

## ОПТИМАЛЬНЫЕ РЕЖИМЫ РЕЗАНИЯ ПРИ ТОНКОМ ТОЧЕНИИ НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ

**Я. Х. Костюков**, А. К. Баев, В. Н. Верезуб

### Задачи исследования

Процесс тонкого точения нержавеющей стали совершенно не изучен и в литературе по этому вопросу отсутствуют какие-либо данные. Между тем этот процесс ввиду его прогрессивности (успешно заменяет во многих случаях шлифование) и все более широкого применения нержавеющей стали в машиностроении требует к себе большого внимания.

Задачей настоящей работы являлось изучение процесса резания нержавеющей стали в условиях обработки ее точением тонкими стружками и получение данных, которые позволили бы обоснованно разработать для этого случая нормативы по режимам резания<sup>1</sup>.

### Материал, инструмент, оборудование

В качестве обрабатываемого материала была принята сталь марки ЭЖЗ ( $\sigma_b = 85 \text{ кг/мм}^2$ ;  $H_B = 241 \text{ кг/мм}^2$ ;  $\delta = 12\%$ ;  $\psi = 45\%$ ), поступавшая на станок в виде болванок диаметром 100 мм. Исследование проводилось на токарно-винторезном станке модели 1А62, у которого в целях получения более высоких скоростей резания число оборотов было увеличено до 1850 об/мин.

Режущим инструментом являлись прямые резцы сечением  $16 \times 25 \text{ мм}^2$ , оснащенные твердым сплавом Т15К6. Резцы тщательно затачивались, а затем притирались на чугунном притире карбидом бора зернистостью 180—220. Качество доводки резцов проверялось на инструментальном микроскопе. Радиус закругления вершины резца проверялся там же при помощи шаблона.

Измерение усилий резания производилось с помощью двухкомпонентного электроиндуктивного динамометра конструкции канд. технических наук А. К. Баева, а измерение неровностей — с помощью двойного микроскопа акад. Линника. Последний в целях удобства и большей точности замеров был приспособлен к суппорту станка так, что имелась возможность замерять качество поверхности в любом месте исследуемой поверхности. Микротвердость определялась прибором Хрущева ПМТ-3 при нагрузке в 50 г.

В процессе исследования износ резца определялся по задним граням при помощи микроскопа Бриннеля с 24-кратным увеличением; это давало возможность замерять износ с большой точностью.

<sup>1</sup> В работе принимал участие студент В. В. Балацкий.

### Выбор оптимальной геометрии инструмента

Задача заключалась в том, чтобы подобрать такую геометрию резца, которая обеспечивала бы получение высокой чистоты обработанной поверхности (7-й и преимущественно 8-й класс чистоты поверхности) и одновременно достаточную стойкость резца. Исследовалось влияние  $\varphi_1$ ,  $\gamma$ ,  $\alpha$  и  $R$ . Вспомогательный угол в плане  $\varphi_1$  изменялся в широком диапазоне от 30 до 0°. Наилучшие результаты показал угол  $\varphi_1 = 1^\circ 30'$ . Ввиду того, что нормативы разрабатывались для случая жесткой системы «Станок—инструмент—изделие», был принят угол  $\varphi_1$ , равный  $1^\circ 30'$ .

Передний угол изменялся в пределах  $\gamma = -10^\circ \div 15^\circ$ . Казалось бы, что при обработке данной твердой стали передний угол должен был иметь отрицательное значение. Между тем опыты показали, что оптимальное значение переднего угла соответствует  $\gamma = +5^\circ$ .

Заднему углу  $\alpha$  давались различные значения от  $15^\circ$  до  $5^\circ$ . Наилучшие результаты показал угол  $\alpha = 7^\circ$ . Радиус закругления вершины резца  $R$  принимался в диапазоне от 0,5 до 2 мм. Оптимальное значение радиуса закругления оказалось  $R = 1$  мм.

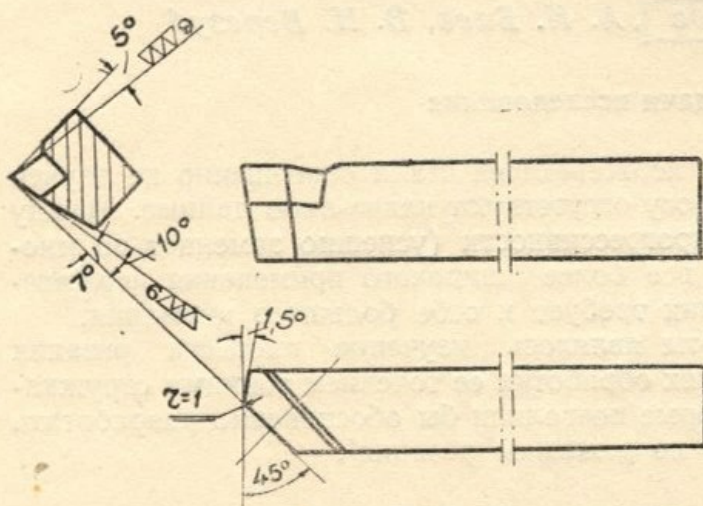


Рис. 1.

На основании этих исследований была принята следующая геометрия резца (рис. 1).

$$\gamma = 5^\circ; \alpha = 7^\circ; \varphi = 45^\circ; \varphi_1 = 1,5^\circ; \lambda = 0; R = 1 \text{ мм.}$$

Таким резцом были проведены все последующие исследования.

### Износ резца и критерий его затупления

Изучение износа резца показало, что последний происходит по задним граням и вершине резца. Здесь образуется фаска износа, которая на главной режущей кромке и при вершине резца имеет ширину несколько большую, чем на вспомогательной кромке.

Только при высоких скоростях резания и относительно больших подачах (например  $V = 250$  м/мин и  $S > 0,2$  мм/об) износ при вершине резца получает большее значение, чем на его кромках; в этом случае износ протекает вообще значительно интенсивнее.

Анализ кривых износа инструмента и кривых чистоты поверхности приводит к выводу, что чистота поверхности ухудшается с увеличением износа до  $h = 0,25-0,3$  мм сначала быстро, затем медленнее при дальнейшем увеличении износа до 0,5 мм чистота поверхности мало изменяется: при одних режимах несколько ухудшается, а в ряде случаев даже улучшается (рис. 2).

Если принять износ по задним граням  $h = 0,5$  мм как предельный, то надежно обеспечивается 7-й и 8-й классы чистоты поверхности. Поэтому износ  $h = 0,5$  мм нами выбран как критерий затупления резца.

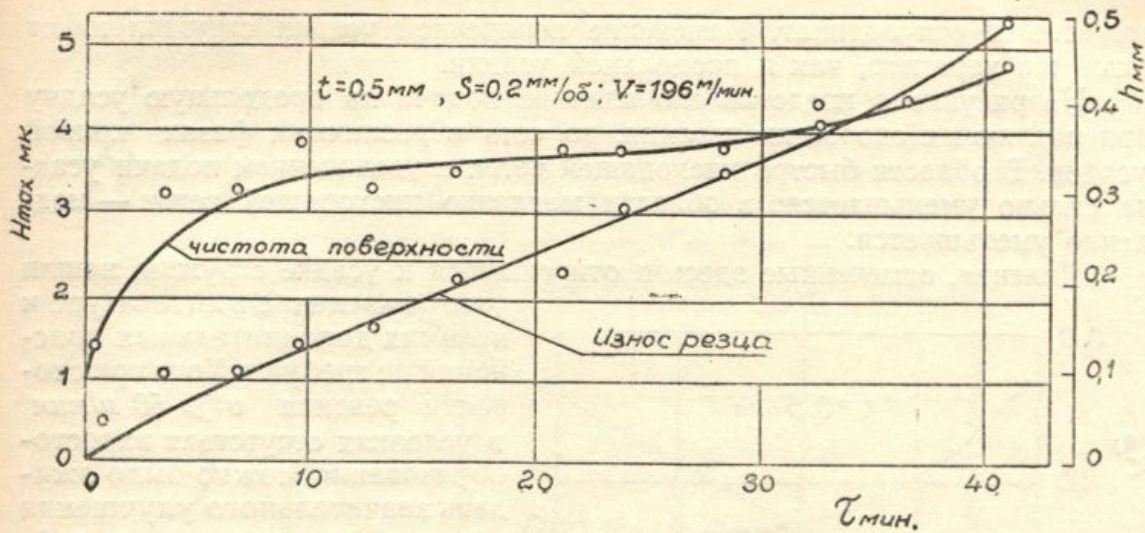


Рис. 2.

### Деформация срезаемого слоя

Изучалась продольная и поперечная усадки стружки. Продольная усадка стружки измерялась весовым методом. Усадка исследовалась при  $t = 0,5$  мм, широком изменении подач ( $s = 0,08 \div 0,5$  мм/об) и широком изменении скоростей резания ( $v = 6 \div 350$  м/мин).

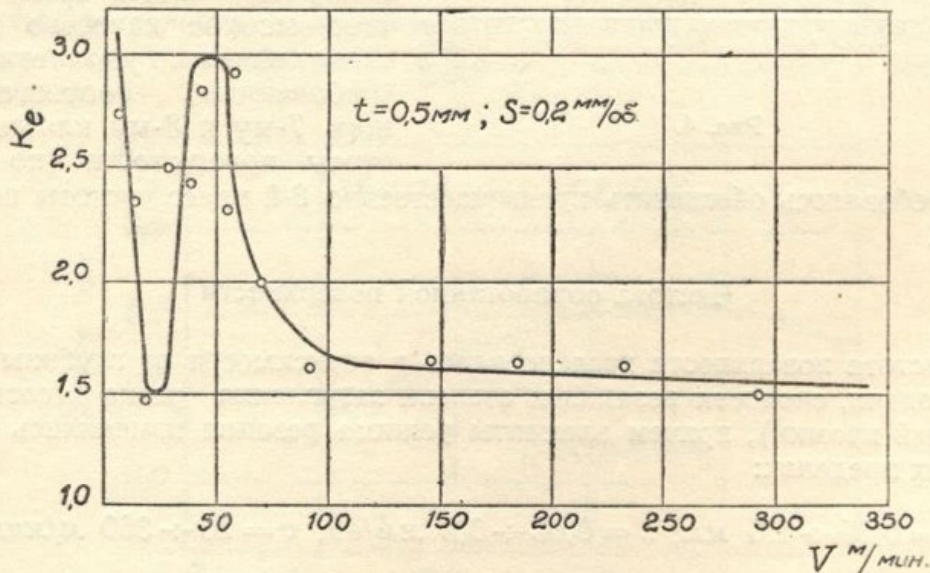


Рис. 3.

На рисунке 3 представлен график  $K_c = f(v)$ . Как видно, кривая усадки имеет четыре ветви. На первой ветви усадка резко падает, принимая наименьшее значение при  $v = 25$  м/мин; на второй ветви она так же быстро возрастает, достигая максимального значения при  $v = 50$  м/мин; на третьей ветви усадка быстро убывает до  $v = 100$  м/мин. На четвертой ветви при  $v > 100$  м/мин она очень медленно уменьшается, принимая при  $v = 300$  м/мин практически постоянное наименьшее значение. Максимум усадки (вершина «горба») для всех подач в наших опытах располагается примерно на одной высоте, то есть имеет одно и то же значение. Однако чем меньше подача, тем дальше этот максимум распо-

лагается от оси ординат. Изменение поперечной усадки стружки имеет такой же характер, как и продольной усадки.

На рисунке 4 представлено влияние подачи на продольную усадку при различных скоростях резания, то есть в различных фазах кривой усадки. В области быстро нисходящей ветви с увеличением подачи усадка сильно уменьшается; в области медленно нисходящей ветви — медленно уменьшается:

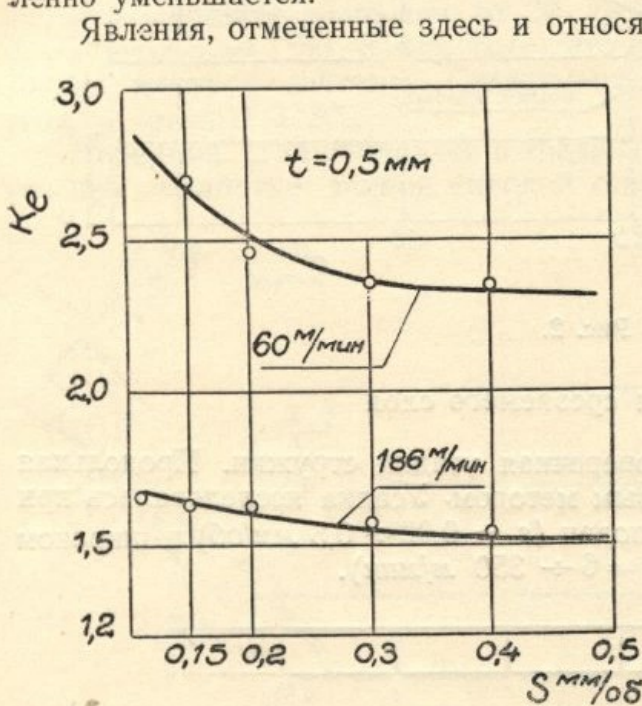


Рис. 4.

Явления, отмеченные здесь и относящиеся к усадке стружки, нашли уже объяснение в литературе и никаких дополнительных пояснений не требуют. Хотя при скорости резания  $v > 50$  м/мин в условиях отсутствия наростообразования можно было ожидать значительного улучшения чистоты поверхности, в действительности, вследствие еще высокого трения на задней грани резца, на обработанной поверхности все же имеют место еще довольно высокие шероховатости, бороздки и разрывы. Только при скорости резания  $v = 100$  м/мин и выше поверхность среза получает высокое качество и начинает надежно удовлетворять требованиям, соответствующим 7-му и 8-му классам чистоты поверхности (по заданию требовалось обеспечить преимущественно 8-й класс чистоты поверхности).

### Чистота обработанной поверхности

Чистота поверхности исследовалась в зависимости от глубины резания, подачи, скорости резания и степени затупления резца (состояния режущей кромки), причем элементы режима резания изменялись в следующих пределах:

$$t = 0,25 \div 1,0 \text{ мм}; s = 0,08 \div 0,5 \text{ мм/об}; v = 20 \div 360 \text{ м/мин.}$$

Опыты показали, что глубина резания в вышеуказанных пределах практически не влияет на чистоту обработанной поверхности. Зависимость высоты шероховатости от скорости резания носит горбообразный характер.

На рисунке 5 для иллюстрации приведена одна из таких зависимостей. Максимальное значение высоты неровностей соответствует в данном случае скорости резания  $v = 25$  м/мин и располагается вообще против точки на кривой  $K_t = f(v)$ , относящейся к минимальному значению усадки. Этим подтверждается мнение, справедливо высказанное А. Н. Ереминым [1] и отвергающее существующие в литературе представления о месте расположения максимума на кривой  $K_t = f(v)$ . Изменение скорости резания в пределах  $50 \div 300$  м/мин (при  $h = 0,5$  мм) весьма сильно влияет на чистоту обработанной поверхности.

Дальнейшее увеличение скорости уже мало отражается на чистоте поверхности.

На рисунке 6 представлено влияние подачи на чистоту поверхности при  $h = 0,25$  мм. Как видно, с увеличением подачи до  $s = 0,3$  мм/об чистота поверхности ухудшается; дальнейшее увеличение подачи до  $s = 0,5$  мм/об влечет улучшение качества поверхности.

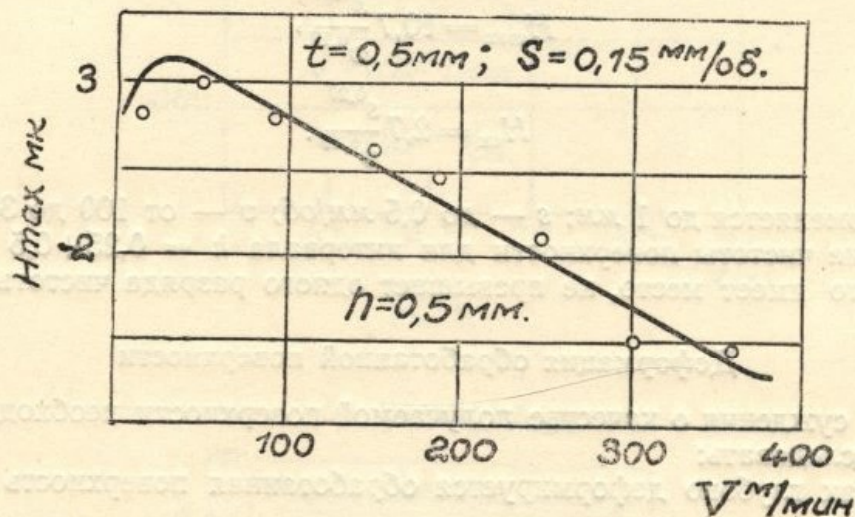


Рис. 5.

Таким образом, увеличение подачи не всегда вызывает ухудшение чистоты поверхности, а при известных условиях (скорость резания) способствует ее улучшению (это положение также высказано и обосновано в литературе).

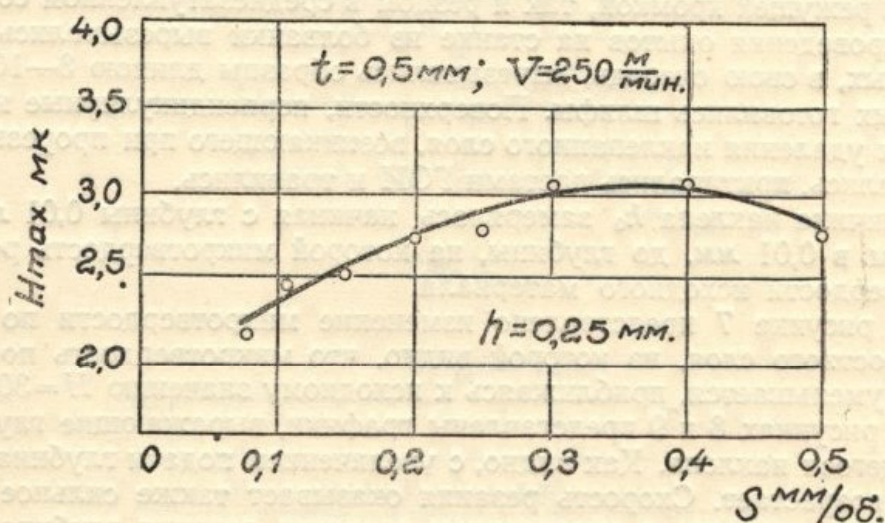


Рис. 6.

Наши исследования чистоты поверхности при тонком точении нержавеющей стали показали, что вопреки существующему мнению для получения наивысшей чистоты поверхности не обязательно работать с малыми подачами и глубиной резания, а принимая скорость резания  $v > 100$  м/мин, можно работать с глубиной резания до 1 мм и с подачей до 0,5 мм включительно.

Если расположить результаты исследования в логарифмических координатах, отнеся их к среднему затуплению резца (ширина фаски износа  $h = 0,25$  мм), то несмотря на некоторый разброс точек, можно ре-

зультаты опытов обработать, представив шероховатость в виде  $H = f(s, v)$ . Выше указывалось, почему именно принимается средnezатупленное состояние реза.

В результате обработки опытных данных нами получено следующее уравнение, определяющее наибольшую высоту неровности.

$$H_{\max} = 10,7 \frac{s^{0,27}}{v^{0,17}}, \quad (1)$$

$$H_{\text{ск}} = 2,7 \frac{s^{0,27}}{v^{0,17}}. \quad (2)$$

Здесь  $t$  изменяется до 1 мм;  $s$  — до 0,5 мм/об;  $v$  — от 100 до 360 м/мин. Ухудшение чистоты поверхности для интервала  $h = 0,25 + 0,5$  мм, если только это имеет место, не превышает одного разряда чистоты.

### Деформация обработанной поверхности

Для суждения о качестве получаемой поверхности необходимо было также исследовать:

1) как глубоко деформируется обработанная поверхность (глубина наклепа) и

2) какова степень наклепа получаемого верхнего слоя поверхности. Для этой цели на обрабатываемой болванке прорезались ребра шириной 3—4 мм.

При проведении опытов глубина резания оставалась неизменной и составляла  $t = 0,5$  мм. Подача изменялась от 0,11 до 0,6 мм/об, скорость резания от 50 до 546 м/мин. Обработка производилась резцом как с острой режущей кромкой, так и резцом в средnezатупленном состоянии. После проведения опытов на станке из болванки вырезывались кольца, из которых, в свою очередь, вырезывались образцы длиной 8—10 мм. Из последних готовились шлифы. Поверхности, перпендикулярные исследуемой, для удаления наклепанного слоя, возникающего при прорезке ребер, шлифовались, притирались пастами ГОИ и травились.

Величина наклепа  $h_0$  замерялась, начиная с глубины 0,01 мм, с интервалом в 0,01 мм, до глубины, на которой микротвердость равнялась микротвердости исходного материала.

На рисунке 7 представлено изменение микротвердости по глубине поверхностного слоя, из которой видно, что микротвердость по глубине плавно уменьшается, приближаясь к исходному значению  $H = 300$  кг/мм<sup>2</sup>.

На рисунках 8 и 9 представлены графики, выражающие глубину получающегося наклепа. Как видно, с увеличением подачи глубина наклепа сильно возрастает. Скорость резания оказывает также сильное влияние на глубину наклепа: с увеличением скорости резания глубина наклепа резко уменьшается; однако (при  $t = 0,5$  мм и  $s = 0,2$  мм/об) только до  $v = 350$  м/мин, после чего остается неизменной. Таково же влияние этих факторов и на степень наклепа верхнего слоя поверхности (рис. 10 и 11). Затупление режущей кромки повышает как глубину наклепа, так и степень его; однако это влияние с увеличением скорости резания уменьшается. В рассматриваемом случае, начиная со скорости резания  $v = 350$  м/мин, получают одни и те же результаты независимо от того, производится ли обработка острым или затупленным резцом. По-видимому, это следует объяснить тем, что, хотя при затупленной кромке получают более высокие внутренние напряжения и распространяются они более глубоко, чем при острой кромке, однако вследствие более высокой

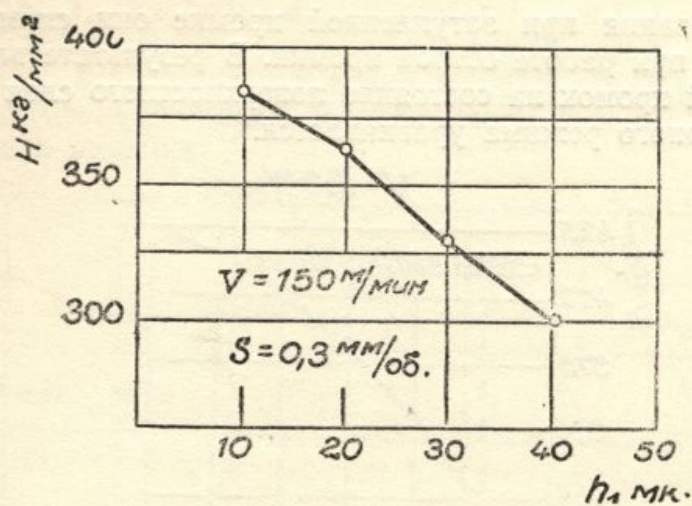


Рис. 7.

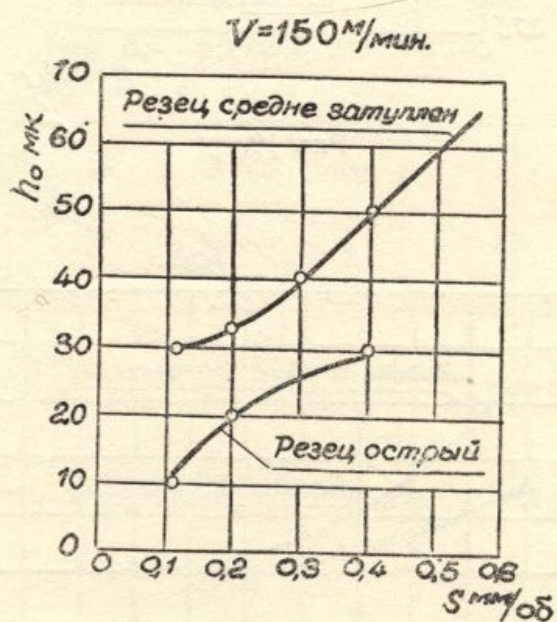


Рис. 8.

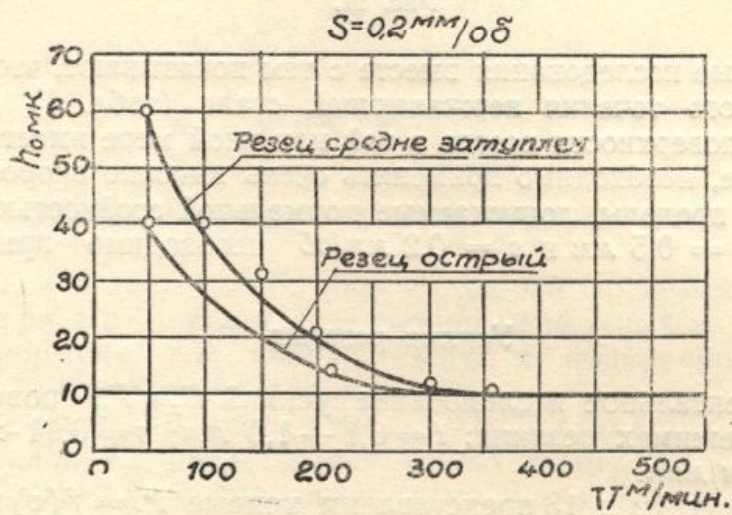


Рис. 9.

температуры резания при затупленной кромке они снимаются более интенсивно, чем при работе острой кромки. В результате влияние затупленной и острой кромок на состояние поверхностного слоя с определенного температурного режима уравнивается.

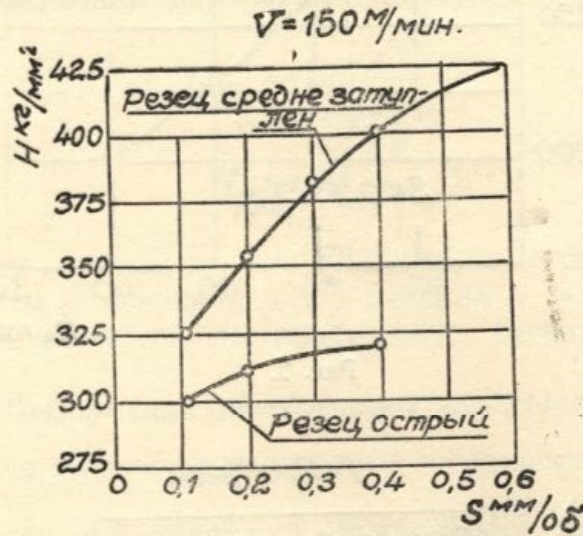


Рис. 10.

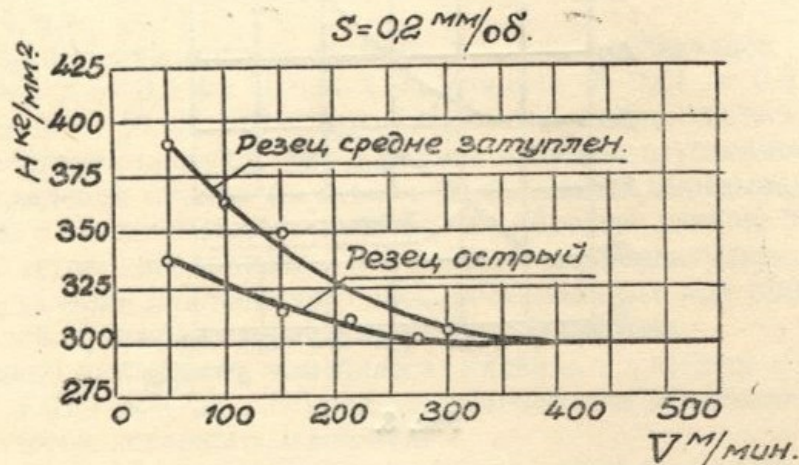


Рис. 11.

Проведенные исследования вместе с тем показывают, что в обычных условиях тонкого точения нержавеющей стали (табл. 1) деформация обработанной поверхности всегда в той или иной мере имеет место. Чтобы избежать ее, необходимо применять очень высокие скорости резания, выходящие за пределы, допускаемые нормальной стойкостью резца. Например, при  $t = 0,5 \text{ мм}$  и  $s = 0,2 \text{ мм/об}$  необходимо принимать  $v = 350 \text{ м/мин.}$

#### Усилия резания

Экспериментальное исследование усилий  $P_z$  и  $P_y$  проводилось при следующих режимах резания:  $t = 0,1 \div 1,0 \text{ мм}$ ;  $s = 0,11 \div 0,5 \text{ мм/об}$ ;  $v = 20 \div 360 \text{ м/мин.}$

На рисунках 12 и 13 представлены кривые  $P_z = f(v)$  и  $P_y = f(v)$ . Как те, так и другие, в соответствии с кривыми усулки, имеют горбообразный характер. Более резко „горб“ выражен на кривых  $P_y = f(v)$ .



Чем больше подача, тем больше сдвигается „горб“ влево, в область меньших скоростей резания. Кривые после  $v \geq 50$  м/мин имеют ниспадающий характер. До скорости резания  $v = 180$  м/мин усилия  $P_z$  и  $P_y$  изменяются ощутительно, после чего скорость резания оказывает на их величину мало влияния.

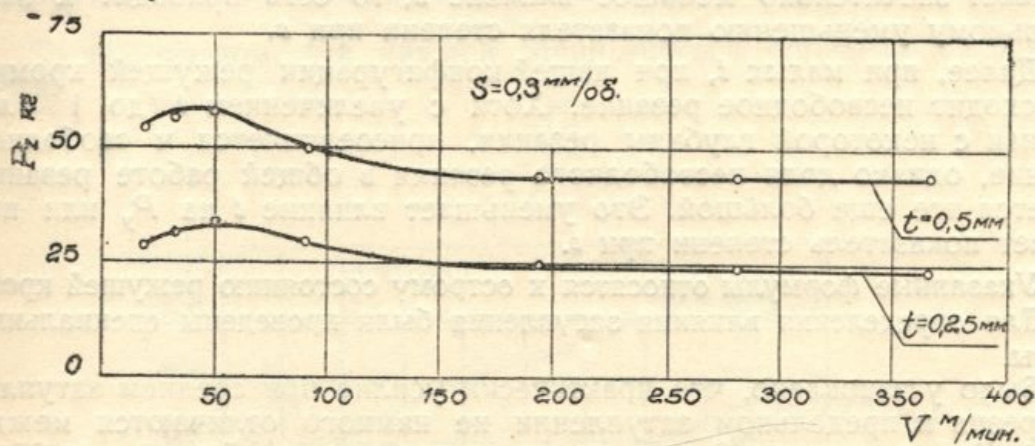


Рис. 12.

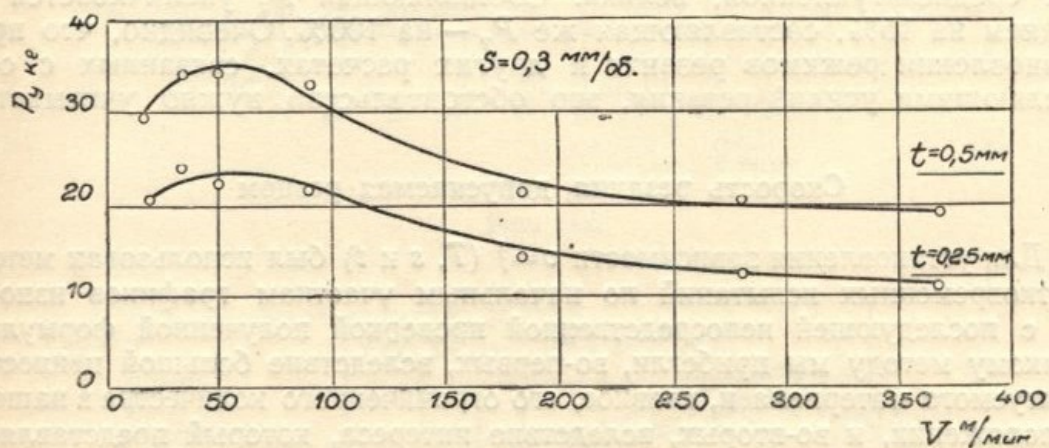


Рис. 13.

В результате математической обработки опытных данных получены следующие формулы для  $P_z$  и  $P_y$ .

$$P_z = 247 t^{0,85} s^{0,72} \left(\frac{50}{v}\right)^{0,18} \quad (3)$$

$$P_y = 87 t^{0,6} s^{0,47} \left(\frac{50}{v}\right)^{0,18} \quad (4)$$

Формулы справедливы при  $v \geq 50$  м/мин;  $t$  — до 1 мм;  $s$  — до 0,5 мм/об.

Как видим, формула для  $P_y$  (по численным значениям показателей степеней при  $t$  и  $s$ ) имеет совершенно необычный вид, резко отличаясь от формулы для полустогового и обдирочного резания. Объясняется это следующим образом.

При малом переднем угле (у нас  $\gamma = +5^\circ$ ) радиальная составляющая силы резания  $P_y$  представляет собою сумму двух слагаемых: силы трения  $F$  стружки о переднюю грань резца и силы давления  $Q$  на режущую кромку резца со стороны обрабатываемой поверхности. Хотя последняя сила невелика, однако при малых  $t$  и  $s$ , когда  $F$

получает небольшие значения, ее удельный вес в величине силы  $P_y$ , учитывая еще и наличие радиуса при вершине резца, получается очень большим. Это и приводит к тому, что увеличение  $s$  в пределах значений, применяемых при тонком точении, при одном и том же  $t$  вызывает значительно меньшее влияние  $s$ , то есть приводит к значительному уменьшению показателя степени при  $s$ .

Далее, при малых  $t$ , при нашей конфигурации режущей кромки происходит несвободное резание. Хотя с увеличением  $t$  (до 1 мм), начиная с некоторой глубины резания, присоединяется и свободное резание, однако доля несвободного резания в общей работе резания остается все еще большой. Это уменьшает влияние  $t$  на  $P_y$  или понижает показатель степени при  $t$ .

Указанные формулы относятся к острому состоянию режущей кромки. Для определения влияния затупления были проведены специальные опыты.

Было установлено, что практически усилия при среднем затуплении резца и предельном затуплении не намного отличаются между собой. Так, в среднем  $P_z$  увеличивается при этом на 5%,  $P_y$  — на 25%. Разница же между усилиями, относящимися к острой режущей кромке и к средnezатупленной, велика. Составляющая  $P_z$  увеличивается в среднем на 15%, составляющая же  $P_y$  — на 100%. Очевидно, что при установлении режимов резания и других расчетах, связанных с составляющими усилий резания, это обстоятельство нужно учитывать.

### Скорость резания, допускаемая резцом

Для установления зависимости  $v = f(T, s \text{ и } t)$  был использован метод кратковременных испытаний по начальным участкам графиков износа [2] с последующей непосредственной проверкой полученной формулы. К такому методу мы прибегли, во-первых, вследствие большой ценности испытуемого материала и, главное, его ограниченного количества в нашем распоряжении, и во-вторых, вследствие интереса, который представляет этот метод по значительной экономии затрачиваемого времени и по точности получаемых результатов.

Испытания проводились в следующей последовательности.

Было заготовлено четыре резца установленной оптимальной геометрии. Резцы были протарированы по скорости резания, дабы быть уверенными в идентичности их режущих способностей.

Было проведено 4 серии кратковременных опытов: при  $t = 0,25$  мм и  $s = 0,1; 0,15; 0,2$  и  $0,3$  мм/об.

В каждой серии принимались 3—4 различные скорости резания, причем одна скорость выбиралась с таким расчетом, чтобы стойкость резца при предельном износе  $h = 0,5$  мм составляла 7—8 минут. На рисунке 14а для примера представлен полученный график; величина износа фиксировалась через каждые 1—2 минуты.

На каждом графике износа проводилось несколько горизонтальных линий (у нас 2—4) так, чтобы они пересекали кривые износа в точках, соответствующих различным продолжительностям резания  $\tau$ . Определив для каждой горизонтали (каждого промежуточного износа)

и каждой скорости величину интенсивности износа  $\frac{h}{\tau}$ , строились в логарифмических координатах зависимости  $v = f\left(\frac{h}{\tau}\right)$ ; откладывались

по оси абсцисс значения  $\frac{h}{\tau}$  мк/мин, а по оси ордината значения  $v$  м/мин (рис. 14б). Показатель относительной стойкости  $m$  определялся как среднее значение тангенса угла наклона линий  $v=f\left(\frac{h}{\tau}\right)$  к оси абсцисс.

Таким образом, для каждой серии опытов определялись зависимости:

$$v = \frac{C_1}{T^m} \quad (5)$$

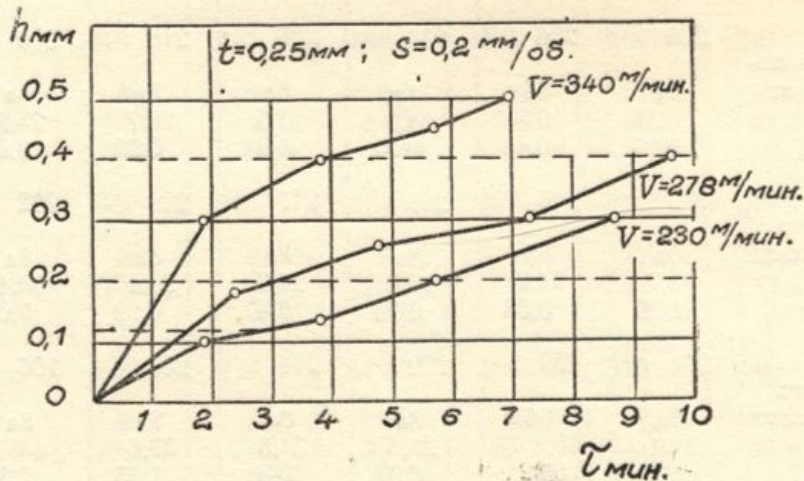


Рис. 14а.

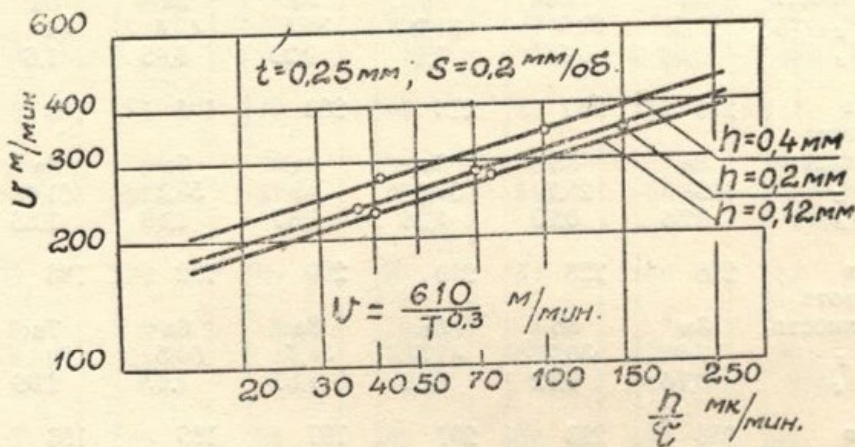


Рис. 14б.

Численное значение  $C_1$  легко устанавливалось из графика, соответствующего наибольшей скорости, поскольку из этого графика известными были  $v$ ,  $T$  и  $m$ . Приняв  $m = 0,3$  и имея значения  $C_1$  для каждой из принятых подач, легко определить зависимость  $C_1 = f_1(s)$  (рис. 15).

В результате обработки первых четырех серий опытов получено следующее уравнение:

$$v = \frac{C}{T^{0,3} s^{0,18}} \text{ м/мин.}$$

Для определения влияния глубины резания было проведено еще 2 серии кратковременных опытов: при  $s = 0,1$  мм/об и  $t = 0,5$  мм и

Глубина ре- заны мм	$v$ м/мин чистота поверхности $P_z$ кг $N_e$ квт	Подача мм/об $T=30$ мин						
		0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,4
0,1	$v$	312	275	255	243	233	226	214
	Чистота по- верхности	8в	8б	8а	8а	8а	8а	7в
	$P_z$ $N_e$	3,35 0,17	5,8 0,26	7,7 0,32	9,5 0,37	11,3 0,42	12,9 0,47	16,1 0,56
0,2	$v$	290	256	238	226	218	210	200
	Чистота по- верхности	8в	8б	8а	8а	8а	8а	7в
	$P_z$ $N_e$	6,16 0,28	10,3 0,43	14,3 0,55	17,5 0,64	20,7 0,73	23,8 0,8	29,4 0,95
0,3	$v$	279	246	229	217	209	202	192
	Чистота по- верхности	8в	8б	8а	8а	8а	8а	7в
	$P_z$ $N_e$	8,7 0,39	14,7 0,58	19,8 0,73	24,7 0,87	29,4 0,99	33,4 1,08	1,6 1,29
0,4	$v$	271	239	222	211	203	196	186
	Чистота по- верхности	8в	8б	8а	8а	8а	8а	7в
	$P_z$ $N_e$	11,4 0,5	18,8 0,82	25,6 0,92	31,8 10,8	37,4 1,23	43 1,36	54,8 1,62
0,5	$v$	265	234	218	207	198	192	182
	Чистота по- верхности	8в	8б	8а	8а	8а	8а	7в
	$P_z$ $N_e$	13,5 0,58	22,9 0,86	31,2 1,1	38,5 1,29	45,4 1,45	52 1,6	65 1,91
0,6	$v$	260	230	214	203	195	188	179
	Чистота по- верхности	8в	8б	8а	8а	8а	8а	7в
	$P_z$ $N_e$	15,9 0,66	26,7 0,99	36,1 1,26	45 1,47	53,3 1,68	61,4 1,86	76 2,19
0,7	$v$	256	226	210	200	192	186	176
	Чистота по- верхности	8в	8б	8а	8а	8а	7в	7в
	$P_z$ $N_e$	17,8 0,74	30,7 1,12	41,5 1,42	51,7 1,67	60,5 1,87	70 2,09	88 2,51
0,8	$v$	253	223	207	197	189	183	174
	Чистота по- верхности	8в	8б	8а	8а	8а	7в	7в
	$P_z$ $N_e$	20,4 0,83	34,4 1,24	46,8 1,56	57,8 1,84	68,4 2,09	78,5 2,22	97,5 1,74
0,9	$v$	250	221	205	195	187	181	172
	Чистота по- верхности	8в	8б	8а	8а	8а	7в	7в
	$P_z$ $N_e$	22,6 0,91	37,9 1,35	51,5 1,71	64 2	75,7 2,29	86,7 2,54	110 3,05
1,0	$v$	247	218	203	193	185	179	170
	Чистота по- верхности	8в	8б	8а	8а	8а	7в	7в
	$P_z$ $N_e$	24,7 1,0	42 1,47	54,4 1,77	70 2,16	82,7 2,47	95 2,75	118 3,25

Таблица 1

Подача мм/об  $T = 60$  мин

0,5	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,4	0,5
206	251	221	205	195	188	182	172	166
7B 18,9 0,63	8B 3,5 0,14	86 5,9 0,21	8a 8,0 0,27	8a 9,9 0,31	8a 11,8 0,34	7B 13,5 0,4	7B 16,7 0,46	7B 23,3 0,62
192	234	206	191	182	175	169	161	154
7B 34,8 1,08	8B 6,4 0,24	86 10,8 0,36	8a 14,7 0,45	8a 18,2 0,53	8a 21,5 0,61	7B 25,7 0,7	7B 31,9 0,83	7B 36,2 0,9
184	225	198	184	174	168	162	154	148
7B 49 1,46	8B 9,1 0,33	86 15,2 0,49	8a 20,8 0,62	8a 25,7 0,72	8a 30,4 0,82	7B 35 0,92	7B 43,5 1,09	7B 51,5 1,23
179	218	192	178	170	163	158	150	144
7B 63,4 1,83	86 11,4 0,4	86 19,5 0,61	8a 26,6 0,77	8a 33 0,91	8a 39 1,03	7B 44,8 1,14	7B 55,8 1,35	7B 66,1 1,53
175	213	188	175	167	159	154	146	141
7B 76,8 2,17	8B 14 0,47	86 23,7 0,72	8a 32,2 0,91	8a 39,9 1,08	8a 47,2 1,21	7B 53,2 1,35	7B 67,6 1,6	7B 80,4 1,82
172	209	185	172	163	157	152	144	138
7B 90 2,47	8B 16,5 0,56	86 27,7 0,83	8a 37,9 1,05	8a 46,8 1,24	8a 55,5 1,39	7B 63,8 1,57	7B 79,5 1,83	7B 94 2,1
169	206	182	169	161	154	150	142	136
7B 102 2,8	8B 18,9 0,63	86 31,7 0,93	8a 43 1,17	8a 53,6 1,39	8a 63,3 1,58	7B 73 1,77	7B 90,8 2,08	7B 107,8 2,37
167	203	179	166	158	152	147	140	134
7B 118 3,1	8B 21,2 0,7	86 35,6 1,04	8a 48,8 1,31	8a 60,3 1,54	8a 71,3 1,75	7B 81,2 1,95	7B 102 2,3	7B 121 2,62
167	201	178	165	157	150	146	138	133
7B 128 3,44	8B 23,5 0,76	86 39,4 1,13	8a 53,9 1,43	8a 66,6 1,68	8a 78,8 1,92	7B 90,4 2,13	7B 113 2,52	7B 133 2,8
163	198	175	163	155	149	144	137	131
7B 133 3,5	8B 25,8 0,83	86 43,2 1,22	8a 59 1,55	8a 73,2 1,83	8a 86,5 2,08	7B 99,6 2,32	7B 123,5 2,72	7B 146,2 3,09

$t = 0,75$  мм; (данные, относящиеся к  $s = 0,1$  мм/об и  $t = 0,25$  мм, были взяты из предыдущих опытов).

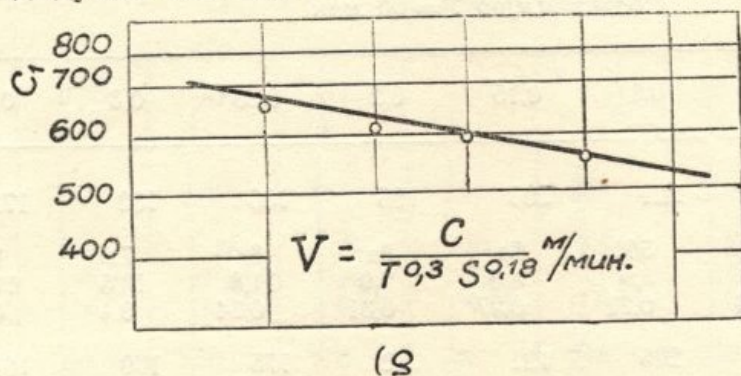


Рис. 15.

Обработав результаты опытов так, как и в предыдущем случае (рис. 15), получаем для каждой серии опытов зависимости

$$v = \frac{C_2}{T^m}.$$

И здесь  $m$  может быть принято, как и в предыдущем случае, равным 0,3. Зная  $m$  и имея для каждой принятой глубины резания  $C_2$ , можно определить зависимость  $C_2$  от  $t$  (рис. 16).

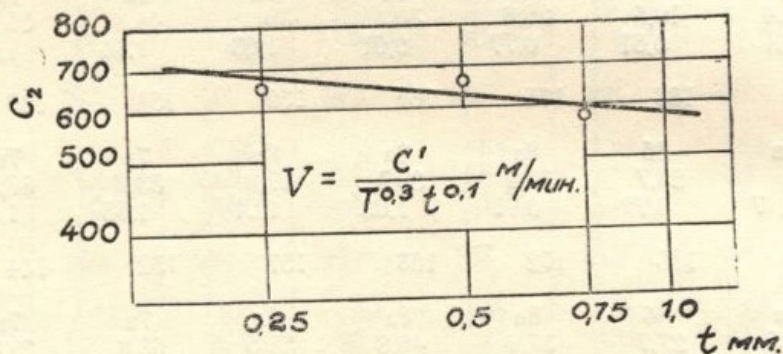


Рис. 16.

В результате получено следующее уравнение:

$$v = \frac{C'}{T^{0,3} \cdot t^{0,1}} \text{ м/мин.}$$

Таким образом,

$$v = \frac{C_v}{T^{0,3} t^{0,1} s^{0,18}} \text{ м/мин.}$$

Определяя  $C_v$  из опытов, относящихся к наивысшим скоростям резания (значения  $T$ ,  $t$ ,  $s$  и  $v$  для этих шести скоростей известны), и принимая среднее значение  $C_v$  (эти значения близко совпадают), получаем окончательно:

$$v = \frac{398}{T^{0,3} t^{0,1} s^{0,18}} \text{ м/мин} \quad (6)$$

$$\text{при } T=60 \text{ мин. } v_{60} = \frac{116}{t^{0,1} s^{0,18}} \text{ м/мин.} \quad (7)$$

Проверка значений  $v$  из формулы (6), полученных при кратковременных испытаниях, с результатами, полученными из стойкостных испытаний, при которых инструмент доводился до предельного износа, показала, что расхождения получаются весьма малыми, не превышающими 5%.

Например, на рисунке 2 представлена кривая износа резца при  $t = 0,5$  мм;  $s = 0,2$  мм/об и  $T = 42,1$  мин. Скорость резания составляла при этом 196 м/мин.

Если определить допускаемую при этих условиях скорость резания по формуле (6), то получается  $v = 187$  м/мин, что на 4,6% ниже вышеуказанной. Формула (6) типична для тонких стружек и твердосплавных резцов. Показатель степени при подаче соответствует имеющимся литературным данным, показатель степени при глубине резания имеет несколько пониженное значение. Последнее объясняется конфигурацией контура лезвия резца. Всякое увеличение глубины резания влечет за собой большее увеличение длины линии соприкосновения резца со стружкой (у нас  $r = 1$  мм;  $\varphi_1 = 1,5^\circ$ ;  $t \ll 1$  мм), и хотя усилие резания вследствие уменьшения толщины и увеличения ширины стружки возрастает при этом, давление, приходящееся на единицу длины кривой соприкосновения лезвия резца и обрабатываемого изделия, уменьшается. Последнее уменьшает износ резца и влияние  $t$  на скорость, допускаемую резцом.

### Режимы резания

В таблице представлены разработанные режимы резания для тонкого продольного точения нержавеющей стали ЭЖЗ. Она составлена по формулам (2, 3 и 7), исходя из стойкости резца  $T = 60$  мин и  $T = 30$  мин. Пользование таблицей просто. Зная припуск на обработку и требуемую чистоту обработанной поверхности, выбираем по таблице подачу и скорость резания; подачу согласовываем со степенью жесткости системы, а требуемый крутящий момент — с располагаемым моментом на выбранной ступени станка.

Настоящее исследование выполнено в лаборатории резания Харьковского авиационного института в содружестве с Харьковским заводом транспортного машиностроения.

### ЛИТЕРАТУРА

1. А. Н. Еремин. Физическая сущность явлений при резании стали, Машгиз, 1951.
2. И. М. Беспрозванный. Установление режимов резания на основе определения постепенности износа режущей кромки инструмента, Труды МВТУ им. Н. Э. Баумана, сб. «Резание металлов», № 12, Машгиз, 1951.