

## ЗОНА СТРУЖКООБРАЗОВАНИЯ ПРИ РЕЗАНИИ МЕТАЛЛОВ

Г. Л. КУФАРЕВ, В. А. ГОВОРУХИН, М. Г. ГОЛЬДШМИДТ

(Представлена научным семинаром кафедр станков и резания  
металлов и технологии машиностроения)

Исследования деформации металла в зоне резания при работе на микроскоростях, выполненные с использованием делительных сеток [1, 2], убедительно показали, что толщина пластически деформируемой зоны в этом случае в 2—3 раза превосходит толщину срезаемого слоя.

Мнения различных исследователей о величине зоны стружкообразования при резании с высокими скоростями противоречивы. Так, например, Н. Н. Зорев [3] полагает, что «поскольку при больших скоростях резания зона стружкообразования сильно сужается, можно с хорошим приближением считать ширину зоны стружкообразования величиной второго порядка малости по сравнению с толщиной стружки». Однако кроме ссылки на микрофотографию корня стружки Н. Н. Зорев это положение ничем не обосновывает. Вместе с тем, анализируя работу П. Оксли по определению толщины зоны стружкообразования, Н. Н. Зорев [4] критикует его метод, справедливо указывая, что определение толщины зоны стружкообразования по искажению микроструктуры корня стружки дает значительное занижение первой из-за того, что заметное искажение микроструктуры наступает только при значительных деформациях.

Д. Кецециоглу [5], а затем П. Оксли и В. Пальмер [6] использовали указанный выше металлографический метод для определения толщины зоны стружкообразования. Позднее П. Оксли наносил риски на поверхность детали и наблюдал за траекторией перемещения частиц материала в процессе деформации, фотографируя их кинокамерой. Обработка кинокадров позволила ему судить о толщине зоны сдвига. Следует отметить, что возможности этого метода очень ограничены из-за трудности удовлетворительного освещения при киносъемке на больших скоростях и возможного уширения стружки, которое не позволяет достаточно четко видеть картину траектории движения.

При резании на высоких скоростях П. Оксли пришел к выводу, что начальная и конечная границы зоны стружкообразования параллельны и отношение толщины зоны деформации к ее длине равно примерно 0,1. Однако отмечается, что это отклонение при изменении подачи переднего угла может несколько изменяться. Под толщиной зоны стружкообразования П. Оксли понимает толщину пластической области между начальной  $FE$  и конечной  $CD$  границами в направлении перпендикуляра к условной плоскости сдвига  $OB$  (рис. 1).

Для исследования толщины зоны стружкообразования при резании на высоких скоростях в данной работе использовался метод координатных делительных сеток. Эксперименты проводились на токарном станке 1К62 при свободном тчении с поперечной подачей наборного образца, состоящего из 2-х дисков, внутренние поверхности которых тщательно доводились до плотного прилегания. На одном из образцов наносилась координатная сетка в полярной системе координат. Одна система линий координатной сетки представляла архимедову спираль с шагом 0,05 мм, вторая система — лучи, исходящие из центра заготовки под углом 5 минут друг к другу. Скорости резания изменялись от  $V=5$  м/мин. до  $V=250$  м/мин., подачи — от  $S=0,1$  мм/об. до  $S=0,39$  мм/об., передний угол — от  $\gamma=+5^\circ$  до  $\gamma=+22^\circ$ . В качестве обрабатываемых материалов были выбраны латунь Л62, сталь 2Х13,

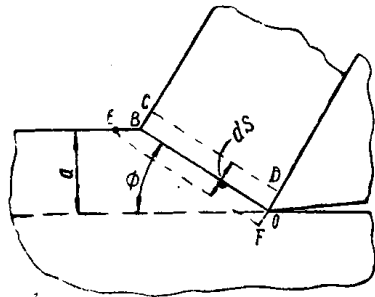


Рис. 1

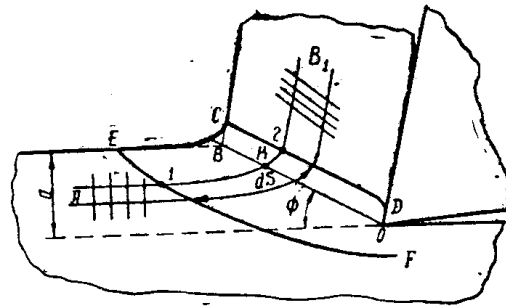


Рис. 2

сталь ШХ15 и ст. 40. «Мгновенный» останов процесса резания на любой скорости в том месте, где была нанесена делительная сетка, производился с помощью специального устройства с электроконтактным устройством. После остановки процесса резания полученный корень стружки фотографировался на приборе ПМТ-3, изготовлялась фотография «корня» стружки с общим увеличением в 220-270 раз и проводилось измерение искаженных ячеек делительной сетки. Расчет всех компонентов тензора деформации и интенсивности деформации  $e_i$  проводился по специальной разработанной методике [7] на ЭЦВМ «Минск-1».

По результатам расчета интенсивности деформации в каждой клетке слоя АВ делительной сетки (рис. 2) строились графики изменения интенсивности деформации по пути деформации  $dS$ , заключенной между точками 1 и 2 начальной и конечной границ пластической области. В дальнейшем величина  $dS$  называется толщиной зоны стружкообразования. По графикам  $e_i = f(dS)$  определялась толщина зоны деформации. Конечной точкой пластической зоны данного слоя считалась точка, в которой величина интенсивности деформации  $e_i$  не изменялась. За начальную границу пластической области принималась линия, на которой интенсивность деформации была равна  $e_i = 0,2$ . Эта величина  $e_i$  была принята за условную начальную границу потому, что расчет  $e_i$  показывает неустойчивость решения при  $e_i < 0,2$  из-за имеющейся неточности измерения искажений делительной сетки. В результате того, что за начальную границу пластической области была принята линия FE с  $e_i = 0,2$ , действительная толщина зоны стружкообразования получалась несколько заниженной.

Оказалось, что толщина зоны стружкообразования по толщине снимаемого слоя  $a$  является переменной величиной. Она минимальна у

вершины резца и несколько увеличивается при движении к свободной границе стружки. Вблизи свободной границы стружки в результате деформации от предыдущего прохода толщина зоны стружкообразования вновь несколько уменьшается. Верхняя граница зоны стружкообразования примерно параллельна условной плоскости сдвига.

В дальнейшем под толщиной зоны стружкообразования для каждого корня подразумевается средняя арифметическая толщина зоны для всех слоев делительной сетки. На рис. 3 показано изменение толщины зоны стружкообразования для всех исследованных материалов в зависимости от скорости резания. Подача и передний угол инструмента в этих опытах сохранялись постоянными. Как следует из представленного графика, толщина зоны стружкообразования уменьшается с повышением скорости резания, но даже при  $V=250$  м/мин. при резании латуни она составляет более половины толщины среза.

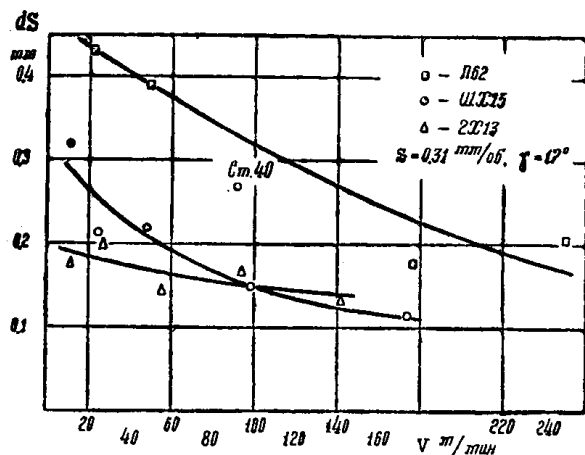


Рис. 3. Зависимость толщины зоны стружкообразования от скорости резания и свойств обрабатываемого металла

Толщина зоны стружкообразования существенно зависит от прочностных свойств обрабатываемого материала. Так, например, интенсивность напряжения  $\sigma_i$  при сжатии образцов из данных материалов до  $e_i=1$  составляла: для латуни Л62— $\sigma_i=67$  кг/мм<sup>2</sup>, для стали ШХ15— $\sigma_i=124$  кг/мм<sup>2</sup>; для стали 2Х13— $\sigma_i=104$  кг/мм<sup>2</sup>, для стали 40— $\sigma_i=76$  кг/мм<sup>2</sup>, т. е. толщина зоны стружкообразования при постоянной скорости резания располагалась примерно в том же порядке, что и прочностные

свойства обрабатываемых материалов.

С увеличением толщины среза от  $a=0,1$  мм до  $a=0,39$  мм толщина зоны стружкообразования увеличилась от  $dS=0,06$  мм до  $dS=0,27$  мм. Эти опыты были проведены по стали 2Х13 со скоростью резания  $V=100$  м/мин. и передним углом  $\gamma=17^\circ$ .

Таким образом, наблюдается почти пропорциональное возрастание толщины зоны стружкообразования с ростом толщины среза. Однако полученная связь является не совсем точной, так как на толщину зоны стружкообразования могла самостоятельно повлиять степень деформации материала в стружке, которая, как известно, при работе со скоростями, превышающими область наростообразования, уменьшается с увеличением толщины среза.

Для определения влияния переднего угла на толщину зоны стружкообразования были проведены опыты по резанию стали 2Х13 на скорости резания  $V=55$  м/мин. при толщине среза  $a=0,31$  мм. Эти опыты показали, что при  $\gamma=+5^\circ$   $dS=0,16$  мм, при  $\gamma=+17^\circ$   $dS=0,145$  мм и при  $\gamma=+22^\circ$   $dS=0,2$  мм, т. е. не было обнаружено существенного изменения толщины зоны стружкообразования с увеличением переднего угла, хотя некоторое увеличение  $dS$  при увеличении переднего угла имеется.

Результаты исследования показывают таким образом, что:

1) толщина зоны стружкообразования сопоставима с толщиной

среза при резании всех исследованных материалов со скоростями до  $V=250$  м/мин.;

2) определение зоны пластической деформации по искажению микроструктуры [5], а также по искажению рисок, параллельных направлению скорости резания [6], дает заниженные значения ее размеров.

Наиболее полно величина зоны стружкообразования оценивается искажением рисок, перпендикулярных к направлению скорости резания. Таким образом, разница в оценке величины зоны деформации, полученная различными авторами, объясняется различием и несовершенством применявшихся ими методов исследования.

Следует отметить, что существование значительной зоны деформации не ставит под сомнение зависимость для определения усадки стружки, полученную И. А. Тиме при анализе схемы резания с единственной плоскостью сдвига, поскольку, как это показано в работе В. И. Садчикова [8], эта зависимость отражает условие сплошности материала стружки, безусловно выполнимое и при наличии существенной зоны стружкообразования. Исследования показали также [9], что конечная степень деформации металла стружки, рассчитанная по ее усадке с использованием зависимости, полученной из анализа схемы с единой плоскостью сдвига, численно совпадает с конечной степенью деформации металла стружки, определенной экспериментально по искажению делительной сетки. Таким образом, схема с единой плоскостью сдвига позволяет правильно оценить конечную степень деформации стружки.

Знание же действительных размеров пластически деформируемой зоны стружкообразования необходимо при расчете скорости деформации, являющейся одним из главных условий протекания процесса деформирования и предопределяющей конечную связь напряжений и деформаций.

Так, например, П. Оксли, исходя из зоны стружкообразования с параллельными границами, толщина которой  $dS = \frac{a}{10 \cdot \sin \Phi}$ , определяет среднюю скорость сдвига по формуле [10]

$$\dot{\epsilon}_{\text{ср}} = \frac{V \cdot \cos \gamma}{dS \cdot \cos (\Phi - \gamma)} \cdot 16,65 \text{ сек}^{-1},$$

где

$\dot{\epsilon}_{\text{ср}}$  — скорость сдвига, в  $\text{сек}^{-1}$

$V$  — скорость резания, в м/мин.

$dS$  — толщина зоны стружкообразования, в мм.

$a$  — толщина среза, в мм.

$\Phi$  — угол, определяющий положение условной плоскости сдвига, в град.

$\gamma$  — передний угол инструмента, в град.

Для плоской деформации скорость сдвига пересчитывается в скорость интенсивности деформаций по формуле:

$$\dot{\epsilon}_{i\text{ср}} = \frac{1}{\sqrt{3}} \dot{\epsilon} \text{ сек}^{-1}.$$

При обработке результатов своих экспериментов мы имели все необходимые данные для расчета средней скорости деформации по формуле П. Оксли и могли рассчитать фактическую среднюю скорость деформации  $\dot{\epsilon}_{i\text{ф.ср}}$ . Сопоставление этих результатов представлено в табл. I.

Таблица 1

№ п/п	$V$ м/мин.	$\dot{\epsilon}_{i, \text{ср}}$ 1/сек.	$\dot{\epsilon}_{i\phi, \text{ср}}$ 1/сек.	$\frac{\dot{\epsilon}_{i, \text{ср}}}{\dot{\epsilon}_{i\phi, \text{ср}}}$
1	21	1860	300	6,2
2	49	4300	750	5,7
3	103	8700	2000	4,35
4	176	15600	3700	4,20
5	251	23700	6000	3,95

Данные, представленные в табл. 1, были получены при резании латуни Л62 с подачей  $S=0,31$  мм/об. и передним углом  $\gamma=17^\circ$ .

Как следует из табл. 1, предложенная П. Оксли формула для определения толщины зоны стружкообразования требует корректировки, так как получающиеся значения средней скорости деформирования завышены по отношению к фактической в среднем в 5 раз. Отсюда следует, что для расчета средней скорости деформации в процессе резания можно воспользоваться приближенной зависимостью

$$dS = \frac{a}{2 \cdot \sin \Phi}$$

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Г. Л. Куфарев. Деформация металла в зоне резания при образовании сливной стружки. Кандидатская диссертация, Томск, 1958.
2. М. Г. Гольдшмидт. Исследование напряженно-деформированного состояния в зоне резания. Кандидатская диссертация, Томск, 1966.
3. Н. Н. Зорев. Вопросы механики процесса резания металлов, М., Машгиз, 1956.
4. Н. Н. Зорев. Исследование процесса резания металлов в США, выпуск 1, НИИМАШ, Москва, 1965.
5. D. Kesecioglu, "Shear-Strain Rate in Metal Cutting and Its Effects on Shear-Flow Stress", Trans. ASME, vol. 80, 1958, p.p. 158—168.
6. W. B. Palmer and P. L. B. Oxley. The Mechanics of Orthogonal Machining, Proceedings. The Institution of Mechanical Engineers, vol. 173, 1959.
7. В. А. Говорухин, Г. Л. Куфарев. Расчет деформаций в процессе резания. Известия ТПИ, т. 188, в печати.
8. В. И. Садчиков. К вопросу теории образования сливной стружки. Кандидатская диссертация, Томск, 1962.
9. В. А. Говорухин. Напряженно-деформированное состояние при резании пластичных металлов на высокой скорости. Кандидатская диссертация, Томск, 1968.
10. П. Оксли. Скорость деформации при резании металла. «Конструирование и технология машиностроения», изд-во «Мир», № 4, М., 1963.