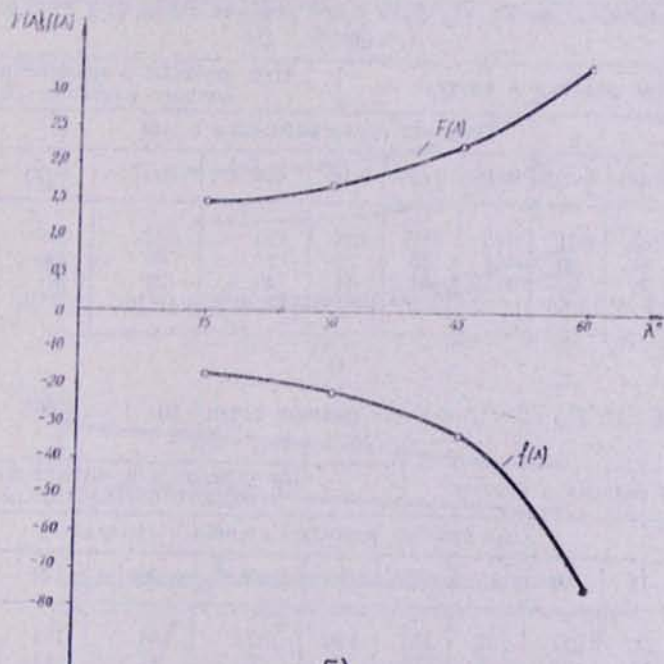
На рис. 4 приведены графики этих функций при резании стали 40х в воздухе (сухое трение).

Для случая, когда независимой переменной является передний угол, при $\gamma = 20^\circ$ сделаны необходимые построения для определения N_x (рис. 4в). При этом значении γ



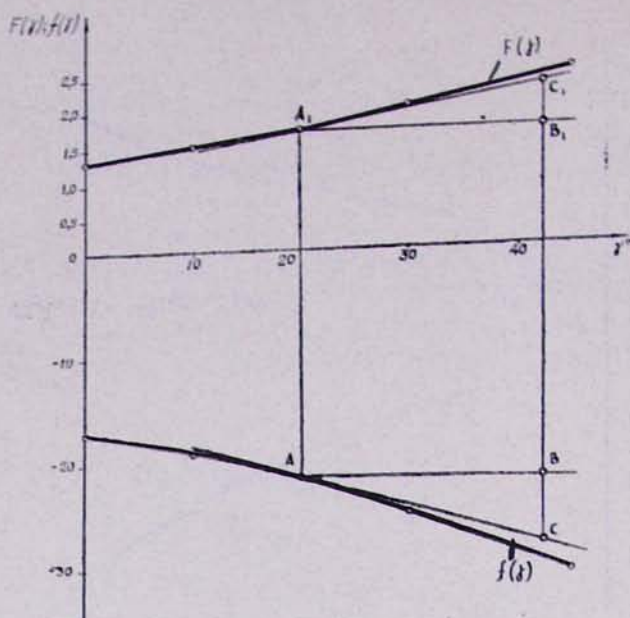
а)

Рис. 4а. Графики функций $F(x)$ и $f(x)$: а. В качестве аргумента является толщина среза a , $\gamma = 20^\circ$, $\lambda = 15^\circ$.



б)

Рис. 4б. В качестве аргумента является угол наклона режущей кромки λ , $a = 0,2$ мм, $\gamma = 20^\circ$.



в)

Рис. 4в. Аргументом является передний угол γ , $a = 0,2$ мм, $\lambda = 30^\circ$.

Таблица 1

Влияние толщины среза на P_z , P_x , P_y и ρ при резании стали 40х $V = 0,065$ м/мин;
 $\gamma = 20^\circ$; $\lambda = 15^\circ$

Изучаемый параметр	При резании в воздухе					При резании с применением 1 % водного раствора соды				
	Толщина срезаемого слоя в мм									
	0,055	0,09	0,125	0,185	0,23	0,06	0,075	0,17	0,21	0,25
P_z	157	245	321	423	489	158	185	322	364	396
P_x	20	31	40	51	55	23	27	45	50	53
P_y	54	75	93	117	131	44	46	58	61	65
φ	13°	13°25'	13°50'	14°30'	15°30'	15°25'	15°40'	17°10'	17°50'	18°30'

Таблица 2

Влияние угла λ на P_z , P_x , P_y и ρ при резании стали 40х $V = 0,065$ м/мин,
 $a = 0,2$ мм, $\gamma = 20^\circ$

Изучаемый параметр	При резании в воздухе					При резании с применением 1% водного раствора соды				
	Угол наклона режущей кромки в градусах									
	0	15	30	45	60	0	15	30	45	60
P_z	223	225	227	257	332	156	162	168	181	252
P_x	0	26	48	73	120	0	23	47	71	119
P_y	63	62	61	59	55	31	30	29	28	26
φ	0	15°	30°45'	47°	62°30'	0	16°55'	33°40'	50°10'	65°30'

Таблица 3

Влияние переднего угла γ на P_x , P_y , P_z и φ при резании стали 40x $V=0.065$ м/мин,
 $a=0.2$ мм, $\lambda=30^\circ$

Изучаемый параметр	При резании в воздухе					При резании с применением 1% водного раствора соды				
	Передний угол в градусах									
	0	10	20	30	45	0	10	20	30	45
P_x	304	255	227	213	208	247	198	168	146	121
P_y	64	56	48	40	24	61	55	47	38	24
P_z	162	100	61	38	31	103	59	29	7	—8
φ	33°	31°30'	30°45'	30°	29°15'	41°20'	36°	33°40'	33°	32°

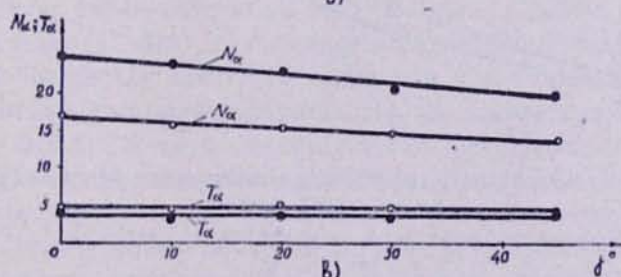
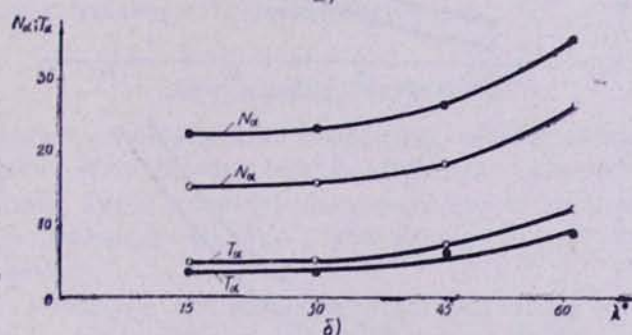
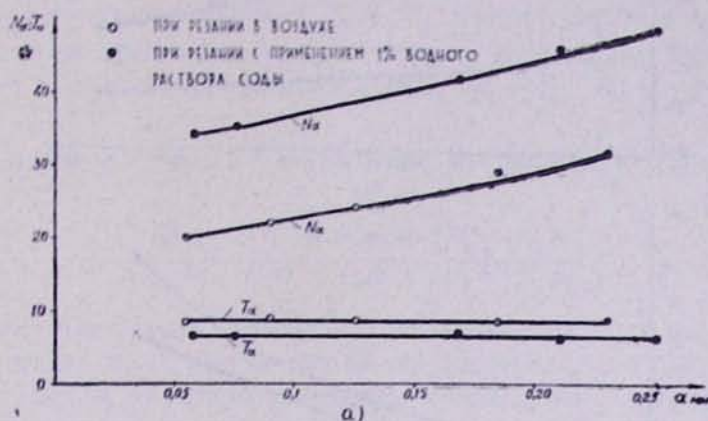


Рис. 5. Силы на задней грани при резании стали 40x $V=0.065$ м/мин:
 а. Влияние толщины среза на N_α и T_α , $\gamma=20^\circ$, $\lambda=15^\circ$; б. Влияние λ на N_α и T_α , $\gamma=20^\circ$, $a=0.2$ мм; в. Влияние γ на N_α и T_α , $\lambda=30^\circ$, $a=0.2$ мм

$$N_s = \frac{M \cdot \overline{BC}}{M_1 \cdot \overline{B_1C_1}},$$

где M и M_1 — масштабы, соответственно для $f(\gamma)$ и $F(\gamma)$. Как было указано, для повышения точности измерений приращение аргумента (отрезок AB) следует брать по возможности большим.

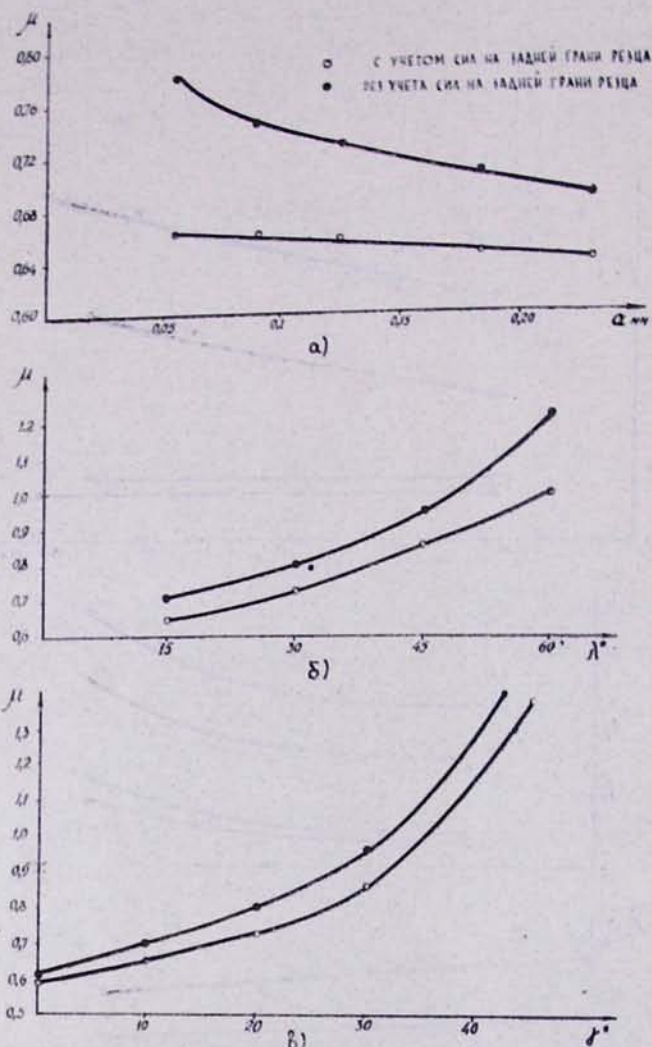


Рис. 6. Коэффициент трения при резании стали 40х в воздухе $V = 0,065$ м/мин:

- Влияние толщины среза на коэффициент трения μ ,
 $\gamma = 20^\circ$, $\lambda = 15^\circ$.
- Влияние угла наклона режущей кромки на коэффициент трения μ , $a = 0,2$ мм, $\gamma = 20^\circ$.
- Влияние переднего угла на коэффициент трения μ ,
 $a = 0,2$ мм, $\lambda = 30^\circ$.

На рис. 5 показаны зависимости N_z и T_z от толщины среза a , от переднего угла γ , от угла наклона режущей кромки λ при обычных условиях резания и при применении СОЖ.

Из этих зависимостей следует, что с увеличением толщины среза и переднего угла сила трения на задней грани практически остается постоянной.

Нормальная сила с увеличением толщины среза увеличивается, а с увеличением переднего угла уменьшается. При увеличении угла наклона режущей кромки λ , T_z и N_z увеличиваются. При применении СОЖ нормальная сила N_z увеличивается, а касательная сила T_z уменьшается.

При известных значениях N_z и T_z можно уточнить зависимости коэффициента трения на передней грани μ от толщины среза, переднего угла и угла λ . Спроектировав силы $P_x - T_z$, P_x и $P_y - N_z$ на направления n и τ (рис. 1) и учитывая, что $\mu_1 = \frac{T_z}{N_z}$, получим

$$\mu = \frac{(P_x - T_z)l_1 + P_x m_1 + (P_y - N_z)n_1}{(P_x - T_z)l + P_x m + (P_y - N_z)n}.$$

На рис. 6 показано влияние a , γ и λ на коэффициент трения на передней грани, как с учетом сил на задней грани, так и без учета этих сил. Как следует из рассмотрения этих кривых, учет сил на задней грани значительно уточняет эти зависимости.

Обсуждение результатов

Как следует из результатов обработки экспериментальных данных, с увеличением угла наклона режущей кромки силы на задней грани увеличиваются. Такой характер изменений сил с увеличением угла λ не вызывает сомнений, так как с увеличением λ увеличивается длина режущей кромки.

Из рис. 5 следует, что толщина среза оказывает влияние на нормальную силу, действующую на задней грани. Причем, с увеличением толщины среза N_z заметно увеличивается. Влияние толщины среза на N_z может показаться неестественным, так как один из наиболее распространенных методов определения сил на задней грани — метод экстраполяции сил на нулевую толщину среза, основывается на предположении о независимости сил на задней грани от толщины среза.

Проанализируем механизм образования напряжений и сил на задней грани. Элементарный объем за линией среза при прохождении через поле напряжений впереди резца подвергается пластическим деформациям. В нем аккумулируется упругая потенциальная энергия, которая будет законсервирована в нем на всей протяженности пути, равной ширине контакта задней грани и поверхности резания, так как упругому

восстановлению поверхностных слоев препятствует задняя грань [3]. Следовательно, напряжения на задней грани формируются и определяются полем напряжений впереди резца (близ режущей кромки). Если это так, то напряжения и силы на задней грани не будут зависеть от толщины среза при условии независимости поля напряжений впереди резца от толщины среза.

Признаком неизменности поля напряжений впереди резца является постоянство усадки при изменении толщины среза. Таким образом, гипотеза независимости сил на задней грани от толщины среза справедлива при постоянстве усадки стружки. Следует отметить, что основные эксперименты Н. Н. Зорева, подтверждающие эту гипотезу, проведены при постоянстве усадки стружки.

Увеличение сил на задней грани с увеличением толщины среза указывает на то, что напряженность поля впереди резца также увеличивается с увеличением толщины среза. А уменьшение сил на задней грани при увеличении переднего угла указывает на то, что напряженность поля впереди резца с увеличением γ уменьшается.

В заключение отметим, что возможности существующих методов определения сил на задней грани, с одной стороны, ограничены, а с другой — эти методы трудно осуществимы. Так, например, ограниченность метода экстраполяции заключается в том, что этот метод применим лишь при условии постоянства усадки стружки, а трудоемкость — в обеспечении условий постоянства усадки стружки. В этом отношении рассмотренный метод выгодно отличается от существующих.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бобров В. Ф. Влияние угла наклона главной режущей кромки инструмента на процесс резания металлов. Машгиз, 1962.
2. Зорев Н. Н. Вопросы механики процесса резания металлов. Машгиз, 1956.
3. Мартиросян Р. Б. Резание металлов как процессе пластической деформации сжатия и сдвига. Армгосиздат, 1963.