

О НАРОСТООБРАЗОВАНИИ НА РЕЗЦЕ С УКРОЧЕННОЙ ПЕРЕДНЕЙ ГРАНЬЮ

М. Ф. ПОЛЕТИКА

(Представлено проф. докт. А. М. Розенбергом)

Резцы с укороченной передней гранью или, что то же самое, резцы с фаской на передней грани довольно широко применяются в производственной практике, ибо они показывают более высокую стойкость, нежели обычные резцы. В то же время искусственное изменение длины передней грани является весьма ценным методом для исследования контактных явлений на передней грани, который использовался многими исследователями [1, 2, 3].

Исследование процесса резания стали резцами с фаской, выполненное в лаборатории резания ТПИ автором [4, 5, 6] и независимо от него М. И. Клушиным в г. Горьком [7, 8], показало, что при малом переднем угле на фаске ($-10^\circ \div +20^\circ$) работа резца с фаской обязательно сопровождается возникновением нароста, который не исчезает ни при микроскоростях (меньших $0,1 \div 0,5$ м/мин), ни при скоростях резания в $300-400$ м/мин. Как известно, в таких условиях на обычном резце нарост никогда не наблюдается. Постоянное наличие нароста изменяет обычный характер зависимости силы резания и усадки от скорости резания. Вместо типичных горбообразных кривых мы здесь наблюдаем монотонное плавное понижение усадки стружки и всех составляющих силы резания с ростом скорости.

Устойчивость нароста на резце с укороченной передней гранью объясняется тем, что наличие фаски уподобляет такой резец пуансону, а процесс резания на микроскорости — процессу внедрения пуансона в металл. Зона застоя, обязательно возникающая перед пуансоном, при непрерывном движении резца превращается в нарост, причем конфигурация и условия существования нароста в этом случае уже не зависят от трения на фаске, на которую он опирается. Как показывают наши исследования, выполненные микроскопическим и металлографическим методами, а также исследования Клушина (кинематографический метод), подобные особенности нароста на резце с фаской сохраняются и при высоких скоростях резания, в сотни раз превосходящих обычные для механических испытаний скорости внедрения пуансона.

Ниже мы остановимся на некоторых особенностях процесса образования нароста на резце с фаской и на влиянии на этот процесс факторов резания.

Механизм образования нароста и его конфигурация

Наблюдения за процессом возникновения нароста на резце с укороченной передней гранью при резании с очень малыми скоростями [4, 6] показали, что нарост на резце с фаской образуется из зоны застоя сразу по мере внедрения резца в металл, но не имеет четких очертаний. По мере дальнейшего продвижения резца нарост либо разрушается, либо сдвигается целиком и уходит со стружкой, но его сейчас же заменяет новый нарост и т. д. Одну из фаз этого непрерывного процесса можно видеть на рис. 1, представляющем снимок боковой стороны зоны резания, сделанный через микроскоп при свободном строгании стали 20. На фотографии как раз зафиксирован момент, когда контуры нароста наметились и он, не отделившись от стружки, уже начал сдвигаться вместе с ней по фаске.

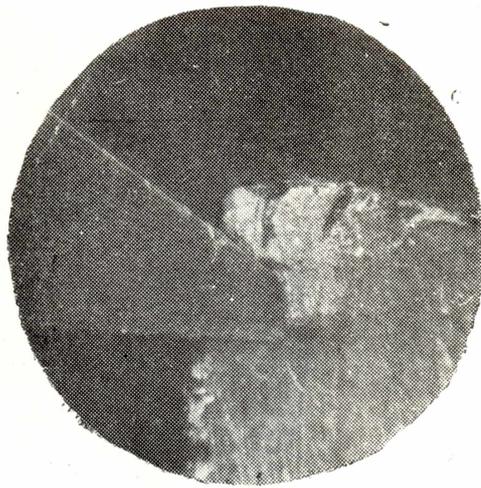


Рис. 1.

Наиболее правильным будет представлять процесс непрерывного образования и срыва нароста на резце с фаской при микроскоростях следующим образом. Зона застоя, возникающая при давлении резца на обрабатываемый материал, в дальнейшем перемещается вместе с резцом. Передний край этой зоны является фронтом волны распространяющейся перед резцом очень глубокой пластической деформации, в которой преобладает сжатие. Из материала зоны застоя с определенной периодичностью формируются наросты, вследствие чего ее объем непрерывно изменяется, увеличиваясь перед отделением нароста и уменьшаясь после его отделения.

С ростом скорости резания частота появления и срыва нароста возрастает, но несколько изменяется характер его разрушения. Разрушается и уносится со стружкой только вершина нароста, а его основание сохраняет устойчивость в течение некоторого периода времени. С дальнейшим повышением скорости резания, причем при сравнительно небольших ее абсолютных значениях (порядка нескольких метров в минуту при резании мягкой стали резцом с передним углом на фаске в 0°), нарост настолько стабилизируется, что его срывы, которые могут захватывать как вершину нароста, так и весь нарост, происходят уже редко и вызываются, по-видимому, случайными причинами.

На рис. 2 представлена микрофотография зоны резания для случая течения резцом с фаской стали средней твердости при скорости резания в 40 м/мин. На ней видно, что нарост четко отграничен от недеформированного материала обрабатываемой детали. Граница между наростом и стружкой, напротив, ясна не на всем ее протяжении. На участках, примыкающих к вершине нароста, сильно деформированные слои нароста плавно переходят в текстурованную контактную зону стружки. Разрывы здесь незаметны. Имеет место непрерывный процесс пластического течения.

На приведенной микрофотографии показан случай «свободного» схода стружки, когда нарост полностью закрывает поверхность фаски, но не распространяется на переднюю грань за фаской. В этих условиях резец контактирует только с наростом, последний является как бы продолжением тела резца. Двигаясь перед резцом, нарост отделяет

стружку и деформирует ее по всей толщине, то есть оказывает то же действие, что и обычный резец. Однако наряду с этим тупая вершина нароста вызывает глубокую местную деформацию подлежащих слоев. Перед наростом движется небольшая по объему, но сильно текстурированная зона. Материал этой зоны частично расходуется на пополнение вершины нароста, частично уходит в контактный слой стружки. Постоянное наращивание вершины нароста компенсируется срывами ее участков, прилегающих к стружке и к поверхности резания, а также непрерывным выдавливанием материала из-под основания нароста, которое



Рис. 2.

приводит к появлению побочной стружки, похожей на заусенец. Кроме того, иногда нарост в средней его части распространяется на переднюю грань за фаской, образуя своеобразные язычки, периодически удаляемые стружкой.

Таким образом, несмотря на относительно высокую стабильность нароста на резце с фаской, он и здесь непрерывно изменяет свою конфигурацию, и, следовательно, экспериментально получаемые значения угла схода стружки, ее усадки и других параметров резания соответствуют некоторым усредненным размерам и форме нароста. Однако колебания в форме и размерах нароста при данном режиме резания на резце с фаской значительно меньше, чем на обычном резце.

Так как нарост пополняется материалом только за счет наращивания вершины, а теряет его в значительной части за счет побочной стружки и «язычков», формирующихся из слоев, прилегающих к поверхности фаски, то внутри нароста имеет место медленное перемещение слоев по направлению от вершины к основанию. Перемещаясь, слои получают дополнительную деформацию, что отчетливо видно на рис. 2: по мере перехода от вершины к основанию нароста текстура становится все более и более плотной. Степень деформации контактных слоев нароста на фаске, судя по текстуре, чрезвычайно высока. Выполненное нами измерение микротвердости в зоне резания (6) показало, что в этих условиях при

исходной микротвердости стали (ст. 30) $H_n = 126$ средняя микротвердость стружки равна 268, средняя твердость нароста составляет 357, а твердость контактного слоя нароста достигает 500, то есть превышает среднюю твердость нароста в 1,4 раза, а твердость стружки — почти в два раза. Это говорит о чрезвычайно высоком упрочнении контактных слоев нароста и, следовательно, подтверждает предположение о высокой степени их деформации.

Угол схода и усадка стружки

При резании обычным резцом стружка скользит по передней грани резца, а при наличии нароста сначала контактирует с наростом, после чего продолжает свое движение по передней грани. Иную картину мы наблюдаем на резце с укороченной передней гранью. На этом резце стружка не касается передней грани за фаской, если не считать кромки их пересечения, где контакт имеет место. При наличии нароста на таком резце стружка соприкасается только с ним, и направление ее схода (в главной секущей плоскости) определяется геометрией нароста. Мы имеем, так сказать, естественный (свободный) сход стружки. Угол схода стружки в процессе резания непрерывно колеблется в некоторых пределах, но его среднее значение для данных условий резания остается вполне определенным.

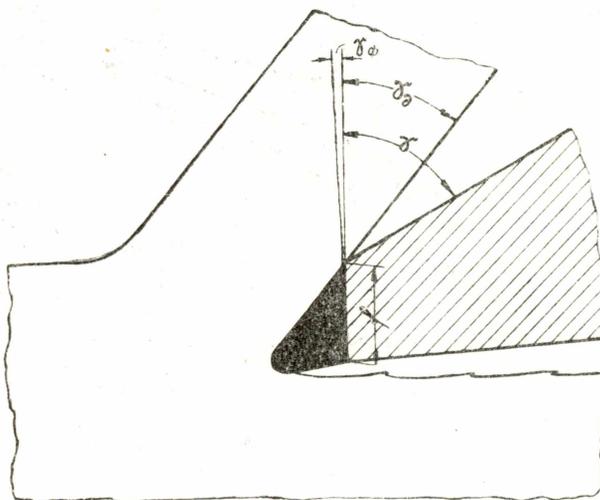


Рис. 3.

Угол схода стружки (рис. 3) является функцией скорости резания, незначительно уменьшаясь с ее ростом. Гораздо сильнее на него влияет соотношение между шириной фаски резца и толщиной среза. С увеличением отношения a/f , где a — толщина среза и f — ширина фаски, угол схода стружки возрастает, сначала интенсивно, а потом несколько медленнее, что иллюстрируется рис. 4, где показаны результаты измерения угла схода стружки при обработке мягкой стали.

Степень деформации стружки, несмотря на тупую вершину нароста, очень невелика. Усадка здесь много меньше, чем при резании обычным резцом. При этом с ростом скорости резания, как можно видеть на рис. 5, усадка стружки плавно уменьшается, но так слабо, что ее практически можно считать постоянной.

Наиболее интересным является то обстоятельство, что усадка стружки оказывается одинаковой для всех трех исследованных сталей с интервалом твердостей $H_B = 114 \div 240$, хотя угол схода при обработке наиболее твердой стали на 10° меньше, чем для мягкой. Особенно убедителен в этом отношении график зависимости усадки стружки от параметра a/f (рис. 6), на котором, помимо наших, нанесены также результаты опытов М. И. Клушина по стали 08 и по меди М2. При интерпретации результатов опытов Клушина была учтена разница в уширении стружки, так как Клушин проводил опыты при свободном резании, а мы — при не-

свободном. Степень деформации стружки при резании резцом с фаской оказывается одинаковой и для столь различных по своим механическим свойствам металлам, как твердая сталь и медь. Между тем, при резании тех же металлов обычным резцом усадка получается неодинаковой и различия очень существенно. Так, по данным А. Н. Еремина [9] и Н. Н. Зорева [1], при переднем угле резца $\gamma = 20^\circ$ и при высокой скорости резания, соответствующей пологому участку типичной горбообразной кривой зависимости усадки стружки от скорости резания,

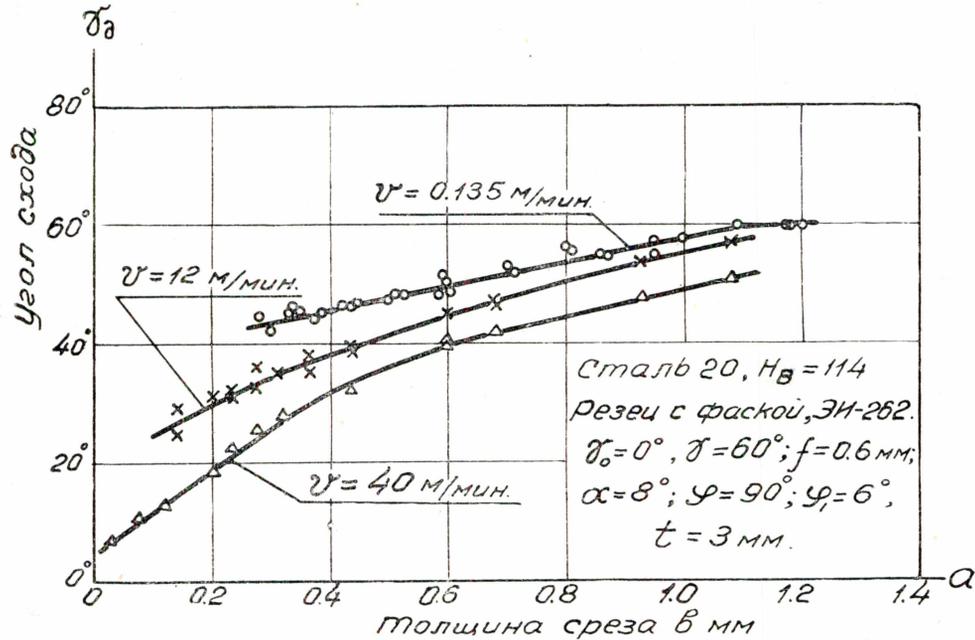


Рис. 4.

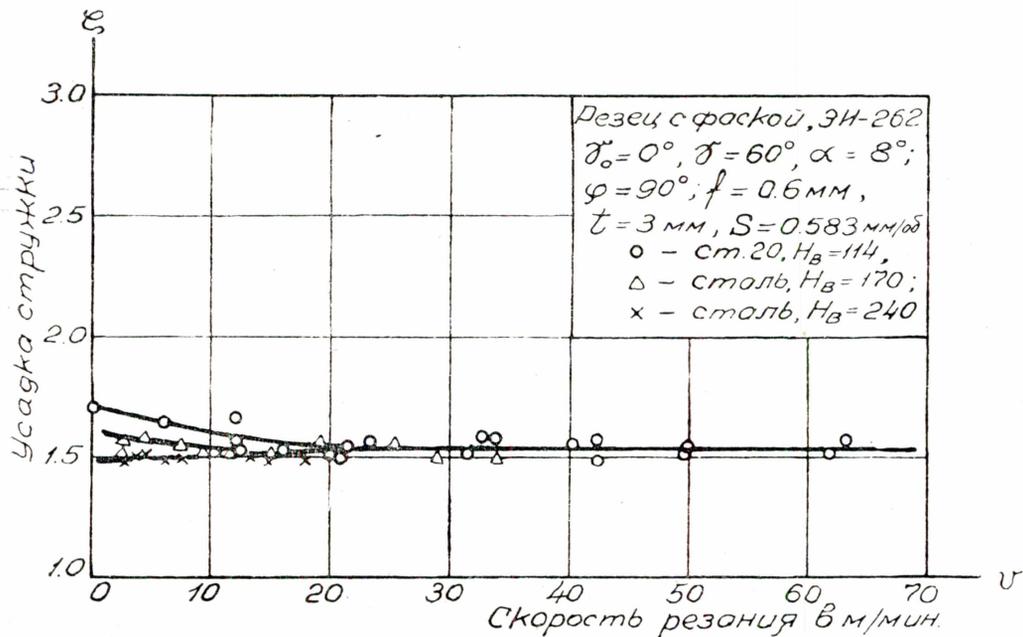


Рис. 5.

когда усадка примерно постоянна, она для стали средней твердости (ст. 40) равна 1,95, для мягкой стали (ст. 20) — 2,8, а для меди — 4,5.

Таким образом, если направление схода стружки задается принудительно (нормальный резец), величина усадки стружки в сильной

степени зависит от обрабатываемого материала. Если же обеспечивается свободный сход стружки (резец с укороченной передней гранью), то усадка постоянна для всех обрабатываемых материалов. Можно предполагать, что на резце с фаской нарост всегда принимает такую конфигурацию, которая соответствует минимальной возможной в данных условиях степени деформации металла в стружке. Следовательно, минимальная усадка одинакова для всех металлов и определяется только

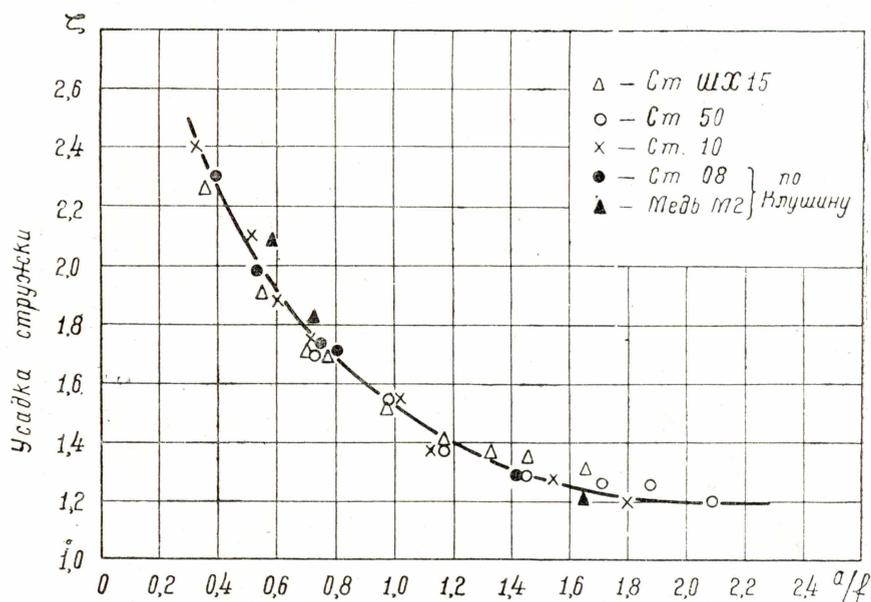


Рис. 6.

геометрическим фактором: отношением толщины среза к ширине фаски резца.

Сила резания на резце с фаской

Перемещение нароста относительно обрабатываемого материала вызывает сопротивление. Возникающие при этом удельные силы распределяются по контуру тупой вершины нароста и по поверхности контакта нароста со стружкой примерно так, как это показано на рис.7.

Часть этих сил в области вершины нароста взаимно уравнивается, остальная преобладающая часть уравнивается силами P_z и P_x на фаске резца. Измерение силы резания производится динамометром, который, очевидно, будет регистрировать суммарные силы на фаске. Определить же силы, действующие в зоне резания, здесь не представляется возможным.

На рис. 8 приведены результаты измерения составляющих силы резания P_x , P_y и P_z в зависимости от толщины среза при постоянной ширине фаски для случая обработки мягкой стали. При рассмотрении этого графика обращает на себя внимание два факта: сравнительно большие значения силы P_x и необычный закон изменения этой силы. Сначала она увеличивается, а с дальнейшим ростом толщины среза начинает плавно падать. Оба эти обстоятельства объясняются своеобразной ролью сил, действующих на нарост со стороны поверхности резания, сил «на задней грани нароста».

На обычном резце силы на задней грани малы и при столь больших значениях угла схода стружки, какие мы наблюдаем на резце с фаской, сила P_x на нормальном резце очень мала, либо отрицательна. На резце с фаской эта сила всегда положительна и достигает довольно высоких значений, так как силы «на задней грани нароста» очень велики.

Клушиным подробно рассмотрен процесс перехода от разрезания к резанию. Момент перехода от разрезания к резанию, как правильно замечает Клушин, должен характеризоваться распространением сдвиговой деформации на всю толщину отделяемого слоя. Продолжая эти рассуждения дальше, мы должны будем прийти к выводу, что приблизительно этому же моменту соответствует появление боковой силы, то есть силы P_x . В процессе разрезания деформация симметрична

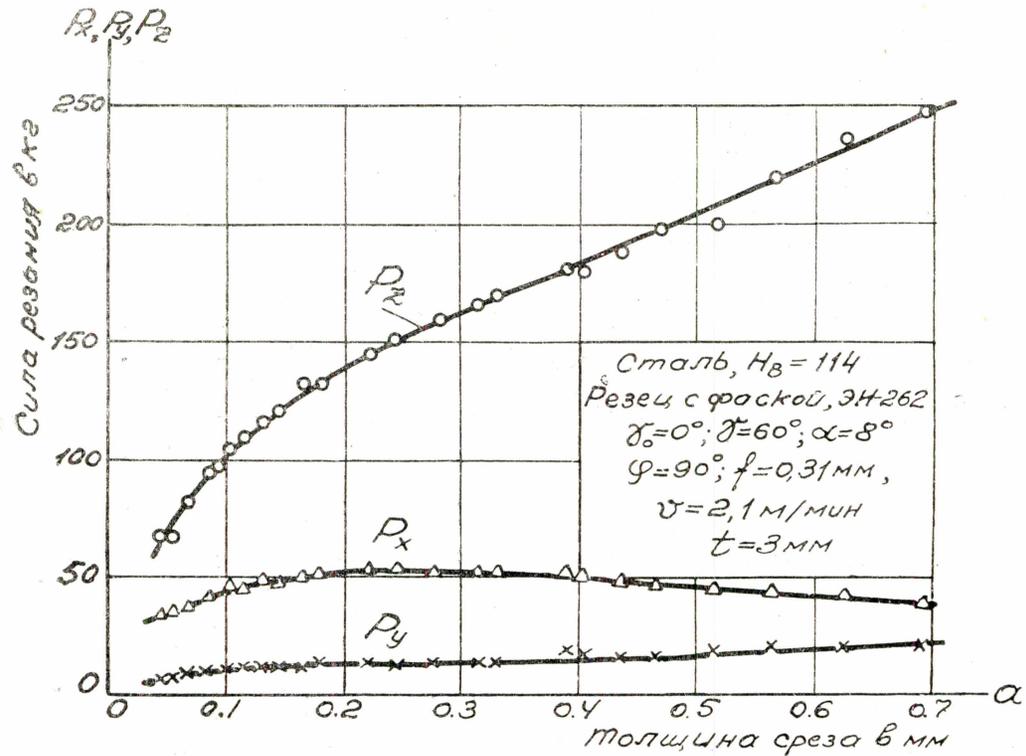


Рис. 7.

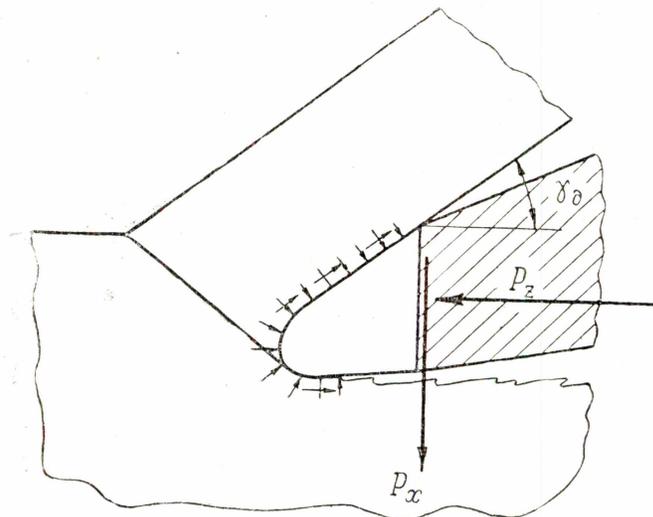


Рис. 8.

и эта сила отсутствует. По мере дальнейшего перехода к резанию (для чего необходимо уменьшать отношение a/f) сила P_x будет возрастать, что мы и видим на рис. 7. И только при малых значениях толщины среза, когда нарост уменьшается и условия резания приближаются к нор-

мальным, сила P_x начинает уменьшаться с уменьшением толщины среза, как ей положено.

Спадающий участок кривой зависимости силы P_x от отношения a/f близок к прямой. Продолжая его до пересечения с горизонтальной осью, находим величину отношения a/f , соответствующего переходу от резания к разрезанию. Для стали 20 эта величина приблизительно равна 4, для стали ШХ15 она в два раза меньше.

Данные измерения силы резания позволяют рассчитать нормальные и касательные удельные силы на поверхности контакта нароста с фаской. Как следует из табл. 1, рассчитанной для случая работы резца с шириной фаски $f = 0,6$ мм и передним углом на фаске $\gamma_\phi = 0^\circ$, нормальные давления на фаске чрезвычайно высоки и непрерывно растут с увеличением отношения a/f . Касательные удельные силы тоже значительно больше, чем на передней грани обычного резца. Все это согласуется с высокой степенью деформации нижних слоев нароста и объясняется тем, что сравнительно большие силы, возникающие при деформировании толстых срезаемых слоев, здесь вынужденно распределяются на ограниченной площади фаски.

Таблица 1

Обработ. материал	Твердость Н _В	Скорость резания в м/мин	Отношение a/f	Удельные силы	
				q_N в кг/мм ²	q_F в кг/мм ²
Сталь 10	114	12	0,2	78	41,5
			0,5	129	49
			0,8	164	50
			1,1	204	52
Сталь 50	170	10	0,2	97,5	45
			0,5	165	70
			0,8	222	78
			1,1	278	80
Сталь ШХ15	240	9,4	0,2	128	78
			0,5	191	84
			0,8	244	85
			1,1	300	85

Идеализируем схему процесса стружкообразования на резце с фаской так, как это показано на рис. 9, то есть заменим фактические контуры нароста прямоугольным треугольником. Предположим далее, что нарост жестко связан с резцом и силы «на задней грани нароста» не передаются в зону резания. Тогда можно рассмотреть обычным методом равновесие элемента стружки и написать следующие уравнения статического равновесия:

$$\Sigma Z = N_\gamma \cos \gamma_\partial + F_\gamma \sin \gamma_\partial - N_\beta \sin \beta - F_\beta \cos \beta = 0;$$

$$\Sigma X = N_\gamma \sin \gamma_\partial - F_\gamma \cos \gamma_\partial + N_\beta \cos \beta - F_\beta \sin \beta = 0;$$

$$\Sigma M_A = N_\beta ml - N_\gamma nc = 0,$$

где через N_β и F_β обозначены нормальная и касательная силы в плоскости сдвига, через N_γ и F_γ — силы на поверхности контакта стружки

с наростом, через l и c — соответственно длина плоскости сдвига и длина поверхности контакта стружки и, наконец, через m и n — относительные расстояния точек приложения нормальных сил от вершины нароста.

Очевидно, можно принять $m = 0,5$. Далее можно заменить: $l = \frac{a}{\sin \beta}$ и $c = \frac{f}{\cos \gamma_0}$. Наконец, основываясь на экспериментальных данных, примем также угол сдвига равным углу схода стружки: $\beta = \gamma_0$. Опыты показывают, что это условие выполняется с точностью $\pm 5^\circ$ и для

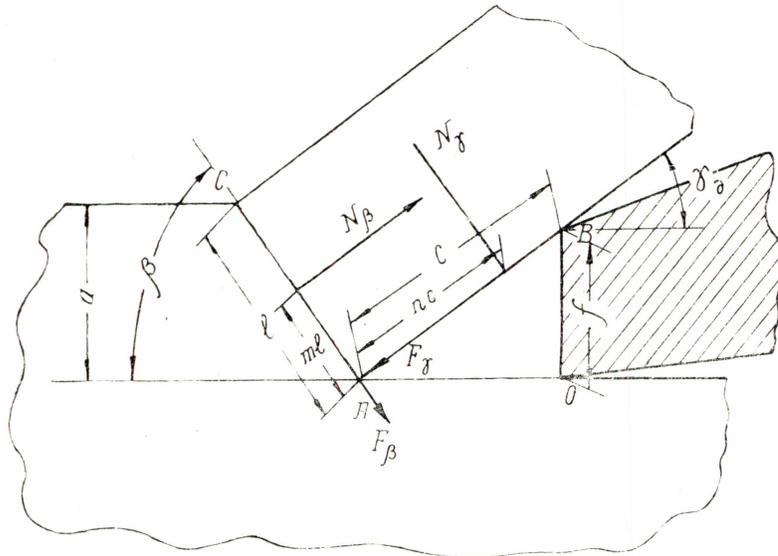


Рис. 9.

приближенной оценки взаимосвязи между параметрами процесса образования стружки можно его принять.

С учетом всех этих ограничений получаем:

$$N_\gamma = F_\beta; \quad F_\gamma = N_\beta; \quad N_\beta a \cos \gamma_0 - 2N_\gamma n f \sin \gamma_0 = 0,$$

откуда

$$\operatorname{tg} \gamma_0 = \frac{1}{2n} \cdot \frac{a}{f} \cdot \frac{F_\gamma}{N_\gamma} = \frac{1}{2n} \cdot \frac{a}{f} \cdot \mu_\gamma.$$

В последней формуле μ_γ — „коэффициент трения“ стружки о нарост, т. е. некоторая условная величина, определяющая соотношение нормальной и касательной сил на поверхности контакта стружки с наростом.

Поскольку вдоль всей или почти всей поверхности контакта имеет место пластическое течение, переходящее в разрушение, можно считать, что касательное напряжение на этой поверхности в отличие от контактной зоны обычного резца примерно постоянно во всех точках и равно пределу прочности на сдвиг обрабатываемого материала. Тогда тангенциальная сила F_γ должна быть пропорциональна длине c поверхности контакта и, следовательно, должна увеличиваться с ростом отношения a/f и угла схода стружки. А так как нормальная сила N_γ при этом тоже будет возрастать, ибо растет толщина среза a (рис. 8), то в итоге коэффициент μ_γ должен меняться незначительно.

Полагая в последней формуле $\mu_\gamma = \text{const}$ и $n = \text{const}$ и заменяя $\frac{1}{2n} \mu_\gamma = B$, получим: $\text{tg } \gamma_\theta = B \frac{a}{f}$, то есть тангенс угла схода стружки пропорционален параметру a/f . Это соотношение, выведенное из условия равновесия элемента стружки, качественно вполне подтверждается опытами (рис. 4), но для количественных расчетов использовано быть не может главным образом потому, что при выводе не учитывались силы, действующие на нарост со стороны поверхности резания.

Выводы

1. Нарост на резце с укороченной передней гранью характеризуется высокой стабильностью, но вместе с тем между наростом и окружающими средами происходит непрерывный обмен материалом.

2. В наросте, особенно в его слоях, прилегающих к резцу, господствует высокое давление; слои эти чрезвычайно сильно сдеформированы и имеют повышенную микротвердость.

3. Усадка стружки при резании резцом с фаской не зависит от обрабатываемого материала, а определяется только параметром a/f .

4. Направление схода стружки (угол схода) определяется условиями равновесия элемента стружки и в связи с этим является функцией параметра a/f .

В заключение нужно отметить, что применение резца с фаской для исследования контактных явлений на передней грани правомерно только при условии отсутствия нароста, то есть при определенной комбинации параметров γ_ϕ и a/f , что учитывают не все из упомянутых исследований [1, 2, 3].

ЛИТЕРАТУРА

1. Зорев Н. Н. Вопросы механики процесса резания металлов. Машгиз, 1956.
2. Такеяма Н. — The effect of tool — chip contact area in metal machining. — «Paper Amer. Soc. Mech. Engrs.», № А—45, 1957.
3. Chao B. T., Trigger K. G. — Controlled contact cutting tools. — «Paper Amer. Soc. Mech. Engrs.», № SA—42, 1958.
4. Полетика М. Ф. Исследование процесса резания инструментом с двойной передней гранью. Томск, 1959.
5. Розенберг А. М., Полетика М. Ф. Особенности процесса резания инструментом с фаской при скоростной токарной обработке. Известия ТПИ, т. 75, 1954.
6. Полетика М. Ф. Микроструктура и микротвердость в зоне резания при работе резцом с фаской. Известия ТПИ, т. 85, 1957.
7. Клушин М. И. Новые исследования процесса резания металлов. «Станки и инструмент», № 1, 1947.
8. Клушин М. И. Резание металлов. Машгиз, 1958.
9. Еремин А. Н. Физическая сущность явлений при резании стали. Машгиз, 1951.