

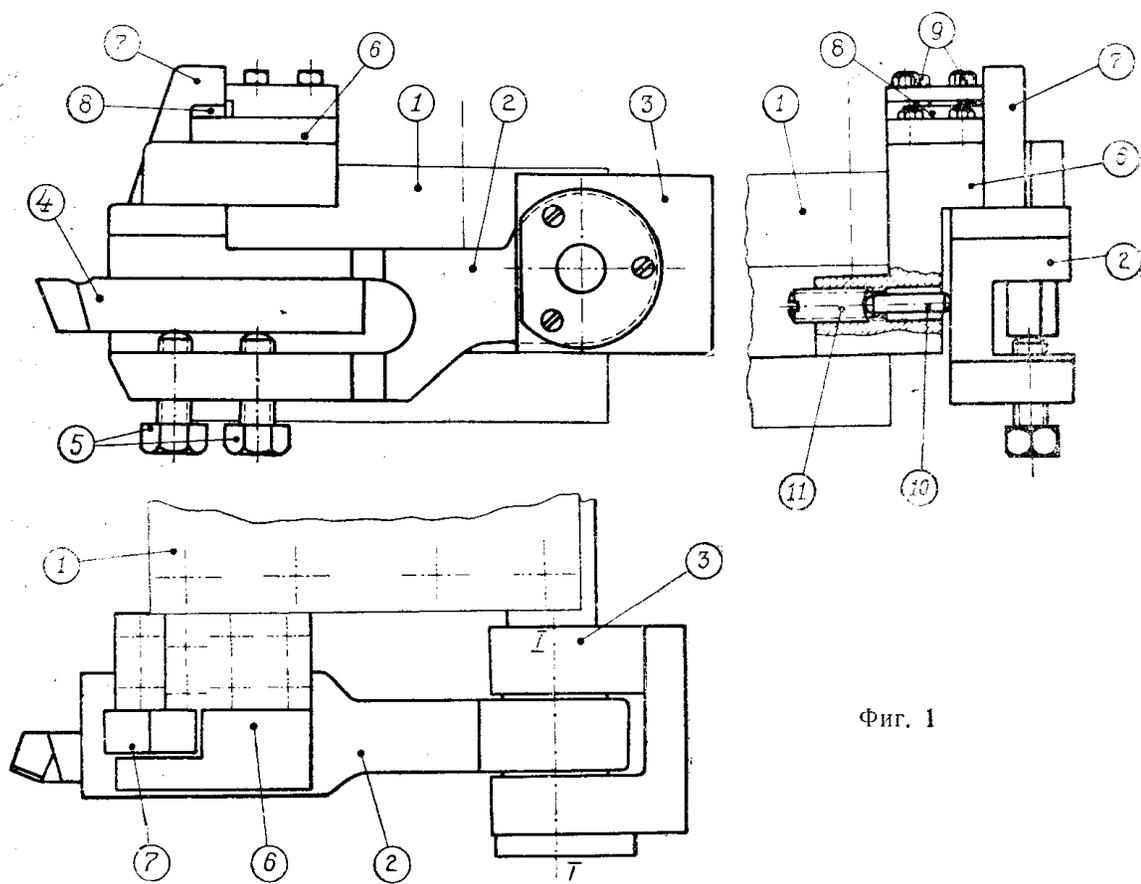
процесса резания в нужный момент, после чего корень стружки вырезается, готовится микрошлиф, который и подвергается изучению.

Ниже приводятся методика и результаты исследования геометрии нароста на резце с фаской с применением металлографического метода.

Методика исследования

Для мгновенного прекращения процесса резания было изготовлено специальное откидное приспособление ударного действия типа „падающего резца“, схема которого приведена на фиг. 1.

В резцедержателе 1 токарного станка устанавливается кронштейн 3. В нем на подшипниках качения крепится хвост державки 2, в полости которой закрепляется резец 4 с помощью болтов 5. К державке жестко привинчена планка 7, опирающаяся на фиксатор 8, зажатый винтами 9 в кронштейне 6. Последний также закрепляется в резцедержателе 1. Последний также закрепляется в резцедержателе 1.



Фиг. 1

Откидывание резца в нужный момент производится ударом молотка по верхней плоскости планки 7, что приводит к срезыванию фиксатора 8 и повороту державки 2 относительно оси I—I. Необходимое прилегание опорной плоскости планки 7 к верхней плоскости фиксатора обеспечивается смещением кронштейнов 3 и 6 по высоте с помощью прокладок. Изгиб державки 2 в горизонтальной плоскости под воздействием осевой силы P_x предотвращается с помощью стержня 10, положение которого регулируется перед каждым опытом винтом 11.

Установка резца по высоте осуществляется с помощью прокладок.

В случае необходимости между кронштейном 6 и державкой 2 может быть поставлена пружина, работающая на сжатие. Однако опыты показали, что и без пружины описанное приспособление обеспечивает получение неповрежденных корней стружек вплоть до скоростей $170 \div 190$ м/мин.

Опыты проводились по стали 4 ($H_B = 126$) и стали 30 ($H_B = 146 \div 150$). Чтобы облегчить вырезание корней стружки, образцы представляли из себя кольца, насаженные на оправку обычной конструкции. Все образцы предварительно отжигались.

Были использованы как быстрорежущие (сталь Р9), так и твердосплавные (сплав Т15К6) резцы с передними углами от 30 до 60° и фасками разной ширины ($0,3 \div 0,6$ мм). Угол в плане менялся от 45 до 90° . Задний угол $\alpha = 8^\circ$ и вспомогательный угол в плане $\varphi_1 = 10^\circ$ оставались неизменными.

В каждом опыте после мгновенного прекращения резания корень стружки вырезался, боковая его сторона подвергалась шлифовке, полировке и травлению, а затем визуальному изучению и фотографированию с помощью металлографического микроскопа МИМ-6. В ряде опытов производилась многократная перешлифовка корней стружек с целью получить фотографии нароста в различных сечениях по длине режущей кромки.

Кроме того, в каждом опыте измерялись угол схода стружки γ_0 , продольная усадка ζ , уширение стружки ζ_s и подсчитывалась поперечная усадка ζ_a .

Микроструктура в зоне резания

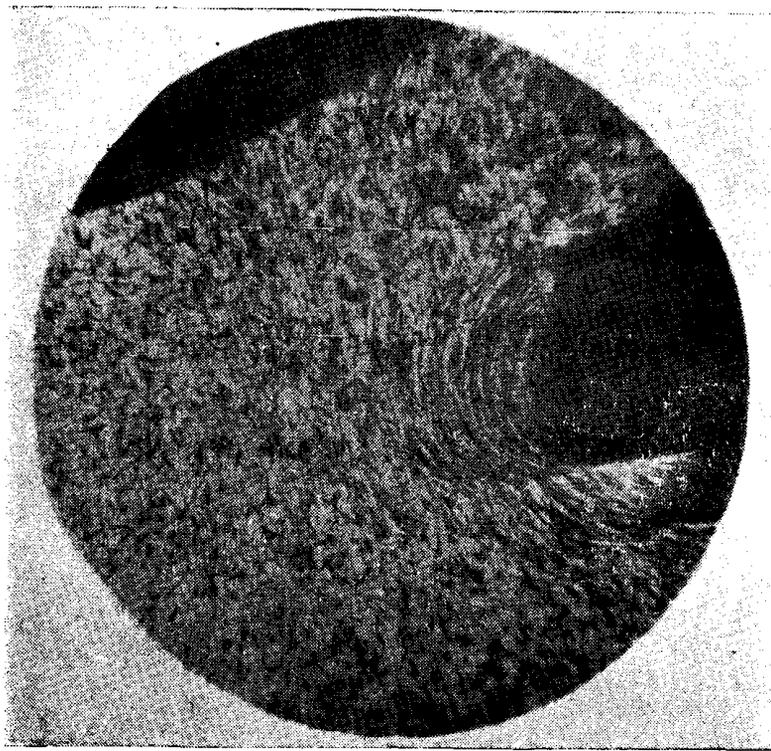
При очень малых скоростях резания наблюдение через микроскоп за боковой поверхностью зоны резания позволяет довольно подробно рассмотреть детали процесса образования нароста. Чтобы сравнить наблюдаемую при этом картину с микрофотографией структуры в зоне резания, первые опыты были проведены при скорости резания в $0,01$ м/мин (передний угол резца $\gamma = 60^\circ$; ширина фаски $f = 0,6$ мм; толщина среза $a = 1,0$ мм). Соответствующие микрофотографии представлены на фиг. 2 и 3, где показан один и тот же шлиф при разных увеличениях.

Рассматривая фиг. 2 и 3, можно увидеть, что нарост довольно четко отграничивается от стружки и поверхности среза. Контуры тупой вершины нароста выражены слабее. Это вполне понятно, ибо между материалом стружки и наростом, так же как и между материалом, лежащим ниже поверхности среза, имеет место непрерывное относительное движение. Тупая вершина нароста действует на впереди лежащий материал как пуансон, деформация впереди распространяется постепенно, и мы наблюдаем там преимущественно пластическое течение. Существенно отметить, что сходящая стружка не касается передней грани резца, которая защищена краем нароста, выступающим за фаску.

Судя по текстуре, степень деформации металла в наросте высока и во всяком случае много выше, чем в стружке. Продольная усадка стружки в данном случае составляет $\zeta = 1,35$, уширение $\zeta_s = 1,08$, поперечная усадка $\zeta_a = 1,25$. Высокая степень деформации в наросте говорит о том, что, несмотря на отсутствие разрыва по большей части границы нароста, последний перемещается вместе с резцом, являясь его продолжением.

Нарост периодически увеличивается за счет распространения деформации вглубь обрабатываемого материала (ниже поверхности среза). Однако такое увеличение нароста приводит к нарушению динамического равновесия, происходит разрыв, в результате которого деформированный объем, являвшийся до того телом нароста, остается в поверхностном слое под резцом, образуя характерную зазубрину. Одна из таких зазубрин видна на фиг. 2.

Нарост не имеет острой вершины. Спереди он ограничен поверхностью сравнительно небольшой кривизны. И, несмотря на это, усадка стружки оказывается много меньшей, чем на резце без фаски с передним углом в 30° , где усадка $\zeta = 1,9 \div 2,1$ при средних скоростях резания, а при скорости в $0,01$ м/мин степень деформации столь высока, что образуется элементная стружка. Несомненно, что причина этого кажущегося противоречия заключается в своеобразной форме нароста, которая не задается зара-

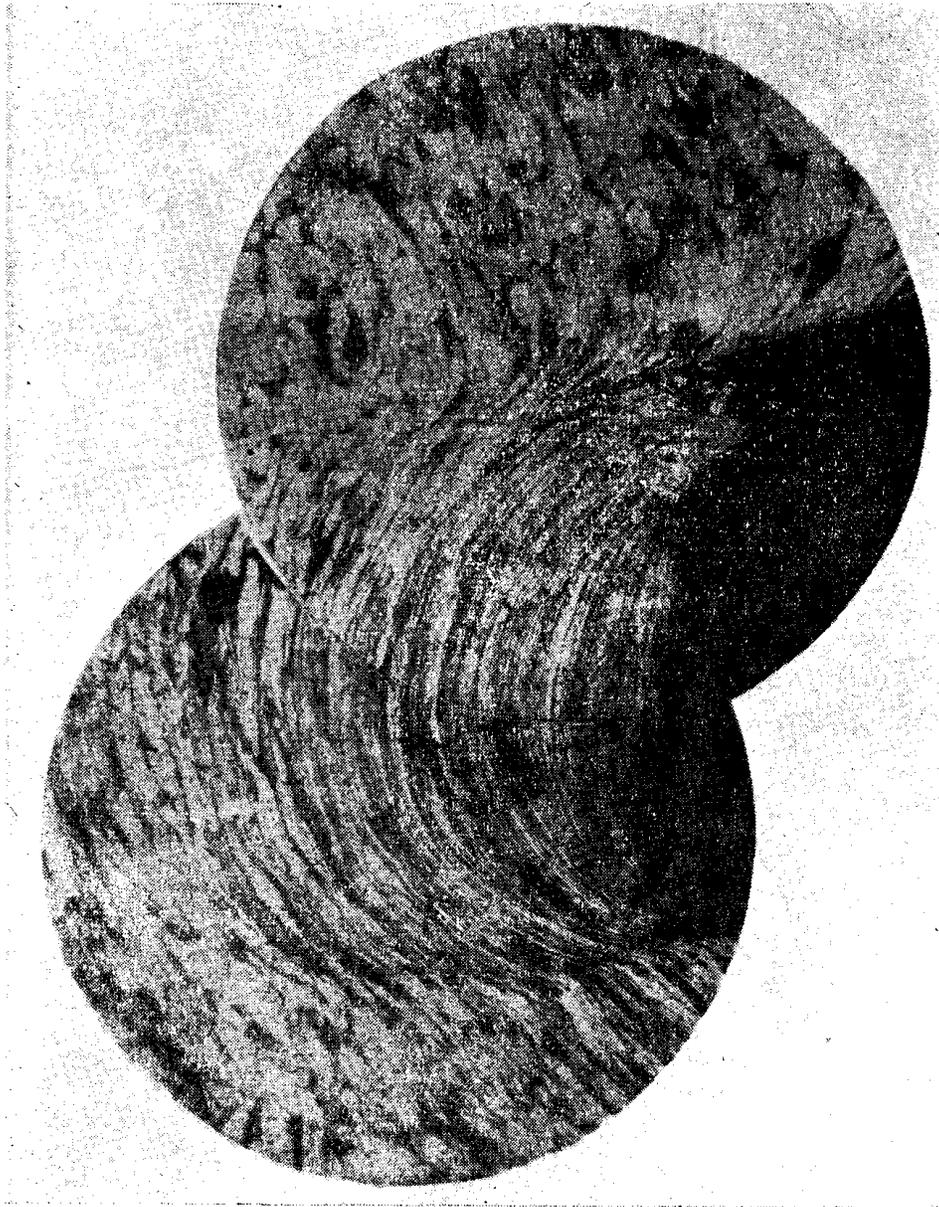


Фиг. 2

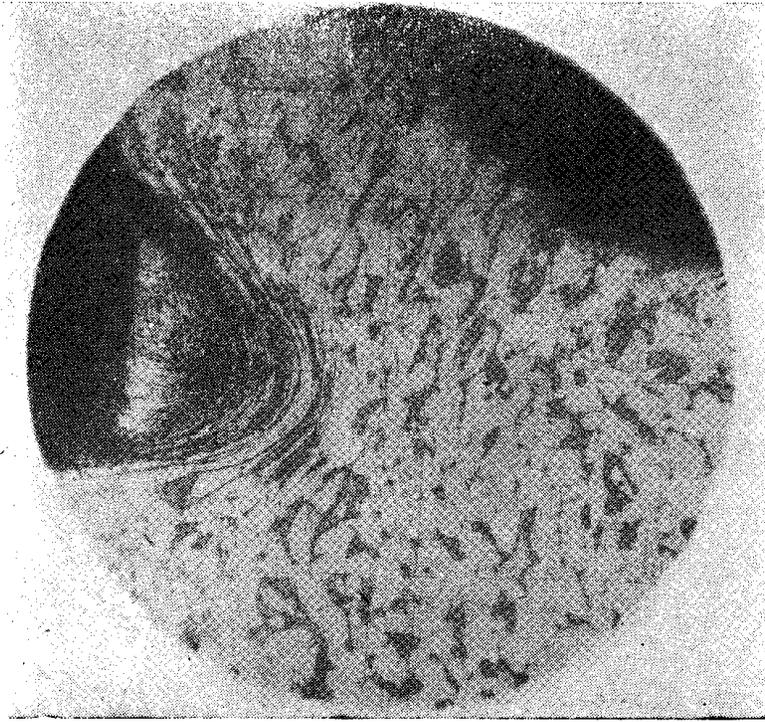
нее, а естественно складывается в процессе резания. В связи с этим нужно признать удачной аналогию между процессом резания резцом с фаской и процессом разрезания, которую проводит М. И. Клушин [4].

Наблюдение боковой поверхности зоны резания показало, что, несмотря на высокую устойчивость нароста на резце с фаской, форма его все же несколько меняется в процессе резания, не остается постоянным и угол схода стружки, колеблясь около некоторой средней величины. Чтобы проверить, насколько существенно при этом изменяются очертания нароста, мы получили несколько корней стружки при одних и тех же условиях резания: передний угол резца $\gamma = 56^\circ$; ширина фаски $f = 0,3$ мм; толщина среза $a = 0,239$ мм; скорость резания $v = 40$ м/мин; среднее значение угла схода стружки $\gamma_0 = 43,5^\circ$; среднее значение усадки: продольная $\zeta = 1,54$, уширение $\zeta_s = 1,07$, поперечная $\zeta_a = 1,44$.

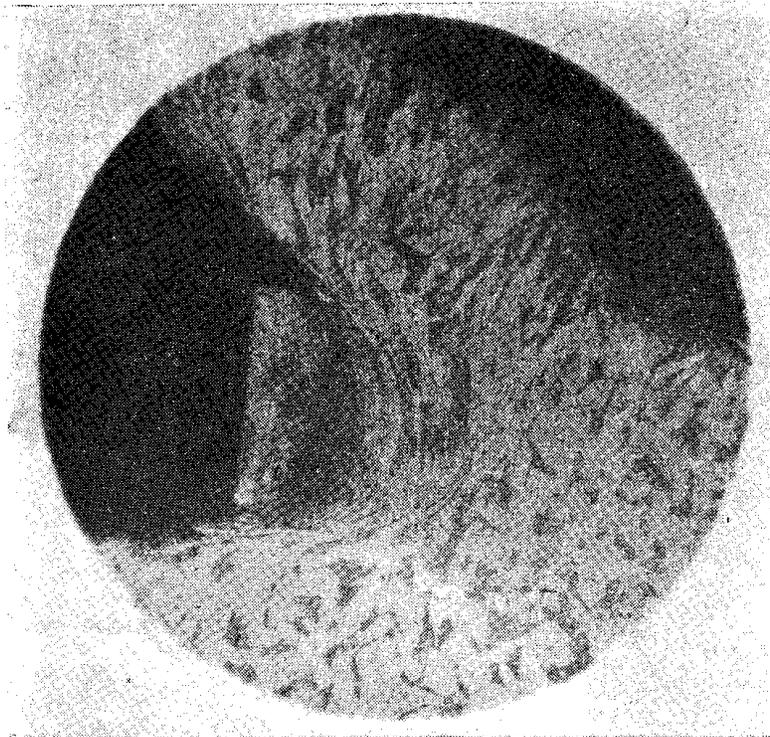
Исследование этих шлифов показало, что общая конфигурация нароста примерно одинакова для всех полученных корней стружки, а передние углы у наростов разные. Для иллюстрации мы на фиг. 4 и 5 приводим фотографии двух шлифов, на которых четко видны общие черты: нарост занимает всю плоскость фаски и передней своей частью выступает ниже режущей кромки резца, стружка сходит, не касаясь передней грани резца. Однако передние углы и радиусы закругления вершины у наростов



Фиг. 3



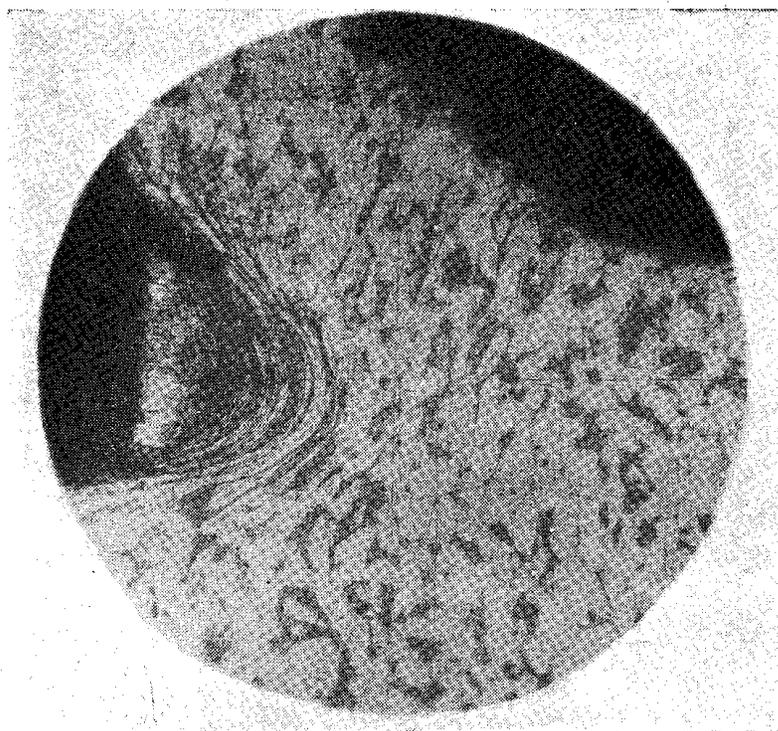
Фиг. 4



Фиг. 5

неодинаковы. Это лишний раз доказывает непригодность металлографического метода исследования нароста для определения среднего значения угла схода стружки.

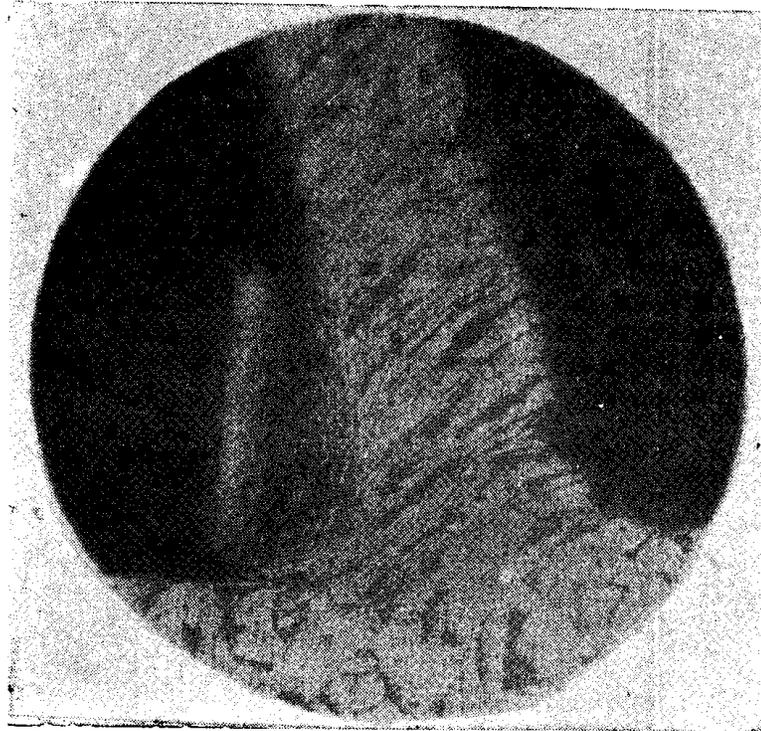
Шлифы, изображенные на фиг. 4 и 5, сделаны в сечениях, близко прилегающих к боковой поверхности изделия и стружки (не выше 0,5 мм от боковой поверхности при ширине среза 2,6 ÷ 2,7 мм). Важно было выяснить, сохраняется ли форма нароста в более глубоких слоях. Для этого образцы многократно перешлифовывались, что позволило получить целый ряд сечений нароста плоскостями, параллельными главной секущей. Оказалось, что контуры поперечного сечения не претерпевают существенных изменений по всей длине режущей кромки. Это иллюстрируется фиг. 6, где показан шлиф того же образца, что и на фиг. 4, в сечении, отстоящем от боковой поверхности на расстоянии 1,4 мм (фиг. 6). При ширине среза 2,65 мм это примерно соответствует среднему сечению.



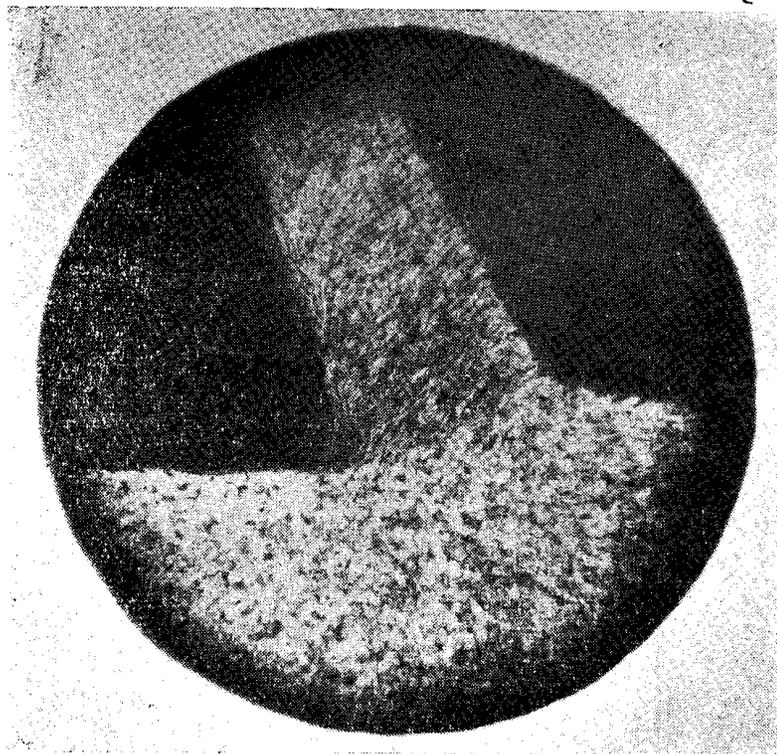
Фиг. 6

В следующей серии опытов мы изменили передний угол резца. До этого он был выбран с тем расчетом, чтобы обеспечить свободный сход стружки ($\gamma_0 < \gamma$), то есть такие условия, когда стружка не касается передней грани резца, а самое большее соприкасается с кромкой пересечения плоскостей фаски и передней грани (на приведенных фотографиях эта кромка защищена наростом). Теперь мы заточили резец с передним углом в 30° . Как показали опыты, выполненные ранее [2], при таком угле свободный сход стружки обеспечивается лишь в случае малого отношения a/f толщины среза к ширине фаски; при большой величине отношения a/f стружка касается передней грани резца, на переднюю грань распространяется и основание нароста. Результаты этих опытов, проведенных по стали 4, представлены фиг. 7, 8, 9 и таблицей 1.

Рассматривая фиг. 7—9, нетрудно заметить, что при переднем угле в 30° контуры нароста очерчены более резко, а радиус закругления его вершины меньше, чем при $\gamma = 60^\circ$. Это, несомненно, обусловлено более

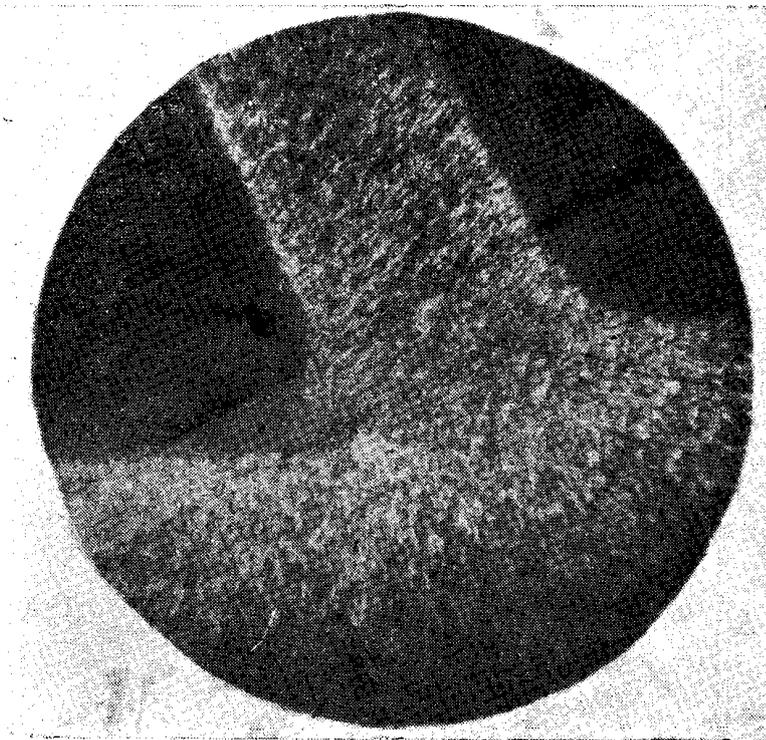


Фиг. 7



Фиг. 8

высокой степенью деформации (усадка здесь выше). Характерно, что наиболее четко выделяется нарост при максимальной усадке и наименьшем угле схода стружки (фиг. 7). С увеличением угла схода стружки контуры нароста становятся менее резкими.



Фиг. 9

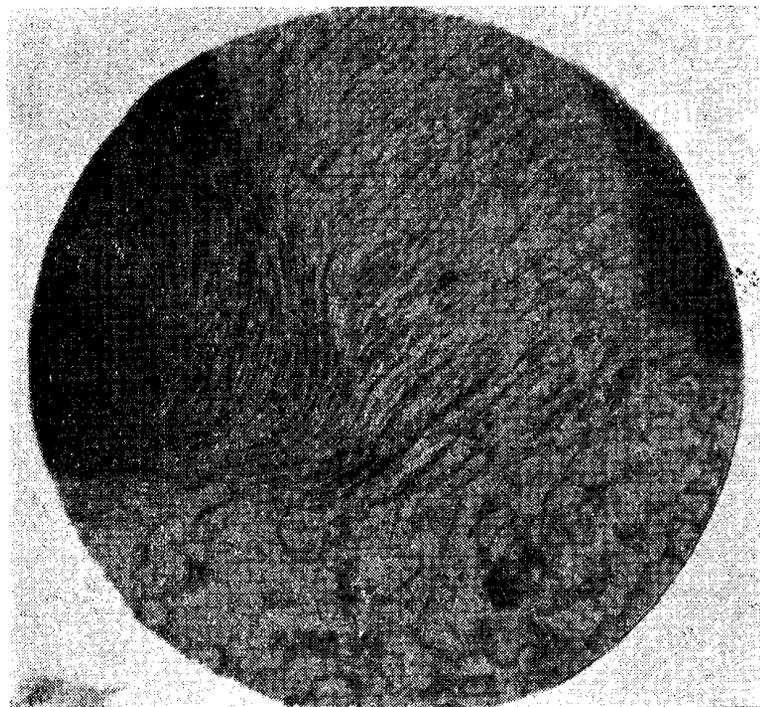
Таблица 1

№ пп	Скорость резания	Ширина фаски	Толщина среза	Отноше- ние толщины среза к ширине фаски	Угол схода стружки	Усадка стружки			№ фигур
						продоль- ная	ушире- ние	попе- речная	
						v	f	a	
м/мин	мм	мм	—	град	—	—	—		
1	40	0,41	0,121	0,296	20	2,88	1,12	2,60	7
2	40	0,41	0,417	1,01	31	2,05	1,11	1,85	8
3	40	0,41	0,58	1,42	33	1,99	1,10	1,81	9

Если при свободном сходе стружки форма поперечного сечения нароста неизменна по всей его длине (вдоль режущей кромки), то при переднем угле в 30° этого уже не наблюдается. На фиг. 10, 11 и 12 изображены три различных сечения нароста при отношении $a/f=0,65$, первое—на расстоянии 0,4 мм, второе—на расстоянии 1,7 мм и третье—на расстоянии 2,9 мм от боковой поверхности стружки (ширина среза—3,3 мм). Легко видеть, что высота нароста в различных сечениях неодинакова.

Кроме того, в среднем сечении нарост распространяется на значительный участок передней грани, закрывая ее своеобразным „язычком“.

Наблюдая боковую поверхность нароста в процессе резания, мы заметили, что внутренняя часть нароста, прилегающая к плоскости фаски, наиболее устойчива и срывается очень редко. „Наружная“ часть нароста



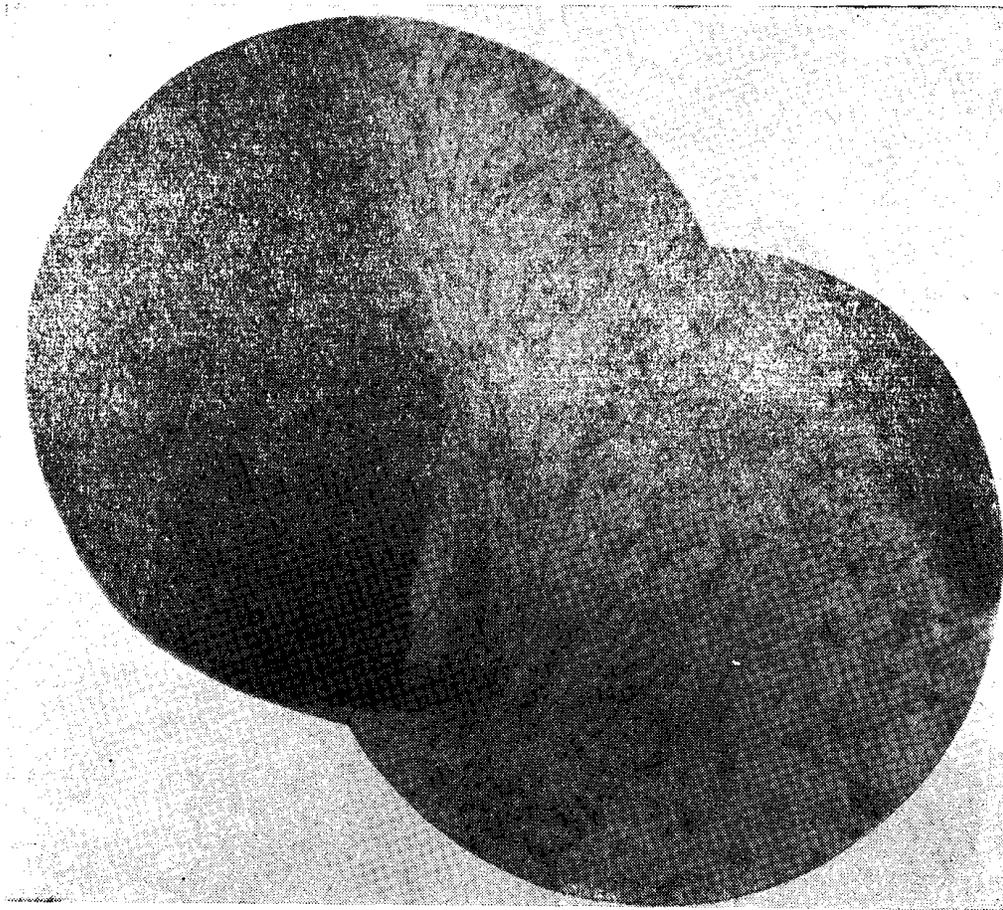
Фиг. 10

вместе с „язычком“, наоборот, срывается и наращивается вновь очень часто и с правильной периодичностью. В результате этого контактная поверхность стружки оказывается покрытой такими „язычками“, расположенными примерно на равных расстояниях друг от друга.

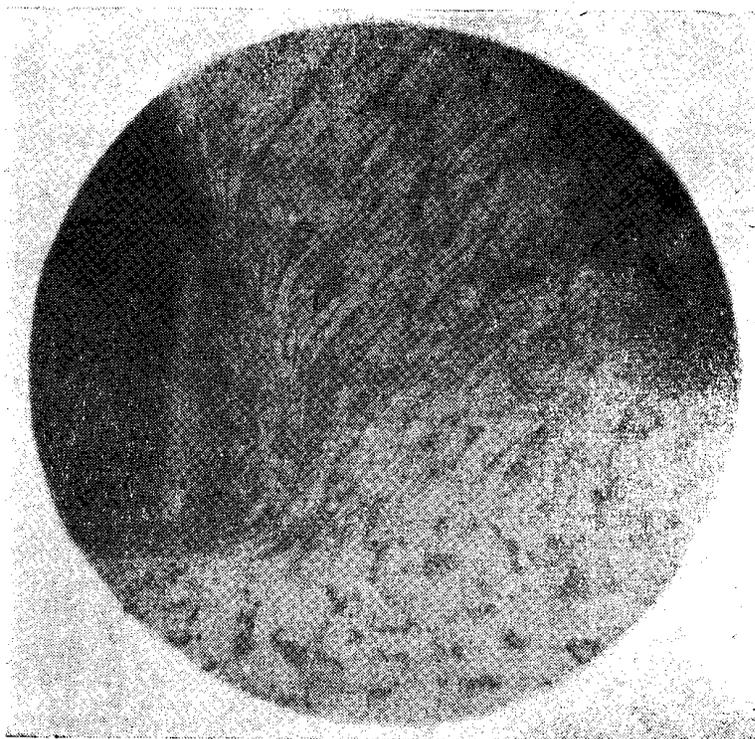
Наконец на фиг. 13 и 14 зафиксирована структура нароста при скоростном резании стали 30 твердосплавным инструментом с фаской.

Первая микрофотография получена при режиме: $v=145$ м/мин; $\gamma=40^\circ$; $f=0,36$ мм; $a=0,361$ мм; $v=1,95$ мм; $\gamma_\partial=27^\circ$; $\zeta=1,67$; $\zeta_s=1,15$; $\zeta_a=1,45$. Шлиф полировался вместе с кусочком резца, который откололся при откидывании державки. Фиг. 14 получена в условиях: $v=180$ м/мин; $\gamma=40^\circ$; $f=0,44$ мм; $a=0,43$ мм; $v=2,44$ мм; $\gamma_\partial=26^\circ$; $\zeta=1,55$; $\zeta_s=1,14$; $\zeta_a=1,36$. В обоих случаях подбором переднего угла резца обеспечен свободный сход стружки ($\gamma_\partial < \gamma$).

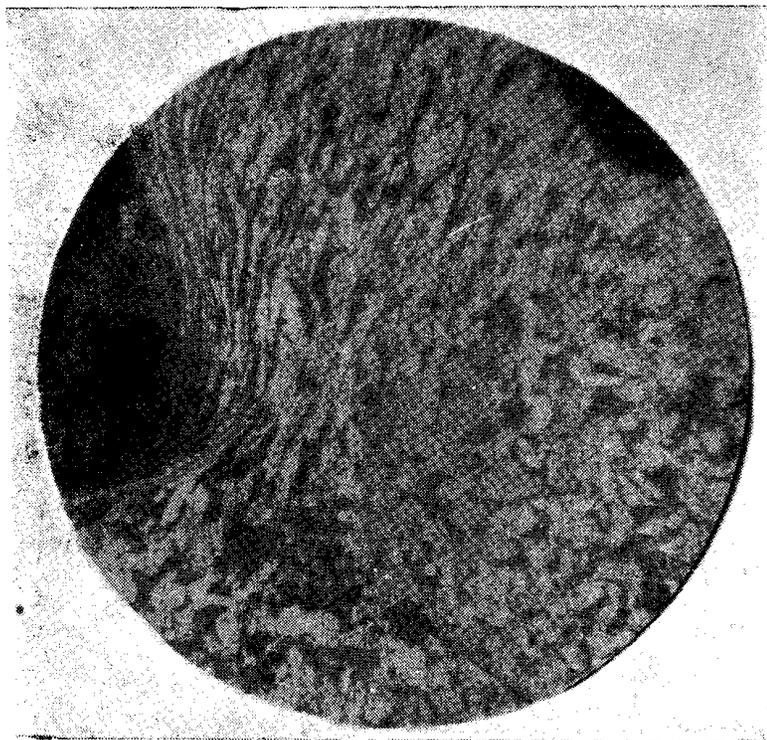
Нетрудно видеть, что структура нароста выражена достаточно четко на обоих шлифах. Это является убедительным доказательством существования нароста на резце с фаской при столь высоких скоростях, когда на обычном резце он отсутствует.



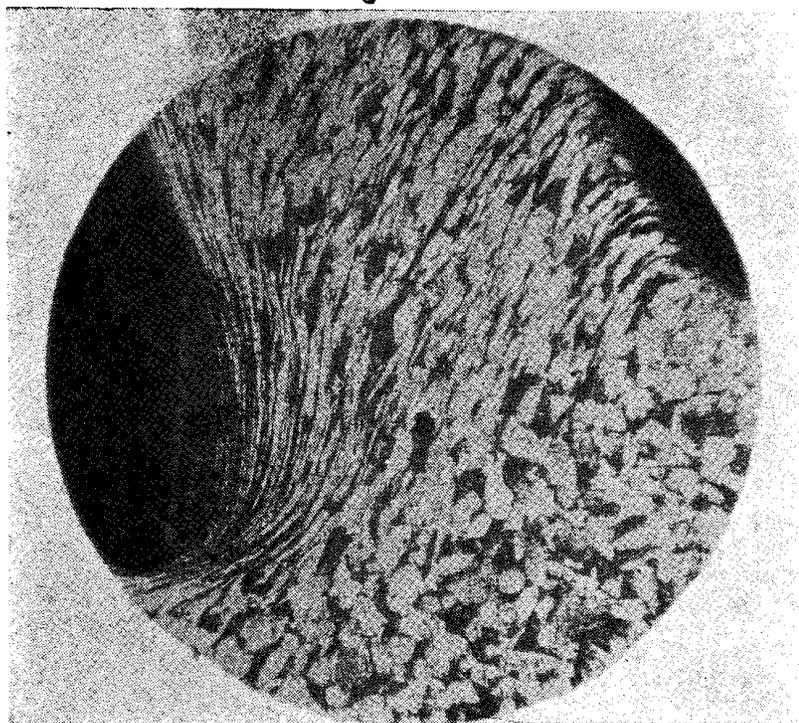
Фиг. 11



Фиг. 12



Фиг. 13



Фиг. 14

Микротвердость в зоне резания

Представляло значительный интерес измерить твердость стружки и нароста при резании инструментом с фаской. До сих пор такие измерения производились лишь для обычного резца без фаски [5, 6, 7].

Для определения твердости в различных областях зоны резания мы воспользовались прибором М. М. Хрущева и Е. С. Берковича (ПМТ-3), обеспечивающим наименьшие размеры отпечатков после вдавливания индентера. Изучение распределения твердости этим методом представляет известные трудности из-за значительного разброса чисел твердости в соседних точках, неизбежного при неоднородной структуре обрабатываемого материала. Твердость структурных составляющих малоуглеродистой стали, с которой мы работали, составляет: феррит — $H_B = 50 \div 115$, перлит $H_B = 150 \div 250$ [8]. Это значит, что при диаметре отпечатка, сравнимом с размером зерна, мы можем уже в исходной (недеформированной) структуре получить колебания твердости в диапазоне $50 \div 250$, то есть в пять раз. Подобные колебания твердости будут наблюдаться и в деформированных структурах. Действительно, если мы взглянем на результаты измерений микротвердости в зоне резания, выполненных рядом исследователей [5, 6, 7], то сразу же обнаружим разброс чисел твердости, который, естественно, осложняет изучение общей картины распределения твердости.

Чтобы несколько ограничить этот разброс и обеспечить возможность усреднения чисел твердости на различных участках, мы производили испытания с наибольшей нагрузкой, допускаемой прибором (200 г), располагая отпечатки по координатной сетке с наименьшим рекомендуемым расстоянием между ними [9]. Исключение было сделано лишь для зоны нароста и слоев, близких к поверхностям стружки и изделия, где малые размеры отпечатков (повышенная твердость) позволили расположить их ближе друг к другу, чем на остальных участках, а криволинейные контуры ограничивающих поверхностей требовали нарушения координатной сетки.

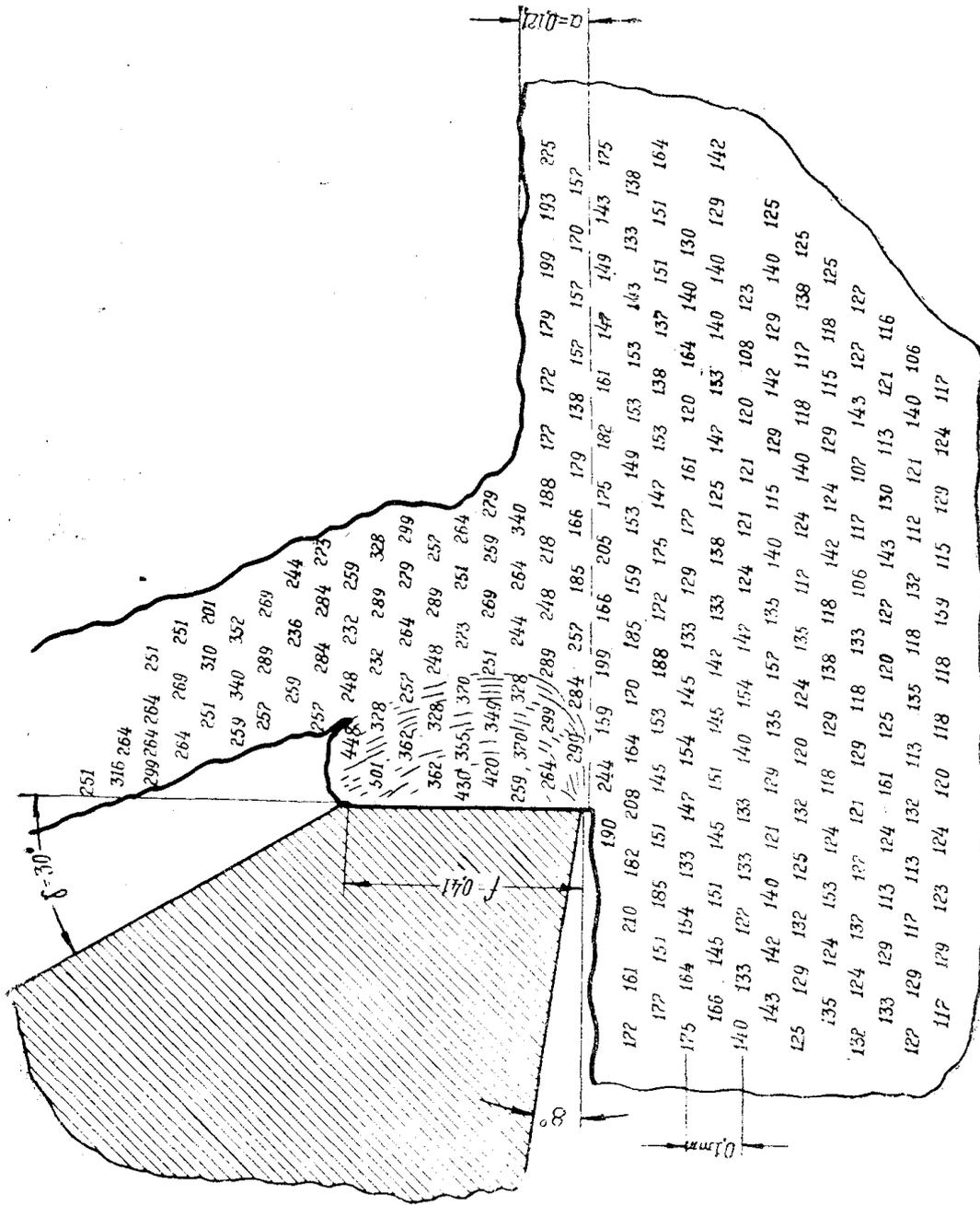
Для измерения твердости мы сначала выбрали шлиф, микроструктура которого показана на фиг. 7 (обрабатываемый материал — ст. 4, скорость резания $v = 40$ м/мин, отношение $a/f = 0,295$). Результаты измерения представлены на фиг. 15.

Несмотря на то, что отпечатки получены с наибольшей нагрузкой, разброс чисел твердости оказался довольно значительным. Чтобы это не препятствовало выявлению типичных зон с различной твердостью, весь интервал твердостей был разделен на группы с закраской кружков каждой группы в определенный тон. Так была получена схема, изображенная на фиг. 16. На этой схеме отчетливо видны:

- 1) зона недеформированного металла с исходной твердостью (твердость преимущественно в пределах $101 \div 130$, отдельные более твердые включения);
- 2) зона предварительной деформации толщиной в среднем около $0,36$ мм или $3a$, где a — толщина среза (твердость в более глубоких слоях преимущественно в пределах $131 \div 160$ с отдельными включениями меньшей твердости, в поверхностных слоях — $H_n = 161 \div 200$);
- 3) деформированная зона в стружке (твердость в основном в пределах $241 \div 280$, но со значительным числом более твердых включений);
- 4) зона нароста с очень высокой твердостью (преимущественно в пределах $321 \div 370$, в некоторых точках до 430).

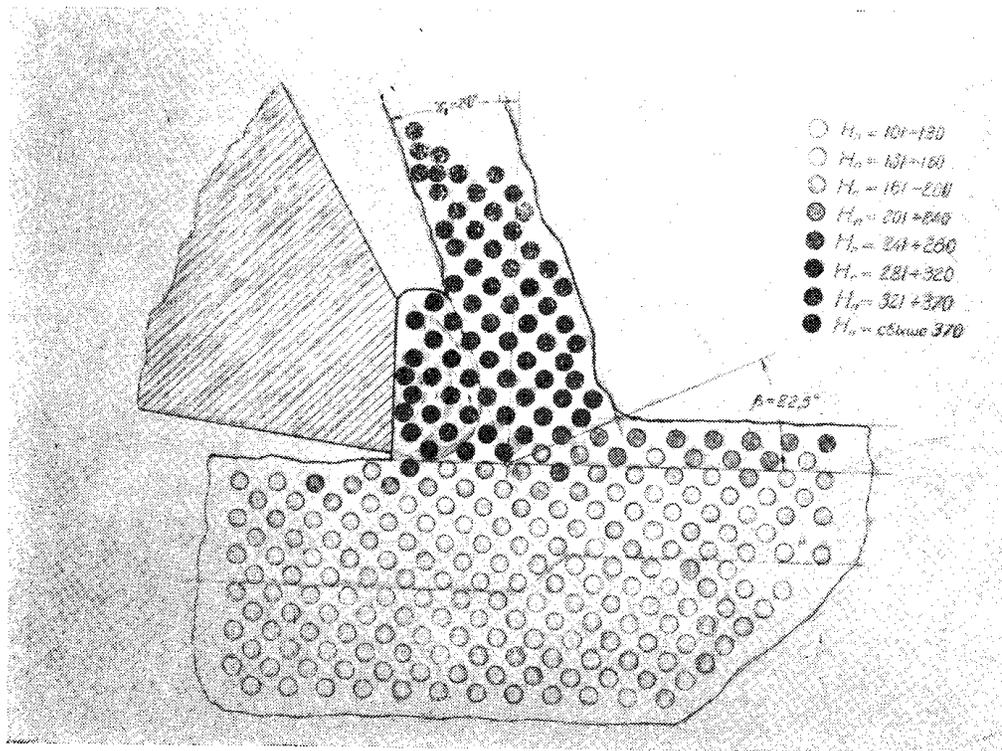
На фиг. 17 и 18 показаны результаты измерения твердости на шлифе, взятом из опытов с высокой скоростью резания по стали марки ст. 30 ($v = 180$ м/мин, фиг. 14). Здесь можно различить те же зоны:

- 1) зона исходной твердости (преимущественно $H_n = 130 \div 165$, изредка более твердые включения);



Фиг. 115

- 2) зона предварительной деформации (твердость непрерывно понижается по мере углубления от твердости $H_n = 236 \div 275$ до исходной);
- 3) деформированная зона в стружке (преимущественно $H_n = 236 \div 275$, но имеются включения с твердостью свыше 300);
- 4) зона нароста с высокой твердостью (до 440).

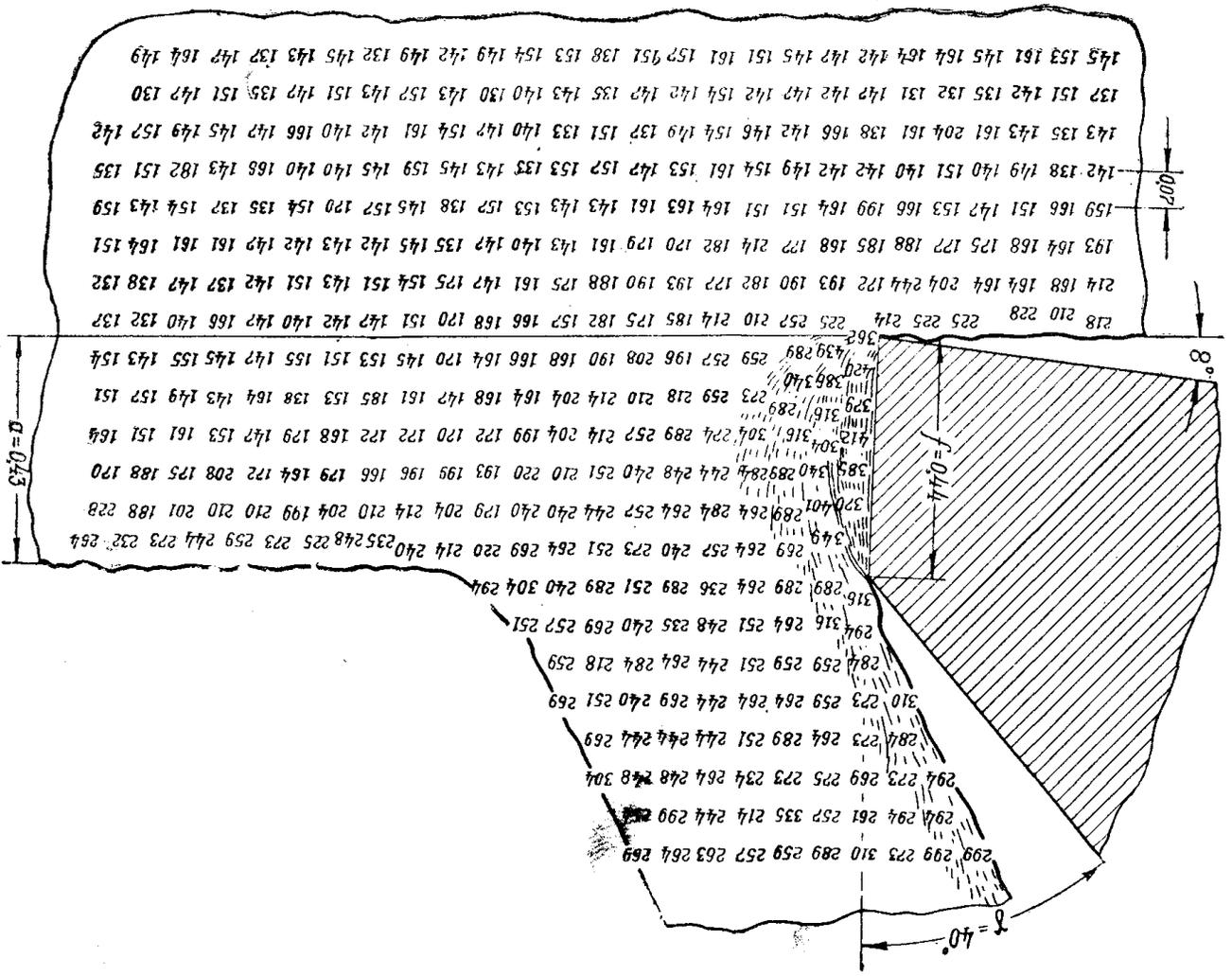


Фиг. 16

Кроме того, здесь отчетливо выявилась повышенная твердость в контактном слое стружки. В предыдущем случае нам это обнаружить не удалось из-за малой толщины контактного слоя.

Фиг. 19 и 20 интерпретируют результаты измерения твердости шлица, полученного при скорости резания в $0,01 \text{ м/мин}$ с большим отношением толщины среза к ширине фаски ($a/f = 1,73$; $\gamma = 60^\circ$; $\gamma_0 = 57^\circ$; $\zeta = 1,42$; $\zeta_s = 1,06$; $\zeta_a = 1,34$).

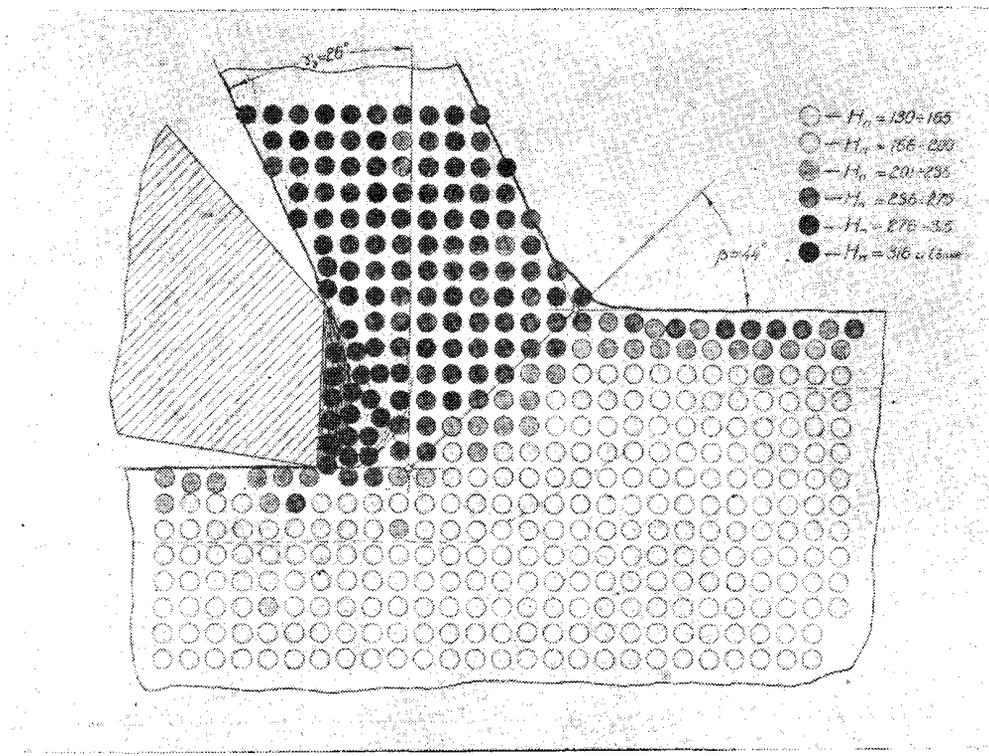
Соответствующие опыты производились при строгании образца на фрезерном станке, и перед снятием стружки верхняя поверхность образца была зачищена шкуркой для уничтожения наклепа от предыдущего прохода. Поэтому мы здесь не видим упрочненной зоны в поверхностных слоях впереди резца. Область предварительной деформации невелика по объему, что объясняется малой степенью деформации в стружке (малая усадка, большой угол схода). Зато твердость поверхности среза и контактного слоя стружки высока вследствие наличия зазубрин. Последние, как мы уже указывали, образуются в результате периодического распространения деформированной зоны нароста вглубь перед резцом (зазубрины на поверхности среза) и отрыва частиц нароста сходящей стружкой (зазубрины на стружке). Естественно, что твердость этих зазубрин сравнима с твердостью нароста.



В процессе резания без фаски в условиях отсутствия нароста угол сдвига в стружке, как известно, определяется из соотношения:

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{\cos \gamma}{\zeta_a - \sin \gamma}, \quad (1)$$

где β —угол сдвига, γ —передний угол резца и ζ_a —поперечная усадка стружки. При резании с наростом, когда передняя поверхность становится криволинейной, а действительный передний угол—большим, чем угол заточки резца, пользоваться приведенной формулой уже нельзя. Тем более нельзя ее применять для случая резания инструментом с фаской, когда нарост присутствует при всех скоростях резания.

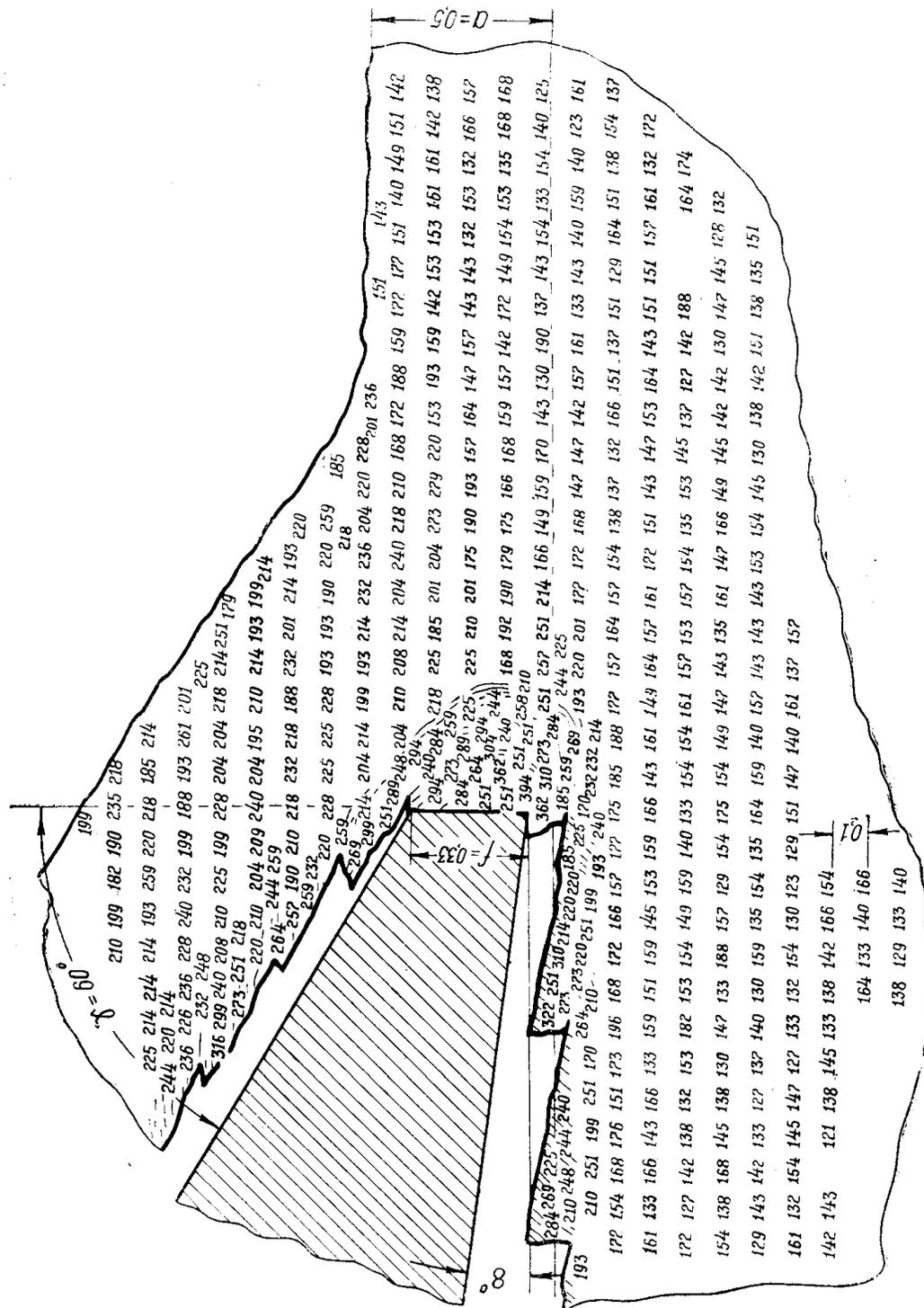


Фиг. 18

Ранее [2] нами было высказано предположение, что при работе резца с фаской деформация в стружке определяется средним значением угла схода γ_∂ и, следовательно, для подсчета угла сдвига можно пользоваться выражением (1), заменив в нем γ на γ_∂ :

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{\cos \gamma_\partial}{\zeta_a - \sin \gamma_\partial}. \quad (2)$$

С целью проверки правильности этого предположения мы выполнили на фиг. 16, 18 и 20 геометрические построения в соответствии с формулой (2), показав направление плоскости сдвига. Как нетрудно убедиться, несмотря на то, что форма нароста резко отличается от треугольника, во всех трех случаях построенные нами следы плоскостей сдвига чрезвычайно близко совпадают с линиями, разграничивающими зону предварительной деформации и зону стружки с повышенной твердостью.

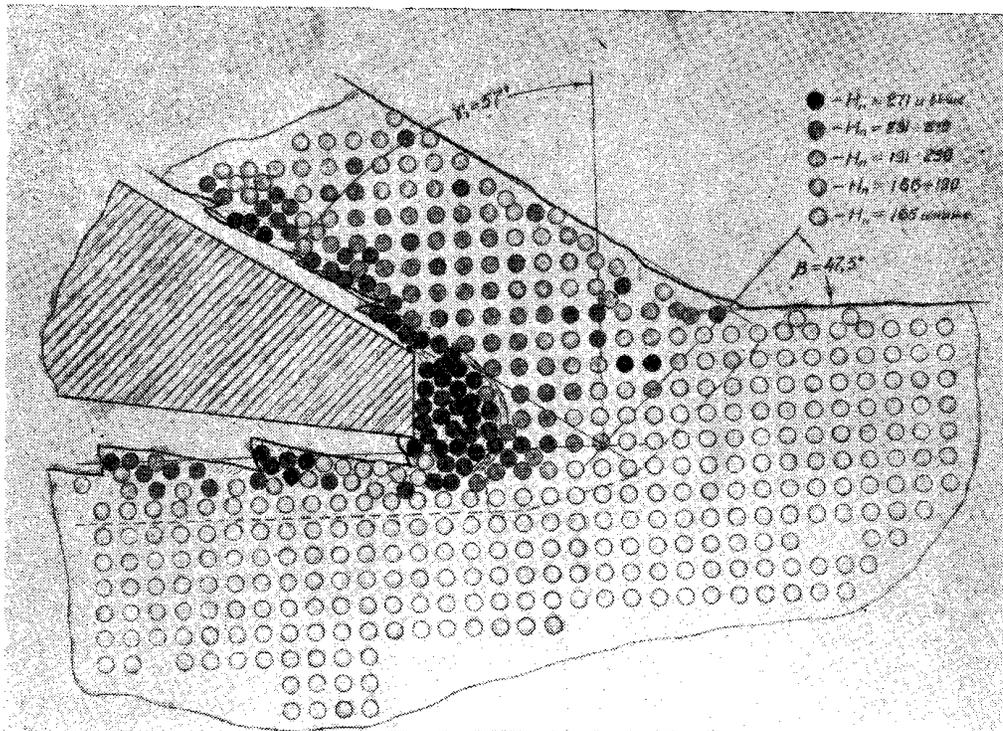


Фиг. 19

Для общей оценки распределения твердости была подсчитана средняя микротвердость в каждой зоне. Результаты этих вычислений приводятся в таблице 2, а в таблице 3 дано процентное соотношение между твердостями в различных зонах. В этих таблицах также даны значения усадки стружки и относительного сдвига (ϵ). Последний подсчитывался по известной формуле:

$$\epsilon = \operatorname{ctg} \beta + \operatorname{tg} (\beta - \gamma),$$

в которую вместо переднего угла γ подставлялось значение угла схода стружки γ_0 .



Фиг. 20

Таблица 2

№ п/п	Обрабатываемый материал	Отношение a/f	Скорость резания в м/мин	Угол схода стружки (γ_0)	Поперечная усадка стружки (ζ_a)	Относительный сдвиг (ϵ)	Твердость				
							исходная (в недеформи- рованной зоне)	в зоне предва- рительной деформации	В стружке		
		в основном объеме	в контакт- ном слое	В наросте							
1	Ст. 30	0,265	40	20°	2,6	2,77	125,9	175,8 185,8 (в пов. слое)	268,1	—	357,2
2	Ст. 30	0,98	180	26°	1,36	1,35	149,2	197,9	260,2	298,9	342,5
3	Ст. 30	1,73	0,01	57°	1,34	0,75	147,7	179,0	214,2	254,6	275,6

Таблица 3

№ п/п	Относительный сдвиг	Твердость						
		В зоне предварительной деформации в % к исходной	в стружке				В наросте	
			В основном объеме		В контактном слое		в % к исходной твердости	в % к твердости стружки
			в % к исходной твердости	в % к твердости в зоне предварительной деформации	в % к исходной твердости	в % к твердости основного объема стружки		
1	2,77	125,3 147,5 (в пов. слое)	213,5	170,7 145,5 (к тв. пов. слоя)	—	—	284	233
2	1,35	132,3	81	131,5	197	112,8	229,6	131,7
3	0,75	121,2	145,1	119,7	172,5	119	186,5	128,3

Границы зоны предварительной деформации, внутри которых усреднялась твердость, показаны на фиг. 16, 18 и 20 пунктиром. При этом нужно учесть, что в первом и втором случаях процесс резания непрерывный (обработка на токарном станке) и, следовательно, наружная поверхность правее резца получена на предыдущем обороте детали, т. е. в тех же условиях, что и поверхность среза левее резца. Твердость здесь усреднялась внутри всей зоны, ограниченной пунктиром. Для фиг. 16, помимо этого, подсчитана еще твердость в поверхностном слое перед резцом с толщиной, равной толщине среза, ибо именно из этого слоя черпается материал для образования стружки. В третьем случае стружка снималась с ненаклепанной поверхности, поэтому здесь к зоне предварительной деформации отнесена лишь область перед резцом.

Анализ таблиц 1 и 3 показывает, что во всех трех опытах, соответствующих столь различным условиям резания, твердость непрерывно возрастает при последовательном переходе от недеформированной зоны к зоне предварительной деформации и далее к стружке и к наросту. Твердость нароста в 2—3 раза выше исходной твердости и примерно на 30% выше твердости стружки. Это значит, что на резце с фаской нарост по своей твердости вполне может играть роль режущего элемента, дополняющего резец, хотя характер пластического течения в деформируемом материале перед наростом здесь несомненно иной, нежели при резании обычным резцом. Особенно характерно, что твердость нароста при высокой скорости резания, где можно было бы ожидать размягчения нароста вследствие высокой температуры, оказывается большей, чем при скорости в 0,01 м/мин (разница в скорости в 18000 раз). Это лишний раз указывает на отсутствие принципиальных различий между природой нароста в том и другом случаях.

Обращает на себя внимание также другое обстоятельство. Естественно ожидать, что твердость в деформированной зоне должна быть тем большей, чем выше степень деформации. Это и следует из таблицы 3, причем оказывается, что относительное повышение твердости при переходе от недеформированной зоны к предварительной деформированной (для второго опыта, фиг. 16, на толщине $a = 0,121$ мм), от последней к стружке и к наросту определяется не усадкой стружки, а величиной относительного сдвига. Например, во втором и третьем опытах усадки одинаковы, а относительные сдвиги и твердость существенно отличаются. Следовательно,

и в процессе резания инструментом с фаской степень деформации определяется не усадкой, а относительным сдвигом. Для обычного резца это было показано ранее А. М. Розенбергом и А. Н. Ереминым [10].

Обобщая результаты настоящего исследования, приходим к следующим выводам.

1. Структура нароста на резце с фаской принципиально одинакова при всех скоростях резания.

2. В условиях свободного схода стружки, когда последняя не касается передней грани резца ($\gamma_\theta < \gamma$), контуры поперечного сечения нароста остаются неизменными по всей его длине.

3. При несвободном сходе стружки ($\gamma_\theta > \gamma$) форма нароста неодинакова в различных сечениях.

4. Независимо от скорости резания, твердость нароста на резце с фаской примерно на 30% выше, чем твердость стружки.

5. Относительное повышение твердости в деформированных зонах (зона предварительной деформации, стружка, нарост) тем больше, чем больше степень деформации в стружке, выраженная через относительный сдвиг.

ЛИТЕРАТУРА

1. Еремин А. Н.—Физическая сущность явлений при резании стали. Машгиз, 1951.
2. Полетика М. Ф.—Исследование процесса резания инструментом с двойной передней гранью. Автореферат диссертации. Томск, 1951.
3. Розенберг А. М. и Полетика М. Ф.—Особенности процесса резания инструментом с фаской при скоростной токарной обработке. Известия Томского политехнического института, Том. 75, 1954.
4. Клушин М. И.—Резание металлов. Машгиз, 1953.
5. Дьяченко П. Е.—Исследование зависимости микрогеометрии поверхности от условий механической обработки. Изд. АН СССР, 1949.
6. Исаев А. И.—Процесс образования поверхностного слоя при обработке металлов резанием. Машгиз, 1950.
7. Зорев Н. Н.—Исследование элементов механики процесса резания. Машгиз, 1952.
8. Справочник машиностроителя. Том. II, Машгиз, 1952.
9. Хрущев М. М. и Беркович С. С.—Приборы ПМТ-2 и ПМТ-3 для испытания на микротвердость. Изд. АН СССР, 1950.
10. Розенберг А. М. и Еремин А. Н.—Пластическая деформация стружки при резании металлов. Известия Томского политехнического института. Том. 75, 1954.