

SUMMARY

In this paper the browse of the diamond-abrasive disk instrument in techniques of a machining represented. The magnification of a level of usage of composition and constructional materials requires effective methods of their handling, in particular at cutting and grinding. The spread diamond wheels such as «Crown», «Segment», «Turbo», «Turbo-Laser». Such wheels are assorted under the shape of a cutting crimp and under the shape of a lateral area diamond of a stratum. Such wheels allow to magnify processing capacity of building and finishing materials in 2-2,5 times, and modern composite materials in 2,5-3 times, at lowering power up to 50%, and also to provide saving a worked work material and to expand technological opportunities of a working by cutting.

Поступила в редколлегию 16 декабря 2002г.

УДК 621.941.001

ПРОСКАЛЬЗЫВАНИЕ ПРИ НЕСТАЦИОНАРНОМ РЕЗАНИИ С МАЛОЙ ТОЛЩИНОЙ СРЕЗА

В.А. Залогова, д.т.н.; Д.В. Криворучко
(Сумский государственный университет)

ВВЕДЕНИЕ

Процессы механической обработки, реализуемые при толщине среза, измеримой с радиусом r округления режущей кромки (РК), становятся в настоящее время все более распространенными. Это протягивание, точение, фрезерование, тангенциальное точение и др. Некоторые из перечисленных процессов являются нестационарными и осуществляются при непрерывном циклическом изменении толщины среза (рис. 1). Экспериментально и теоретически установлено [1,2], что при удалении обрабатываемого материала с заготовки в части цикла «резания» следует выделять участки собственно стружкообразования и проскальзывания, т.е. взаимодействия лезвия заготовкой без образования стружки. Увеличение доли проскальзывания в цикле «резания» нестационарного процесса уменьшает стойкость инструмента, способствует дополнительному упрочнению обработанной поверхности, увеличению ее температуры. Поэтому уменьшение длительности проскальзывания является важной задачей при выборе режимов обработки.

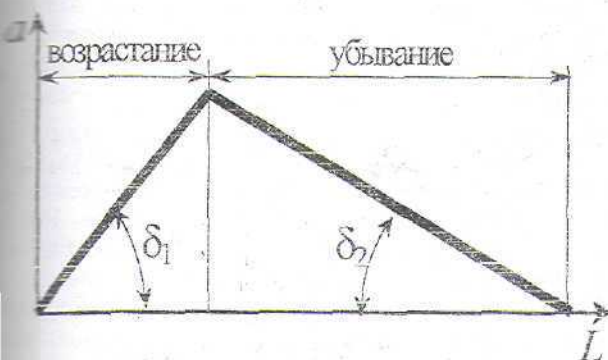


Рисунок 1 – Изменение толщины среза в цикле нестационарного процесса резания (тангенциальное точение, торцевое фрезерование и др.)

На основе экспериментальных и теоретических исследований [3,4] показано, что в этом процессе явление проскальзывания возникает в результате невозможности стружкообразования при толщине среза больше критического значения. При этом толщина среза может уменьшаться как в результате особенностей кинематики, так и в

результате деформации технологической системы. Однако явление проскальзывания в конкретных рабочих процессах в настоящее время изучено еще недостаточно, хотя известно, что, например, при тангенциальном тчении длительность участка проскальзывания в части цикла «резание» может иметь значительный удельный вес [5]. В этом процессе доля проскальзывания увеличивается при уменьшении подачи, а также при уменьшении жесткости технологической системы.

Вместе с тем известных данных все еще недостаточно для определения условий обработки, обеспечивающих минимальную длительность проскальзывания в цикле «резание». Решение этого вопроса и является целью настоящего исследования.

СОВРЕМЕННЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О ПРИЧИНАХ ПРОСКАЛЬЗЫВАНИЯ

Процесс входа лезвия в контакт с заготовкой, как известно, состоит из трех стадий: стадии упругого и пластического контакта и собственно резания (рис. 2). Экспериментальными исследованиями установлено, что уже на стадии пластического контакта возможно разделение потоков металла: под режущее лезвие и в наплыв перед ним вследствие накопления металла, находящегося в пластическом состоянии [6,7,8,1,9]. Его объем при движении РК увеличивается, причем независимо от того, увеличивается толщина среза или нет. Одни исследователи считают, что в наплыв поступает весь деформированный металл [6], другие утверждают, что лишь только его часть, которая увеличивается с возрастанием толщины среза [8].

Очевидно, что на стадиях упругого и пластического контакта стружка не образуется, т.е. имеет место проскальзывание. Другими словами, проскальзывание обусловлено невозможностью отделения срезаемого слоя в виде стружки, начиная непосредственно с момента врезания, из-за необходимости накопления металла в наплыве перед РК до его критического объема. От чего же зависит длительность участка проскальзывания?

Согласно современным представлениям основным критерием начала стружкообразования является соотношение $K_p = a_{\min}/\rho$. проскальзывание будет иметь место пока верно неравенство $a/\rho \leq K_p$. Указанное условие может выполняться в результате неудачного выбора режима резания. (в первую очередь - подачи), деформации технологической системы, большой для выбранной подачи величины радиуса округления РК ρ . Исследования многих ученых, проведенные на различных материалах и рабочих процессах, показывают значительное расхождение результатов измерения величины a_{\min} (таблица 1). Так, в случае лезвийной обработки свинца устойчивое стружкообразование наблюдалось уже при $K_p=0,003$, а при царапании единичным зерном закаленной стали 45 - при $K_p=0,29$. Причинами такого расхождения, по-видимому, являются различные механические свойства обрабатываемого и инструментального материалов, применяемые в испытаниях, пластическое оттеснение в стороны от режущей кромки, различное качество поверхности РК и шероховатость обрабатываемой поверхности. Однако данный критерий не может в полной мере использоваться для оценки проскальзывания в цикле нестационарных процессов резания (рис. 1), так как предполагает установившийся процесс и поэтому не учитывает скорость изменения толщины среза.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводились методом вычислительного эксперимента для условий резания округленным лезвием в абсолютно жесткой технологической системе.

Для изучения процесса проскальзывания в настоящей работе использовалась прогнозирующая аналитическая модель [10], которая реализует следующую качественную картину процесса стружкообразования. В момент касания лезвием заготовки происходит деформация материала перед РК. В связи с тем, что материал несжимаем

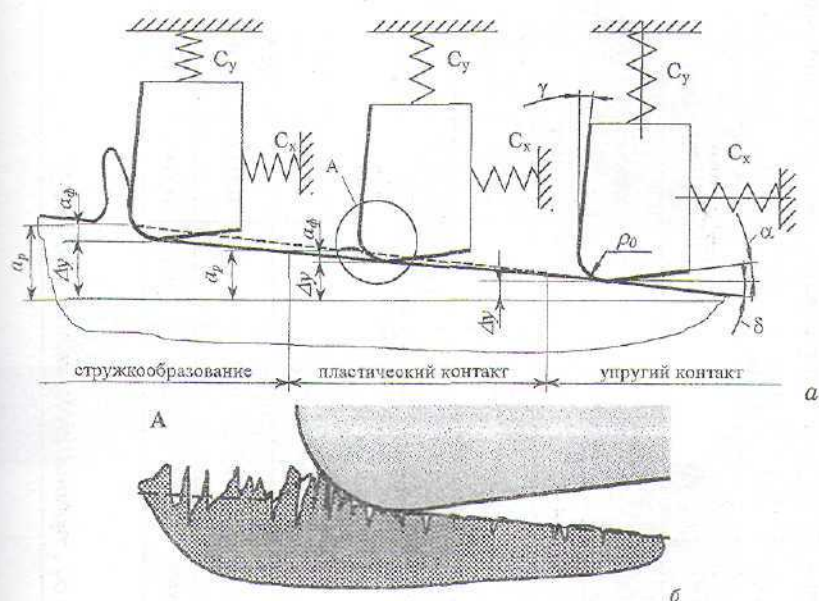


Рисунок 2 - Стадии взаимодействия лезвия с заготовкой

и технологическая система абсолютно жесткая, материал перемещается в направлении верхней границы пластической области. Находясь в пластическом состоянии, этот материал увеличивает объем пластической области, образующей наплыв перед РК. Если в наплыв перед РК перемещается весь материал, вступивший во взаимодействие с лезвием, то по мере перемещения лезвия вдоль траектории главного движения резания объем пластической области и высота наплыва увеличиваются (рис. 3). Направление движения частиц на верхней границе пластической области пересекает непроницаемую границу РК, что не позволяет сформироваться основной стружке, а приводит к увеличению объема наплыва.

В определенный момент времени объем пластической области и высота наплыва увеличиваются настолько, что возникает такое поле скоростей [10], когда скорость частицы материала на верхней границе пластической области становится касательной к поверхности РК. В этом случае частицы материала уже не сталкиваются с непроницаемой границей РК и могут беспрепятственно покидать пластическую область в виде стружки (рис. 3). При этом объем пластической области если и увеличивается, то лишь за счет увеличения толщины среза, скорость изменения которой на порядок меньше скорости увеличения объема пластической области.

В связи с вышесказанным режим стружкообразования на участке проскальзывания назовем неустановившимся, а на участке образования стружки - установившимся. В качестве параметров, определяющих условия существования каждого из режимов в модели [10], были приняты величины контактных касательных напряжений τ_n и скорость изменения толщины среза, которая геометрически выражается углом наклона свободной поверхности δ (рис. 2, a).

Таблица 1 - Величина критического угла и минимальной толщины среза по данным различных исследователей

Авторы	Инструментальный металл	Обрабатываемый металл	Скорость резания, м/мин	Точка раздела потоков (эксп.)		Свойства обрабатываемого материала				Точка раздела потоков (расч.)	
				угол γ_c	a_{min}/ρ	НВ	$\sigma_{0.2}$, МПа	τ_0 , МПа	β	угол γ_c	a_{min}/ρ
Abelmann M.E., Scuttin R.F., 1976, [11]	Быстрорежущая сталь	Латунь	-	-76°	0,03	Нет данных					
Рубенштейн К., 1972, [12]	-	Отожженная сталь SAE113	До 27	-70°	0,06	Нет данных					
Виноградов А.А., 1991, [13]	Твердый сплав	Сталь 20	Более 36	-62°	0,12	Нет данных					
Маргулис Д.К., 1976 [14]	Быстрорежущая сталь	38ХСА	До 15	-62°	0,12	340	850	201	0,066	-53°	0,2
Цверко Г.Л., 1969 [8]	У12А	Свинец	-	-85,5°	0,003	3,3	6,5	2,74	0,057	78,2°	0,021
Алейниченко Г.Ф., 1976, [14]	Быстрорежущая сталь	38ХМЮА	-	-70°	0,06	нет данных					
Фядленко С.Н., 1977 [15]	P18	1X18H9T	0,06	-53°	0,2	160	220	32	0,130	51°	0,22
Маслов Е.Н., 1974 [7]	Абразивное зерно	Сталь 45, закалка	Повышенные скорости	-45°	0,29	824	700	130	0,072	49°	0,24
Грановский Г.И., 1975, [16, с.214]	ВК8	Сталь 45		-72°	0,057	250	520	204	0,044	69°	0,064

Примечания: ¹Нет достоверных данных о пределе текучести

²Коэффициенты τ_0 и β по [17], принимаем $\sigma_n > 2k = \sigma_T$, предел текучести - по [18]

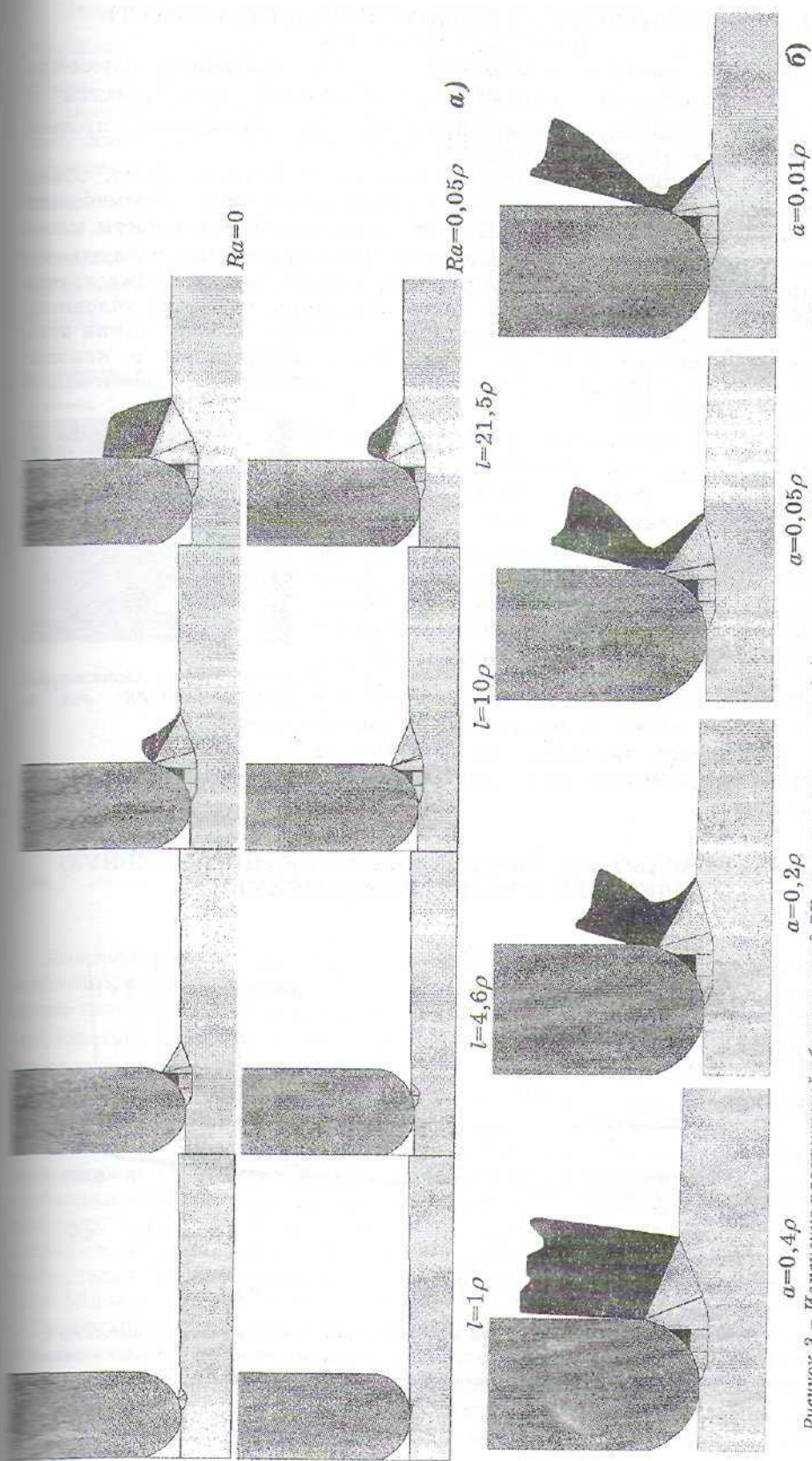


Рисунок 3 - Изменение пластической области перед РК на этапе увеличения (а) и уменьшения (б) толщины абсолютно жесткой

ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ НА ДЛИТЕЛЬНОСТЬ ПРОСКАЛЬЗЫВАНИЯ

Выполненные расчеты показывают, что оба выбранных параметра (τ_n и δ) существенно влияют на предельный путь резания и минимальную толщину среза, при которых начинается процесс установившегося стружкообразования.

Как видно из рисунка 5, высота напльва и, следовательно, объем пластической области непрерывно увеличиваются при перемещении лезвия вдоль своей траектории. При углах исходной поверхности менее 10° в момент начала установившегося стружкообразования наблюдается изменение скорости увеличения указанных показателей, что объясняется началом этапа приспособления системы резания к новым условиям. Однако при дальнейшем перемещении лезвия скорость возрастания этих показателей увеличивается, что обусловлено вступлением в контакт плоского участка передней поверхности и принятием пластической областью новой формы.

Интересным является тот факт, что для δ , больших некоторой критической величины $\delta_{кр}$, установившийся режим начинается при больших значениях h_p (рис. 5, а), что объясняется недостаточностью объема обрабатываемого материала, поступающего в напльв, для того, чтобы его объем стал равным предельному для текущего значения толщины среза. Из графика (рис. 5, б) видно, что $\delta_{кр}$ существенно зависит от τ_n . Очевидно, что если в течение цикла объем напльва не достигнет своего предельного значения, то стружка не образуется, и срезаемый слой будет отделен в виде напльва.

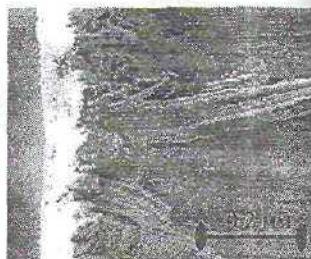


Рисунок 4 - Остаточный напльв на РК: вид со стороны A_y

УСЛОВИЯ ОБРАБОТКИ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИЕ МИНИМАЛЬНУЮ ДЛИТЕЛЬНОСТЬ ПРОСКАЛЬЗЫВАНИЯ

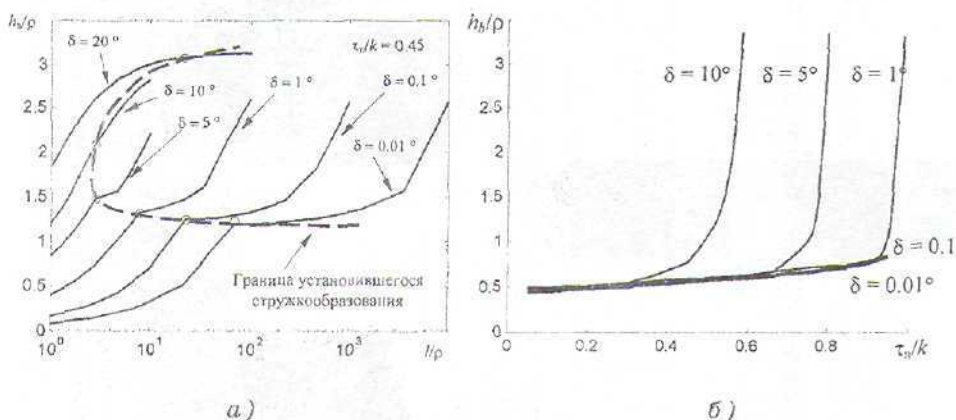


Рисунок 5 - Зависимость высоты напльва от пути, пройденного лезвием в контакте с заготовкой, и угла наклона исходной поверхности (а), а также от величины контактных касательных напряжений при предельной величине указанного пути ($\gamma=0^\circ$)

Нанесем в системе координат $\delta - \tau_n$ точки начала установившегося стружкообразования с координатами $(\delta_{кр}(\tau_n); \tau_n)$ (рис. 6, а). Полученная кривая делит область допустимых значений δ и τ_n на две зоны. Для условий зоны 1 предельная высота наплыва практически постоянна во всей зоне и составляет $(0,5-0,6)\rho$, в то время как в зоне 2 она резко возрастает с увеличением τ_n или δ (см. рис. 5, б). Одновременно с этим в зоне 1 при заданном δ предельный путь резания практически не зависит от τ_n , в то время как в зоне 2 он быстро возрастает с увеличением τ_n . В обеих зонах предельный путь резания зависит от δ , однако если в зоне 1 с увеличением δ $l_{пред}$ уменьшается, то в зоне 2, наоборот, увеличивается (рис. 7).

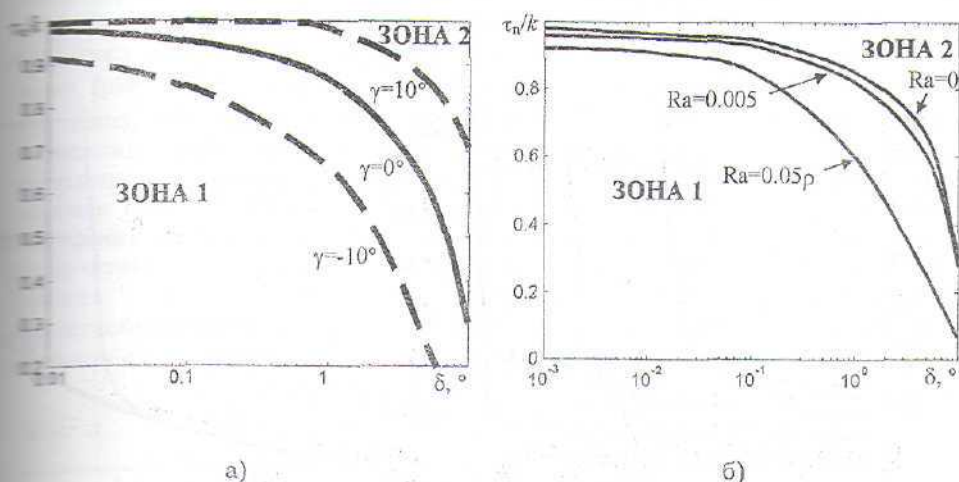


Рисунок 6 - Диаграмма « $\delta - \tau_n$ »:

зона 1 - зона гарантированного начала установившегося стружкообразования;
зона 2 - зона, в которой установившееся стружкообразование лишь возможно

Аналогичное наблюдается и с минимальной толщиной среза. Ее величина практически не зависит от касательных напряжений в зоне 1 и резко возрастает с их увеличением в зоне 2 (рис. 7, в). При этом в зоне 1 минимальная толщина среза увеличивается с увеличением δ , в отличие от предельной высоты наплыва, которая в зоне 1 не зависит от δ . В то же время в зоне 2 и высота наплыва, и минимальная толщина среза возрастают с увеличением δ , причем достаточно быстро.

В связи с этим можно заключить, что слой материала с заданной максимальной толщиной среза, вероятнее всего, будет отделен от заготовки еще на стадии неустановившегося стружкообразования в виде наплыва в случае, если условия соответствуют условиям зоны 2. И наоборот, вероятнее всего, этот слой будет отделен в виде стружки за два этапа (этап неустановившегося и установившегося стружкообразования), если условия соответствуют условиям зоны 1. Точное соотношение длины установившегося и неустановившегося стружкообразования можно определить посредством сравнения величины участка проскальзывания с предельным путем, пройденным лезвием в контакте с заготовкой, т.е. путем резания. Превышение длины пути за цикл значения предельного пути резания является условием установившегося стружкообразования.

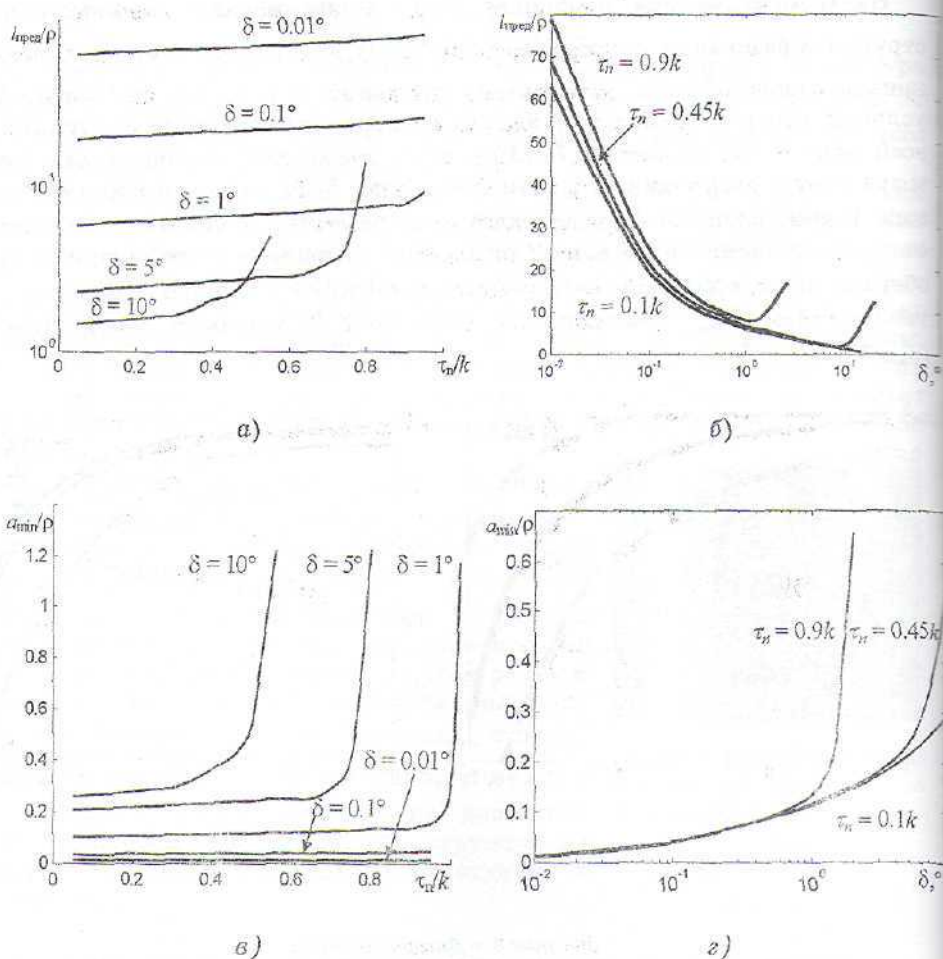


Рисунок 7 - Влияние условий трения (б, г) и угла исходной поверхности (а, в) на предельные путь резания (а, б) и минимальную толщину среза (в, г)

Таким образом, для быстрой оценки возможности установившегося стружкообразования на основе приведенных рассуждений можно пользоваться диаграммой (рис. 6): установившееся стружкообразование, вероятнее всего, будет иметь место в зоне 1 и маловероятно в зоне 2. При этом граница раздела зон является геометрическим местом точек $\delta - \tau_n$, которые обеспечивают минимальную длительность проскальзывания.

Из сказанного также следует, что в идеальных условиях граница указанных зон зависит лишь от переднего угла (рис. 6, а). С увеличением переднего угла зона 1 расширяется на большие углы δ исходной поверхности в связи с тем, что увеличивается доля контакта срезаемого слоя с округленной частью РК. И наоборот, при уменьшении переднего угла зона 1 сужается и гарантированное установившееся стружкообразование возможно лишь при малых δ .

Шероховатость обрабатываемой (исходной) поверхности также влияет на положение границы раздела зон. Из рис. 6,б видно, что возможен и случай, особенно при большой высоте микронеровностей, когда установившееся стружкообразование вообще невозможно ни при каких значениях контактных касательных напряжений.

Наличие микронеровностей на обрабатываемой (исходной) поверхности заготовки и контактной поверхности режущего лезвия особенно проявляется при срезании припусков, соизмеримых с их высотой. Однако в то время как впадины микронеровностей на поверхности лезвия в первые же мгновения заполняются обрабатываемым материалом из-за высоких локальных контактных давлений и практически не влияют на формирование стружки, то впадины исходной поверхности заготовки по мере перемещения лезвия в главном движении резания постоянно обновляются и за счет их заполнения материалом выступов могут существенно задерживать начало установившегося стружкообразования или даже при $a < 2Ra$ предотвращать его (процесс выглаживания). На рис. 3, а) показан именно такой случай ($\rho = 100$ мкм, $Ra = 0,05$, $r = 5$ мкм), что вполне соответствует реальности. Здесь высота напльва постепенно увеличивается и достигает некоторого значения, меньше предельного, стружка не образуется и срезаемый слой удаляется в виде напльва (рис. 4). Поэтому зависимость силы взаимодействия лезвия с заготовкой от толщины среза становится также пологой (рис. 8). Также установлено, что с ростом шероховатости увеличивается предельный путь резания и минимальная толщина среза, установившееся стружкообразование прекращается при $a > 0$ на этапе выхода инструмента из контакта с заготовкой.

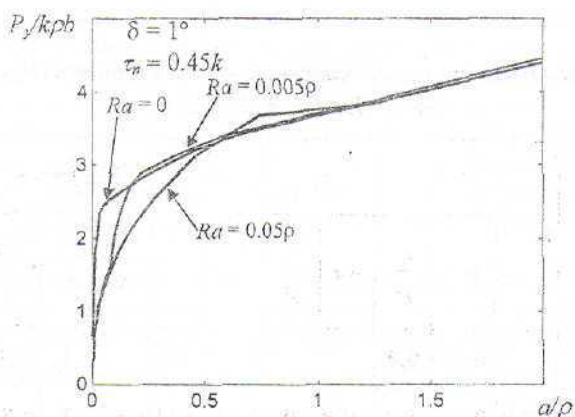


Рисунок 8. Влияние шероховатости поверхности на зависимость радиальной силы от толщины среза

Интересным также является изменение границ зоны возможного установившегося стружкообразования (рис. 6,б). Влияние шероховатости на положение этой зоны такое же, как и при уменьшении переднего угла: зона 1 сужается, т.е. возможность начала установившегося стружкообразования ограничивается.

ПРИМЕР ОЦЕНКИ ДЛИТЕЛЬНОСТИ ПРОСКАЛЬЗЫВАНИЯ

Рассмотрим пример анализа конкретного рабочего процесса на возможность реализации в нем условий установившегося стружкообразования.

Рассмотрим случай обработки стали 40X [19] ($\sigma_s = 615$ МПа, $S_x = 715$ МПа [20]) цилиндрической фрезой из сплава Т15К6 ($\rho_0 = 30$ мкм). Диаметр фрезы $D = 123$ мм, число зубьев $z = 8$, $\gamma = 0^\circ$, ширина среза $B = 35$ мм. Режим резания $t = 3$ мм, $s_{z1} = 0.032$ мм/зуб, $s_{z2} = 0.125$ мм/зуб, $s_{z3} = 0.317$ мм/зуб.

Расчеты выполним по нижеследующим формулам [21]. Результаты представлены в таблицах 3 и 2.

Таблица 3 - Длительность неустановившегося стружкообразования при $\rho = 30$ мкм, $\tau_n = 0,67k$

s_z , мм/зуб	a_{\max}		$\psi, ^\circ$	l_1		l_2		$\delta_1, ^\circ$	$\delta_2, ^\circ$	Попутное			Встречное		
	мкм	$\frac{a_{\max}}{\rho}$		мм	$\frac{l_1}{\rho}$	мм	$\frac{l_2}{\rho}$			$\frac{l_{н.у}}{\rho}$	$\frac{l_{н.у}}{l_1}$	$\frac{a_{\min}}{\rho}$	$\frac{l_{н.у}}{\rho}$	$\frac{l_{н.у}}{l_2}$	$\frac{a_{\min}}{\rho}$
0,032	9,9	0,33	17,9	0,03	1	19,3	643	17,9	0,11	9	1	0,33	60	0,03	0,05
0,125	38,7	1,29		0,12	4						1	1,29	20	0,03	0,11
0,317	98,1	3,27		0,30	10						1	2,53	12	0,02	0,15

Таблица 2 - Длительность неустановившегося стружкообразования при $\rho = 100$ мкм, $\tau = 0,67k$

s_z , мм/зуб	a_{\max}		$\psi, ^\circ$	l_1		l_2		$\delta_1, ^\circ$	$\delta_2, ^\circ$	Попутное			Встречное		
	мкм	$\frac{a_{\max}}{\rho}$		мм	$\frac{l_1}{\rho}$	мм	$\frac{l_2}{\rho}$			$\frac{l_{н.у}}{\rho}$	$\frac{l_{н.у}}{l_1}$	$\frac{a_{\min}}{\rho}$	$\frac{l_{н.у}}{\rho}$	$\frac{l_{н.у}}{l_2}$	$\frac{a_{\min}}{\rho}$
0,032	9,9	0,1	17,9	0,03	0,3	19,3	193	17,9	0,11	9	1	0,1	60	0,31	0,05
0,125	38,7	0,38		0,12	1,2						1	0,38	20	0,10	0,11
0,317	98,1	0,98		0,30	3						1	0,98	12	0,06	0,15

Угол резания

$$\psi = \arccos\left(1 - \frac{2t}{D}\right), \quad \psi = \arccos\left(1 - \frac{2 \cdot 3}{123}\right) = 17,9^\circ.$$

Максимальная толщина среза

$$a_{\max} = s_z \sin \psi, \quad a_{\max} = 0,032 \cdot \sin(17,9^\circ) = 0,0099 \text{ мм.}$$

Длины участков цикла резания:

- меньшего

$$l_1 = s_z \cos \psi \cdot l_{11} = 0.032 \cdot \cos(17.9^\circ) = 0.03 \text{ мм};$$

- большего

$$l_2 = 0.5 D \psi \cdot l_{21} = 0.5 \cdot 123 \cdot \frac{17.9^\circ}{180} \cdot \pi = 19.3 \text{ мм}.$$

Угол исходной поверхности на меньшем участке

$$\delta_1 = \arctan \left(\frac{a_{\max}}{l_1} \right) = \psi.$$

Угол исходной поверхности на большем участке

$$\delta_2 = \arctan \left(\frac{a_{\max}}{l_2} \right) \cdot \delta_2 = \arctan \left(\frac{0.0099}{19.3} \right) = 0.03^\circ.$$

По графикам (рис. 7, а и б) определяем предельный путь резания, который равен длине участка неустановившегося стружкообразования $l_{н.у.}$. Соответствующие им толщины среза определяем по графикам на рис. 7, б и в. При этом учитываем, что по модели Н.Н. Зореза $\tau_n / k = 0.67$ [22].

Анализируя таблицы 3 и 2, можно заметить, что при попутном фрезеровании на участке возрастания толщины среза в большинстве указанных режимов условия установившегося стружкообразования не наступают, и стружка начинает образовываться уже на этапе убывания толщины среза. В то же время при встречном фрезеровании режим установившегося стружкообразования наступает на стадии увеличения толщины среза при всех режимах, так как угол исходной поверхности достаточно мал. Следует обратить внимание на то, что минимальная толщина среза, обеспечивающая начало стружкообразования, составляет от $0,05\rho$ до $0,15\rho$ соответственно при малых и больших углах исходной поверхности.

Доля неустановившегося стружкообразования достаточно велика при малой скорости увеличения толщины среза (малом угле исходной поверхности), как это наблюдается при встречном фрезеровании (таблицы 3 и 2). Сравнение табл. 3 и 2 показывает, что при $s_z = 0.032$ мм/зуб и $\rho = 30$ мкм эта величина составляет 9%, а при $\rho = 100$ мкм – 31%. Таким образом, доля неустановившегося резания линейно возрастает с увеличением ρ .

ВЫВОДЫ

Выполненные исследования показали, что для эффективной реализации процесса резания необходимо, чтобы режим резания, инструментальный материал и другие условия обеспечивали такие значения δ и τ_n , чтобы точки с соответствующими координатами на диаграмме « δ - τ_n » приближались к границе между зонами гарантированного и возможного начала установившегося стружкообразования со стороны первой из них. Представленная в работе методика позволяет оценить долю проскальзывания в части цикла «резание» любого вида механической обработки с нестационарным рабочим процессом.

SUMMARY

The article focuses on the sliding process which takes place during unsteady-state cutting operations with small undeformed chip thickness. Basing on analytical model of the process it is shown that the minimal sliding time can be archived only when the point with coordinates δ and τ_n locates near denoted boundary between zones on proposed diagram. The approach to determination of sliding time is also given.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Залого В.А. Разработка научных основ и принципов практического применения нестационарных видов обработки резанием на базе попутного тангенциального точения: Автореф. дисс. ... докт. техн. наук:05.03.01/ СумГУ. -Х., 2000. -33 с.
2. Криворучко Д.В. Підвищення ефективності процесів чіткової обробки на основі аналітичного моделювання силової взаємодії лека з заготовкою: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук:05.03.01/ ІСМ ім. В.М. Бакуля НАН України. -К., 2002. -20 с.
3. Залого В.А., Приходько В.В. Исследование процесса стружкообразования при попутном тангенциальном точении//Вестник СумГУ. -Сумы: СумГУ, 1998. -Вып. 2. -С.98-101.
4. Залого В.А., Криворучко Д.В., Касьянов Л.А. Роторные станки тангенциального точения. Особенности реализации рабочего процесса в подающей технологической системе//Збірник наукових праць Кіровоградського державного технічного університету: Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. -Кіровоград: КДТУ, 2002. -Вып.11. -С. 150-163.
5. Залого В.А., Приходько В.В., Иовенко Л.А. Методика исследования процесса стружкообразования при попутном тангенциальном резании.//Резание и инструмент в технологических системах: Межд. научн. техн. сборник. -Х.: ХГПУ, 1995-1996. -Вып.50. -С.72-76.
6. Окамура К., Накадзима Т. О механизме резания абразивным шеро. Сообщение 8. Пластические деформации материала в зоне перед режущей кромкой//Сэймицу кикай. -1970. -Т. 36, № 5. -С.339-346.
7. Маслов Е.Н. Теория шлифования материалов. -М.: Машиностроение, 1974. -320 с.
8. Цвирко Г.Л. Процесс образования стружки и динамика износа инструмента в условиях тонких срезов//Труды Уральской юбилейной научной сессии по итогам научно-исследовательских работ в области машиностроения. -Курган, 1969. -С. 65-68.
9. Основы расчетов на трение и износ/И.В. Крагельский и др. -К.: Высшая школа, 1977. -526 с.
10. Залого В.А., Криворучко Д.В. Прогнозирующая аналитическая модель силового взаимодействия лезвия с заготовкой//Вопросы механики и физики процесса резания и холодного пластического деформирования: Об. науч. тр. Института сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины. Серия Г: Процессы механической обработки, станки и инструменты. -К., 2002. -С.108-118.
11. Abdelnour M.E., Scrutton R.F. Tool edge roundness and stable buildup formation in finish machining//Trans. ASME. -1976. -№ 4. -С.1258-1267.
12. Rubenstein C. The influence of strain rate in orthogonal cutting//Int. J. Mach. Tool Des. and Res. -1972. -Т.12, № 2. -С.105-120.
13. Виноградов А.А. Стружкообразование при точении пластичных металлов инструментом с округленной режущей кромкой//Сверхтвердые материалы. -1991. -№ 1. -С.65-70.
14. Алейниченко Г.Ф. О соотношении радиуса округления режущей кромки и толщины срезаемого слоя//Резание и инструмент в технологических системах: Межд. научн. техн. сборник. -Х.: ХГТУ, 1976. -Вып. 15. -С. 39-40.
15. Филоненко С.Н., Деревянченко А.Г. Особенности стружкообразования при резании с малыми толщинами среза//Резание и инструмент в технологических системах: Межд. научн. техн. сборник. -Х.: Высшая школа, 1977. -Вып.18. -С.73-77.
16. Грановский Г.И., Павченко К.П. Фасонные резцы. -М.: Машиностроение, 1975. -309 с.
17. Крагельский И.В. Трение, изнашивание и смазка: Справочник; В 2 т./Под ред. И.В. Крагельского. -М.: Машиностроение, 1978. -Т.1. -400 с.
18. Азурьев В.И. Справочник конструктора - машиностроителя: В 2 т. - М.: Машиностроение, 1974. -Т.1. -416 с.
19. Розенберг А.М., Розенберг О.А. Расчет сил резания при экстремально тонких срезах//Сверхтвердые материалы. -1990. -№ 5. -С. 55-61.
20. Сидня С.С. Метод подобия при резании материалов. -М.: Машиностроение, 1979. -152 с.
21. Грановский Г.И., Грановский В.Г. Резание металлов: Учебник для машиностр. И приборостр. Спец. Вузov. -М.: Высшая школа, 1985. -304 с.
22. Развитие науки о резании металлов/Н.Н. Зорев, Г.И. Грановский, М.Н. Парии и др. - М.: Машиностроение, 1967. -415 с.

Поступила в редколлегию 16 декабря 2002г.