

УДК 621.9.04

А. А. Виноградов

Институт сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля
НАН Украины, г. Киев, Украина
almavin@meta.ua

О направлении схода стружки при косоугольном свободном резании пластичных металлов

Проанализированы известные способы определения угла η направления схода стружки по передней поверхности инструмента при косоугольном свободном резании пластичных металлов. Предложен способ оценки этого угла по усадке стружки, основанный на определении действительного (рабочего) переднего угла γ_0 инструмента в плоскости нормальной плоскости резания и проходящей через направление движения стружки. Представлены сравнительные результаты расчета и отмечено преимущество предложенного способа по простоте и точности определения угла η .

Ключевые слова: косоугольное резание, лезвийный инструмент, механизм стружкообразования, направление схода стружки.

Одним из вопросов механики стружкообразования при косоугольном свободном резании, имеющем практическое и теоретическое значение, является оценка направления схода стружки на передней поверхности инструмента. Принято оценивать его углом ее схода по отношению к нормали к режущей кромке, обозначаемом в известных работах по этому виду резания символом ρ или η . В данной работе этот угол обозначается символом η . Главным образом этот угол определяют на основании измерения технологических составляющих сил резания P_x , P_y , P_z , позволяющих рассчитать силы трения, действующие на передней поверхности инструмента вдоль его режущей кромки – F_l и нормально к ней – F_N . Соотношение этих сил и определяет направление схода стружки относительно нормали к режущей кромке:

$$\eta = \arctg(F_l/F_N). \quad (1)$$

Однако этот способ определения направления схода стружки, как будет показано ниже, имеет существенный недостаток, влияющий на точность оценки этого угла.

В [1] и [2] предложены соотношения для расчета угла η по усадке K стружки, т. е. без проведения трудоемких и затратных экспериментов по измерению составляющих сил силы стружкообразования.

В данной работе представлены результаты анализа указанных соотношений и предложенного автором статьи способа оценки угла η по усадке стружки и углу ϕ условной плоскости сдвига. Представлены сравнительные результаты расчета этого угла по экспериментальным данным измерения сил резания и усадок стружки, заимствованных из [1] и [2].

На рис. 1 дана геометрическая модель (схема) для определения передних углов инструмента в направлении скорости резания – γ_v и в направлении схода

да стружки – γ_η , зависящих при косоугольном резании от угла λ наклона режущей кромки относительно ее нормали и переднего угла γ_N заточки в плоскости нормальной к режущей кромке и к плоскости резания.

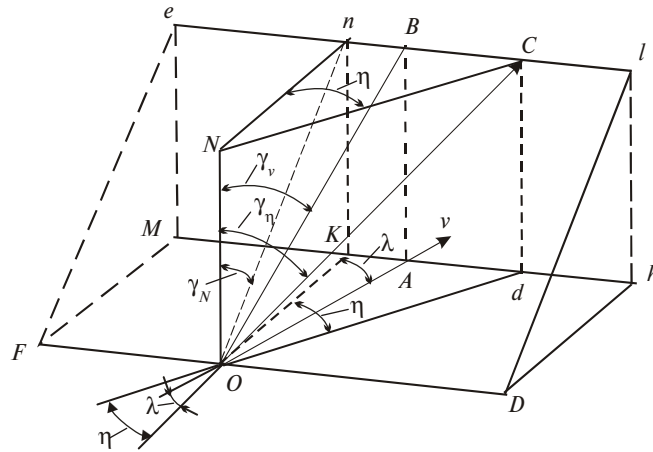


Рис. 1. Геометрическая модель (схема) для определения передних углов инструмента с наклонной режущей кромкой под углом λ : γ_N (NO_n) – в плоскости нормальной к режущей кромке FD ; γ_v (NOB) – в плоскости вектора скорости резания; γ_η (NOC) – в плоскости, проходящей через направление OC схода стружки по передней поверхности $FeID$ инструмента и нормальной плоскости $FMhD$ резания.

Плоскость $FMhD$ является плоскостью резания, а плоскость $FeID$ – передней поверхностью инструмента. Точка O на режущей кромке FD – точка пересечения вектора v скорости резания (линия OA), вектора OC движения стружки по передней поверхности и проекции его на плоскость резания (линия Od), линия OK – нормаль к режущей кромке FD , линии On и OB проекции нормали OK и вектора скорости резания соответственно на переднюю поверхность инструмента, ON – нормаль к плоскости резания. Угол KOA – угол λ наклона режущей кромки, угол KOd – угол η , определяющий направление схода стружки на передней поверхности инструмента, угол nOC – его проекция на эту поверхность. Стороны Nn , nC , NC параллельны поверхности резания. Угол NO_n – передний угол γ_N в нормальной плоскости к режущей кромке, угол NOB – угол γ_v в плоскости, проходящей через вектор скорости резания. Угол NOC – передний угол γ_η в плоскости нормальной к плоскости резания, проходящей через направление движения стружки по передней поверхности инструмента. Этот угол называется действительным (рабочим) передним углом инструмента и в дальнейшем обозначается символом γ_d . Из фигуры $ONnc$

$$Nn = ON \operatorname{tg} \gamma_N, Nn = NC \cos \eta;$$

$$ON \operatorname{tg} \gamma_N = NC \cos \eta;$$

$$NC = ON \operatorname{tg} \gamma_d;$$

$$ON \operatorname{tg} \gamma_N = ON \operatorname{tg} \gamma_d \cos \eta,$$

Следовательно

$$\cos \eta = \operatorname{tg} \gamma_N / \operatorname{tg} \gamma_d,$$

т. е. угол, определяющий направление схода стружки по передней поверхности инструмента равен

$$\eta = \arccos(\operatorname{tg}\gamma_N/\operatorname{tg}\gamma_d). \quad (2)$$

Действительный передний угол γ_d определяется по предложенному ранее в [4] соотношению, которое представлено здесь в упрощенном виде:

$$\gamma_d = \arcsin \frac{A \pm \sqrt{B - B}}{B}, \quad (3)$$

где $A = K \operatorname{tg}^2 \phi$, $B = K^2 \operatorname{tg}^2 \phi$, $B = 1 + \operatorname{tg}^2 \phi$; K – усадка стружки; ϕ – угол условной плоскости сдвига. Усадка стружки определяется экспериментально, а угол ϕ – по усадке стружки и переднему углу, измеренному в плоскости вектора скорости резания, рассчитанному по соотношению

$$\gamma_v = \operatorname{arctg}(\operatorname{tg}\gamma_N/\cos\lambda), \quad (4)$$

по известной зависимости

$$\phi = \operatorname{arctg} \frac{\cos \gamma_v}{K - \sin \gamma_v}. \quad (5)$$

Угол ϕ принят соответствующим действительному переднему углу γ_d , правомерность чего подтверждается приведенными ниже данными сравнения рассчитанных по (2), (3) значений угла η с измеренными экспериментально.

Автором [2] с целью подтверждения вывода, сделанного им на основании расчета угла η направления схода стружки по измеренным экспериментально силам резания при чистовом точении с большими подачами нержавеющей стали 0X18H10T, что этот угол значительно меньше угла λ наклона режущей кромки инструмента, предложил для его определения по усадке K стружки зависимость

$$\operatorname{tg}\eta = \frac{K \operatorname{tg}\lambda - \operatorname{tg}\rho}{K - \gamma_N}, \quad (6)$$

где символом ρ обозначен “угол расположения” стружки на передней поверхности инструмента относительно нормали к его режущей кромке. Зависимость (6) выведена на основании следующей модели. Образец шириной a расположен под углом λ относительно режущей кромки инструмента. Срезание стружки осуществляется в направлении расположения образца, т. е. под углом λ . Пройдя некоторое расстояние χ , измеряемое по нормали к режущей кромке, движение резца останавливается. Срезанная стружка, получив усадку, отклоняется от нормали к режущей кромке на угол ρ . Угол η , рассчитанный по (6), является углом между нормалью к первоначальному расположению режущей кромки – линией, проведенной от крайней точки образца, и линией, соединяющей эту точку с соответствующей точкой на отклоненной в результате усадки снятой стружке, располагающейся на передней поверхности инструмента. Этот угол обозначен символом η и назван углом отклонения стружки. То есть этот угол представляет собой совершенно другой параметр стружкообразования и его не следовало бы отождествлять с параметром, отражающим направление схода стружки, и сопоставлять с ним. Угол ρ , названный автором [2] углом “расположения стружки” фактически и является углом, определяющим направление схода стружки, который во всех извест-

ных работах по исследованию стружкообразования при косоугольном резании является предметом определения. А в зависимости (6) он входит в качестве аргумента. Как он определяется при расчете по (6) в случае чистового точения автором работы не указано.

Зависимость для определения угла η по усадке стружки предложена и в [1]:

$$\operatorname{tg}\eta = \frac{\omega_l}{v_l} K \operatorname{tg}\lambda, \quad (7)$$

где ω_l – скорость перемещения стружки вдоль режущей кромки инструмента; v_l – проекция на нее скорости резания v . Утверждается, что при резании на микро-скоростях без смазки отношение $\frac{\omega_l}{v_l} = \frac{1}{K}$, т. е. $\operatorname{tg}\eta = \operatorname{tg}\lambda$. При резании со смазкой четыреххлористым углеродом (CCl_4) оно приближается к единице, т. е.

$$\operatorname{tg}\eta = K \operatorname{tg}\lambda. \quad (8)$$

Однако как определяется отношение ω_l/v_l автором в работе не указано. Значения угла η , рассчитанные по (8), приведены ниже в сравнении с экспериментальными и рассчитанными по формуле (2).

На рис. 2 представлены схемы сил, действующих при стружкообразовании в процессе косоугольного точения с большими подачами детали типа вала из нержавеющей стали марки ОХ18Н10Т, с целью определения угла η направления схода стружки, используя экспериментальные данные из указанной выше работы [2]. На рис. 2, а дана схема сил, действующих в плоскости резания параллельной оси вращения детали: P_x – сила, действующая в направлении подачи; P_l – сила, действующая вдоль режущей кромки; P_N – сила, действующая нормально к ней. На основании определенных в эксперименте сил P_x и P_z

$$P_l = P \sin(\lambda - \theta), \quad P_N = P \cos(\lambda - \theta), \quad (9)$$

где $\theta = \operatorname{arctg}(P_x/P_z)$, $P = P_z/\cos\theta$.

На рис. 2, б представлена схема сил в плоскости нормальной к оси вращения детали и проходящей в направлении вектора скорости резания: сила P_z , радиальная сила R_y , их результирующая сила R_v , нормальная N_v и сила трения F_v . На основании измеренных в эксперименте сил P_z и P_y

$$F_v = R_v \sin(\omega_v + \gamma_v), \quad N_v = R_v \cos(\omega_v + \gamma_v), \quad (10)$$

где $\omega_v = \operatorname{arctg}(P_y/P_z)$, $R_v = P_z/\cos\omega_v$.

На рис. 2, в представлена схема сил в плоскости нормальной к режущей кромке и плоскости резания. В этой плоскости известными являются измеренная в эксперименте сила P_y и рассчитанная по (9) сила P_N :

$$F_N = R_N \sin(\omega_N + \gamma_N), \quad N_N = R_N \cos(\omega_N + \gamma_N), \quad (11)$$

где $\omega_N = \operatorname{arctg}(P_y/P_N)$, $R_N = P_N/\cos\omega_N$.

Сила трения, действующая вдоль режущей кромки, является проекцией на нее силы трения F_v , действующей в направлении скорости резания:

$$F_l = F_v \sin\lambda, \quad (12)$$

а отношение ее к F_N из (11) отражает направление схода стружки относительно нормали к режущей кромке инструмента:

$$\eta = \operatorname{arctg}(F_l/F_N). \quad (13)$$

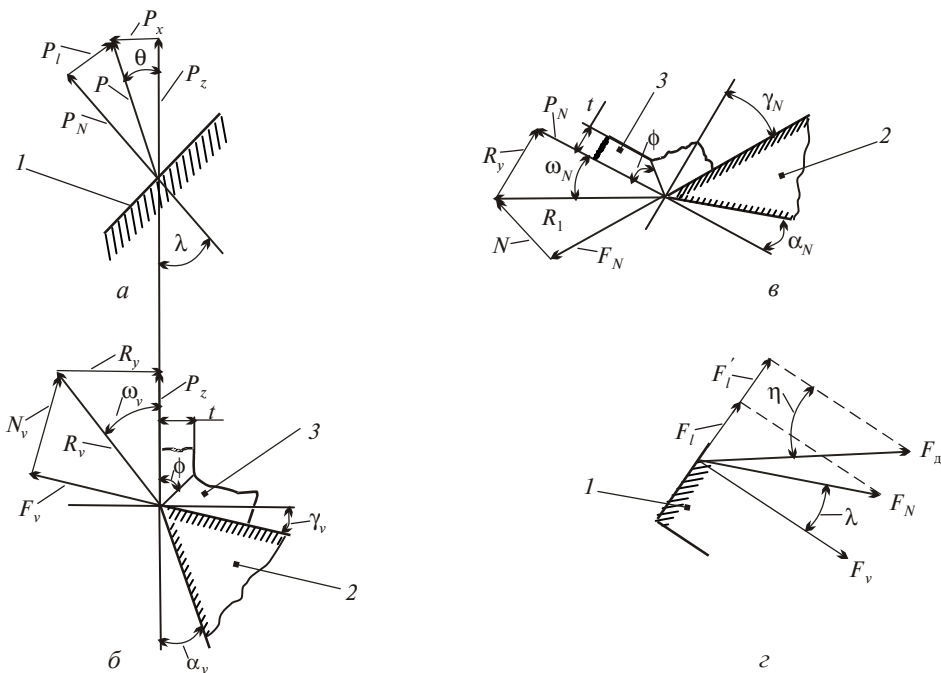


Рис. 2. Схемы составляющих сил силы резания при чистовом косоугольном точении стали марки ОХ18Н10Т инструмента с $\gamma_N = 10^\circ$ и $\lambda = 15^\circ$: в плоскости резания, параллельной оси вращения детали (а); в плоскости вектора скорости v резания и нормальной оси вращения детали (б); в плоскости нормальной к режущей кромке инструмента (в); вид на переднюю поверхность инструмента (г); 1 – режущая кромка резца с углом λ по отношению к вектору v скорости резания и главной составляющей P_z силы резания.

Из (11) и (12) следует, что в случае движения стружки не по направлению вектора скорости резания, т. е. когда $\eta > \lambda$ F_l будет больше силы, определенной по (12), что наглядно показано на схеме рис. 2, г ($F_l < F_l'$). Это и является недостатком определения угла η на основании измерения составляющих силы стружкообразования или силы резания.

Правомерность определения угла η по (2) на основе расчета по (3) действительного переднего угла γ_d инструмента проверили вначале сравнением рассчитанных с экспериментальными, заимствованными из [1], затем сравнением с рассчитанными по измеренным экспериментально значениям составляющих сил резания, заимствованным из [2].

В [1] представлены результаты экспериментов по косоугольному резанию стали 20Х со скоростью резания 200 мм/мин, исключаяющей наростообразование, резцом с передним углом $\gamma_N = 15^\circ$ при сечении срезаемого слоя 0,2×3 мм. Целью исследований было проверить представлены в [3] данные, полученные ранее при тех же условиях резания по влиянию угла λ наклона режущей кромки на угол η направления схода стружки. Резание осуществляли без смазки и с охлаждением CCl_4 . Угол η определялся непосредственно (визуально). Эксперименты проводили без измерения сил резания, измеряли лишь усадку стружки K . Провели также сравнение с рассчитанными значениями угла η по соотношению (8).

Значения усадок K стружки и углов η направления схода стружки, заимствованные из [1], для указанных выше случаев резания, представлены в табл. 1

Таблица 1. Значения усадок K стружки и углов η направления схода стружки [1]

		λ , град	15	30	40	50
K	без смазки		3,9	3,7	3,4	2,85
	смазка CCl_4		2,28	2,25	2,23	2,22
η , град	без смазки		15	30	40	50
	смазка CCl_4		25,0	42,0	53,0	62,0

Рассчитанные характеристики стружкообразования (γ_v, ϕ) и определенные на их основании углы η направления схода стружки по передней поверхности инструмента с различными значениями угла λ наклона его режущей кромки представлены в табл. 2. Значения переднего угла γ_v определили по (4), угла ϕ условной плоскости сдвига по (5), действительного переднего угла γ_d в плоскости, проходящей через направление вектора схода стружки по (3). Значения угла η рассчитали по (2) на основании действительного переднего угла γ_d и соответствующему ему углу ϕ условной плоскости сдвига и для сравнения по предложенному в [1] соотношению (8).

Таблица 2. Расчетные характеристики стружкообразования при косоугольном свободном резании ($v = 200$ мм/мин, сечение срезаемого слоя – $0,2 \times 3,0$ мм) стали 20Х резцом с передним углом $\gamma_N = 15^\circ$ с различными значениями угла λ наклона его режущей кромки без смазки и со смазкой CCl_4

		λ , град	15	30	40	50
		γ_v , град	15,5	17,192	19,22	22,629
γ_d , град	без смазки		15,539	17,16	19,38	22,86
	смазка CCl_4		16,496	19,8	23,85	29,57
ϕ , град	без смазки		14,856	15,675	17,09	20,524
	смазка CCl_4		25,66	26,21	26,61	26,73
η , град	без смазки (2)		15,5	29,8	40,4	50,3
	смазка CCl_4	(2)	25,2	41,9	52,7	61,82
		(8)	31,42	52,4	61,9	69,3

Сравнение расчетных значений угла η по (2) с экспериментальными (см. выше) показывает, что они различаются лишь на десятые доли градуса, что является доказательством правомерности использования предложенного способа оценки направления схода стружки по передней поверхности инструмента при свободном косоугольном резании. Усадка K стружки и угол ϕ условной плоскости сдвига позволяет определить по (3) действительный (рабочий) передний угол γ_d , соответствующий направлению схода стружки, и рассчитать угол η по соотношению (2). При этом угол ϕ имеет одно и то же значение в схемах сил стружкообразования как в плоскости, проходящей через направление вектора скорости резания, так и в плоскости, проходящей через направление схода стружки. Угол η направления схода стружки зависит в основном от ее усадки K и соответствующего ей переднего угла γ_N инструмента, а угол ϕ условной плоскости сдвига – следствие их взаимо-

действия. Это очевидно, потому, что схема стружкообразования на основании которой выведено соотношение (3) [4], отражает главное направление деформации слоя металла, преобразующегося (переходящего) в стружку при его срезании.

Рассчитанные значения угла η по соотношению (8) при резании со смазкой CCl_4 по сравнению с измеренными в эксперименте в 1,20–1,26 раза больше. Результаты определения угла η направления схода стружки по передней поверхности инструмента в зависимости от угла λ наклона режущей кромки при резании с малыми скоростями представлены графически на рис. 3.

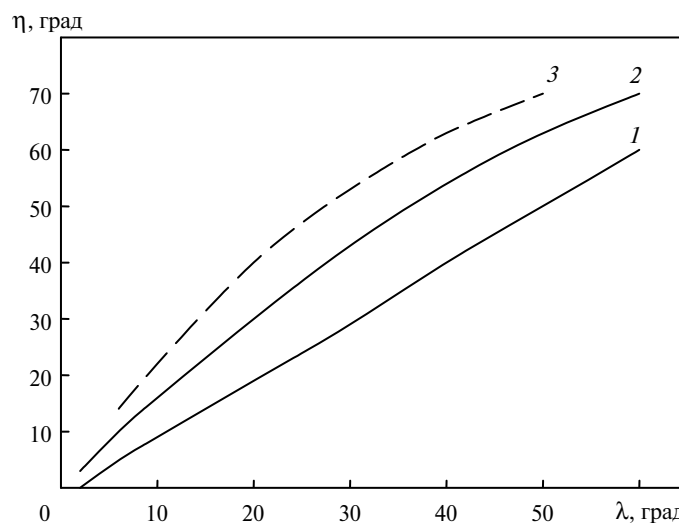


Рис. 3. Влияние угла λ наклона режущей кромки инструмента на угол η направления схода стружки при резании с малой (200 м/мин) скоростью по экспериментальным данным различных исследователей и рассчитанным по предложенным соотношениям: 1 – при резании без смазки [1], [3] и рассчитанные по (2); 2 – при резании со смазкой CCl_4 [1], [3] и рассчитанные по (2); 3 – рассчитанные по соотношению (8) [1].

По экспериментальным данным исследования зависимостей технологических составляющих силы резания, заимствованных из [2], рассчитали угол η направления схода стружки для случая резания при глубине $t = 0,1$, подаче $s = 4$ мм/об и скоростях резания от 29 м/мин до 170 м/мин. Резание осуществляли резцом с геометрическими параметрами заточки: $\gamma_N = 10^\circ$, $\alpha_N = 10^\circ$, $\lambda = 15^\circ$. Измеренные экспериментально значения соответствующих сил P_x , P_y , P_z , силы резания, усадок стружки K и рассчитанные по (5) значения угла Φ условной плоскости сдвига и действительного переднего угла γ_d по (3) представлены в табл. 3. Передний угол γ_v в плоскости, проходящей через вектор скорости резания, определенный по (4) и входящий как аргумент в зависимость (5) для расчета угла ϕ в данном случае резания равен $10,35^\circ$.

Скорости резания 29 м/мин на графиках зависимостей $K(v)$, $P_z(v)$, $P_y(v)$ соответствуют максимумы их значений, скорости 50 м/мин – точке, примерно, на половине крутой части графиков, а скорости 75 м/мин – точке в области перехода их в пологую линию. Сила P_x практически не зависит от скорости резания, имеет относительно малое значение.

Отметим, что при скоростях резания 29–50 м/мин значение радиальных сил P_y больше сил P_z , действующих в направлении скорости резания. Это,

очевидно, связано с образованием заторможенного слоя металла на задней поверхности инструмента, увеличивающего площадь контакта ее с поверхностью резания и, следовательно, действующие силы. Но принимая во внимание относительно небольшое значение тангенциальной силы P_x , силы резания F_3 , действующие в направлении действия силы P_z , вероятно, незначительные. В [2] нет сведений о выделении и величине сил на задней поверхности инструмента. Поэтому значения характеристик стружкообразования в соответствии со схемой (см. рис. 2) рассчитали на основании измеренных экспериментально технологических составляющих силы резания, значения которых даны в табл. 3. При этом полагая, что это не внесет существенной ошибки в результат определения угла η направления схода стружки по передней поверхности инструмента.

Таблица 3. Экспериментальные значения сил P_x , P_y , P_z и усадок стружки K при косоугольном свободном резании (чистовом точении) нержавеющей стали ОХ18Н10Т при $v = 29\text{--}170$ м/мин ($t = 0,1$ мм, $s = 4,0$ мм/об) резцом с $\gamma_N = 10^\circ$, $\lambda = 15^\circ$ и рассчитанные значения угла ϕ по (5) и угла γ_d по (3)

v , м/мин	29	50	100	130	170
P_z , Н	2340	2000	1310	1250	1250
P_y , Н	2540	2375	1265,6	1180	1150
P_x , Н	187,5	187	180	180	180
K	7,75	5,6	3,51	3,31	3,27
ϕ	7,404	10,2865	16,46	17,45	17,66
γ_d	10,32	10,35	10,5	10,47	10,41

Значения характеристик стружкообразования, рассчитанные по соотношениям (9), (10), (11) и (12) в соответствии с указанной схемой стружкообразования (рис. 2) представлены в табл. 4. Необходимость расчета такого большого числа характеристик стружкообразования обусловлено самой задачей определения сил трения, действующих на передней поверхности инструмента в направлении вектора скорости резания (F_v) и нормально к режущей кромке (F_N). По силе трения F_v сила трения, действующая вдоль режущей кромки – $F_l = F_v \sin \lambda$ (см. рис. 2, з). И только затем по соотношению (13) рассчитывается угол η направления схода стружки.

В табл. 4 обращает внимание то, что при скорости резания $v = 50$ м/мин сила трения F_v имеет большее значение, чем при меньшей ($v = 29$ м/мин) скорости, что является исключением в общей тенденции зависимости $F_v(v)$. Это вызвано, очевидно, тем, что отношение сил (см. табл. 3) P_y/P_z при скорости $v = 50$ м/мин существенно больше, чем при $v = 29$ м/мин.

Рассчитанные по (1) значения угла η направления схода стружки в сравнении с рассчитанными по (2), предложенному на основе определения действительного (рабочего) переднего угла инструмента, приведены в табл. 5.

Угол η , рассчитанный по (1), в случаях резания при скоростях 50, 100 и 170 м/мин меньше угла $\eta = 15^\circ$ наклона режущей кромки инструмента лишь на десятые доли градуса. Значения этого угла, рассчитанные по (2), во всех случаях резания при $v \geq 50$ м/мин больше угла λ . Причиной того, что угол η , рассчитанный по (1), меньше рассчитанного по (2), является

то, что сила трения F_{η} определяется не по силе трения F_t , действующей в направлении движения стружки, а по силе трения F_v , действующей в направлении скорости резания. Сила трения F_v , очевидно, является проекцией силы F_{η} на направление вектора скорости резания. Например, при $v = 100$ м/мин, $F_v = 1479,7$ Н (см. табл. 4), а проектируемая на направление вектора скорости резания $F_{\eta} = 1479,7 : \cos(17,9^{\circ} - 15^{\circ}) = 1481,6$ Н. При этом (см. рис. 2, з)

$$F'_t = 1481,6 \sin 17,9^{\circ} = 455,4 \text{ Н}, \eta = \arctg(F'_t/F_N) = \arctg(455,4/1474,1) = 17,17^{\circ}.$$

Таблица 4. Значения характеристик стружкообразования, рассчитанные на основании экспериментальных данных [2] измерения сил резания при чистовом точении с большими подачами ($s = 4,0$ мм/об при $t = 0,1$ мм) нержавеющей стали ОХ18Н10Т резцом с $\gamma_N = 10^{\circ}$, $\lambda = 15^{\circ}$

v , м/мин	29	50	100	130	170
θ , град	4,58	5,34	7,82	8,19	8,19
P , Н	2347,5	2008,7	1322,3	1263	1263
P_t , Н	424,6	337	165,3	148,6	149,8
P_N , Н	2308,8	1980,2	1311,9	1244	1254
ω_v , град	47,35	49,9	44,0	43,35	42,6
R_v , Н	3453,6	3105	1821	1719	1698
F_v , Н	2419,2	2695,8	1479,7	1385,4	1355,2
N_v , Н	1292,7	1337,7	1061	820,2	1023
ω_N , град	45,38	50,18	43,97	43,49	42,52
R_N , Н	3287	3092,2	1822,8	1714,6	1696
F_N , Н	2705	2682,8	1474,1	1223	1345,9
N_N , Н	1867	1537,7	1072,2	1020,1	763
F_t , Н	626,1	697,7	381,5	358,6	351

Таблица 5. Значения угла η направления схода стружки, рассчитанные по (1), в сравнении с рассчитанными по (2)

v , м/мин	29	50	100	130	170
$\eta = f(F_t/F_N)$	13,0	14,6	14,51	16,34	14,6
$\eta = f(\gamma_d)$	14,5	15,2	17,90	17,40	16,4

В этом, как отмечено выше, и есть суть недостатка способа оценки угла η направления схода стружки при косоугольном резании по измеренным силам резания и силам стружкообразования. Предложенный способ, основанный на определении действительного (рабочего) переднего угла γ_d инструмента, лишен этого недостатка и не требует больших затрат на проведение трудоемких экспериментов по измерению сил резания.

При скорости резания $v = 29$ м/мин, соответствующей максимумам усадки стружки и значений составляющих сил силы резания, угол $\eta < \lambda$. Это обусловлено, вероятно, образованием застойных зон обрабатываемого металла

на задней и передней поверхностях инструмента, изменяющих заданные за точкой его геометрические параметры.

ВЫВОДЫ

Способы оценки угла η направления схода стружки по ее усадке при косоугольном резании пластичных металлов, предложенные в [1] и [2] нельзя рекомендовать для практического использования по причинам, указанным при их анализе.

Способ оценки угла η , основанный на измерении сил резания и усадок стружки имеет существенный недостаток, заключающийся в определении силы трения F_t , действующей вдоль режущей кромки инструмента не по силе трения F_{η} , действующей в направлении движения стружки, а по силе F_v , действующей в направлении вектора скорости резания, что при $\eta > \lambda$ занижает фактическое значение угла η .

Предложенный автором способ оценки угла η по усадке стружки, основанный на определении действительного (рабочего) переднего угла γ_d инструмента менее трудоемок по сравнению со способом оценки угла η , основанного на измерении сил резания и усадок стружки, и не имеет недостатка последнего.

Результаты расчета угла η по усадке стружки K на основе оценки действительного переднего угла инструмента, соответствующего направлению ее схода по передней ее поверхности, совпадают с измеренными в экспериментах, представленных в [1], а рассчитанные этим способом по экспериментальным данным из [2] при скорости резания v , соответствующей максимуму усадки (угол η равен углу λ наклона режущей кромки, а при больших значениях v он больше угла λ , что подтверждает правильность выражения $\eta \geq \arctg(F_1/F_2)$ [6]) соответствует данным автора [5] и указывает на ошибочность выводов автора [2], что при чистовом точении нержавеющей стали ОХ18Н10Т угол η направления схода стружки значительно меньше угла λ наклона режущей кромки инструмента.

Зроблено аналіз відомих методів визначення кута η напрямку сходу стружки вздовж передньої поверхні інструменту при косокутному вільному різанні пластичних металів. Запропоновано спосіб оцінки цього кута по усадці стружки, який базується на визначенні дійсного (робочого) переднього кута γ_0 інструмента в площині, яка нормальна до площини різання та проходить через напрямок руху стружки. Наведено порівняльні результати розрахунку та відмічено перевагу запропонованого способу за простотою та точністю визначення кута η .

Ключові слова: косокутне різання, лезовий інструмент, механізм стружкоутворення, напрямок сходу стружки.

Analysis of the known calculation methods of the angle η of the chip flow along the front surface of the instrument at the oblique-angled free cutting of plastic metals has been given. The method of this angle assessment by the chip shrinkage on the basis of the actual (working) front angle γ_0 of the instrument in the plane perpendicular to the cutting plane and crossing the direction of the chip movement has been offered. Comparative calculation results have been presented and the advantage of the offered method as to the simplicity and precision of the η angle determination have been presented.

Keywords: oblique-angled cutting, edge tool, chip formation mechanism, chip flow direction.

1. Кожевников Д. В. Некоторые вопросы механики процесса косоугольного резания стали // Изв. вузов СССР. Машиностроение. – 1960. – № 26. – С. 139–148.

2. Халфен Р. В. Температура и стружкообразование при чистовом точении с большими подачами // Физические явления при деформирующем протягивании и резании пластичных металлов / Под ред. А. М. Розенберга. – К.: ИСМ АН УССР, 1978. – С. 163–176.
3. Shaw M. G., Gook N. H., Smith P. A. The mechanism of three-dimensional cutting operations // Trans. ASME. – 1952. – 6. – P. 300–326.
4. Виноградов А. А. О стружкообразовании металлических материалов инструментом с большим отрицательным углом // Сверхтв. материалы. – 2011. – № 4. – С. 48–54.
5. Зорев Н. Н. Вопросы механики процесса резания металлов. – М.: Машгиз, 1956. – 367 с.

Поступила 30.04.15