

## ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ ПРИ РЕЗАНИИ МЕТАЛЛОВ

Л. М. СЕДОКОВ

(Представлена научным семинаром кафедры сопротивления материалов)

При изучении процесса резания как процесса пластической деформации необходимо располагать надежными характеристиками происходящей деформации. В. Д. Кузнецов (1943), В. А. Кривоухов (1945) Л. С. Мурашкин (1958), П. А. Горезко (1959), Р. Б. Мартиросян (1963) и другие исследователи принимают за характеристику пластической деформации усадку стружки, которую затем приравнивают величине осадки цилиндрического образца при сжатии.

Между тем, хорошо известно [1—4], что усадка стружки не может однозначно характеризовать степень происшедшей деформации. Так, например, при усадке стружки, равной единице, т. е. когда по мнению указанных исследователей пластическая деформация должна отсутствовать, в действительности будет осуществляться значительная деформация (если передний угол будет отрицательным, то относительный сдвиг будет больше 2 единиц).

Е. Мерчант (1945), В. В. Кузюшин (1951), Н. Н. Зорев (1952), С. С. Некрасов (1953), А. М. Розенберг и А. Н. Еремин (1954) и другие исследователи предложили за характеристику пластической деформации при резании металлов принять величину относительно сдвига, которая определяется по уравнению:

$$\varepsilon = \operatorname{ctg} \beta_1 + \operatorname{tg} (\beta_1 - \gamma), \quad (1)$$

где  $\beta_1$  — угол, определяющий направление плоскости сдвигов;  
 $\gamma$  — передний угол резца.

Однако, как показали дальнейшие исследования, величина относительного сдвига, определяемая по уравнению (1), также не может быть признана надежной характеристикой степени пластической деформации при стружкообразовании.

На ошибочность уравнения (1) указывает В. И. Апраксин [5], А. М. Розенберг и Г. Л. Куфарев [6, 7, 8] отмечают, что определение степени пластической деформации по уравнению (1) не может быть достаточно надежным, так как оно получено на основании условной схемы стружкообразования с единственной плоскостью сдвигов.

Считая, что направление текстуры в стружке, которое достаточно четко видно на микрофотографиях корней стружек, совпадает с направлением наибольшего удлинения, А. М. Розенберг и Г. Л. Куфарев [6] предложили определять максимальный сдвиг по углу текстуры,

не связывая себя с принятием определенной схемы стружкообразования.

Однако в этом случае для получения расчетных формул необходимо принять определенную схему образования текстуры в стружке [9].

При резании металлов осуществляется простой сдвиг. При простом сдвиге круг, нанесенный на поверхность, по нормали к которой нет удлинения, превратится в эллипс, а квадрат — в параллелограмм.

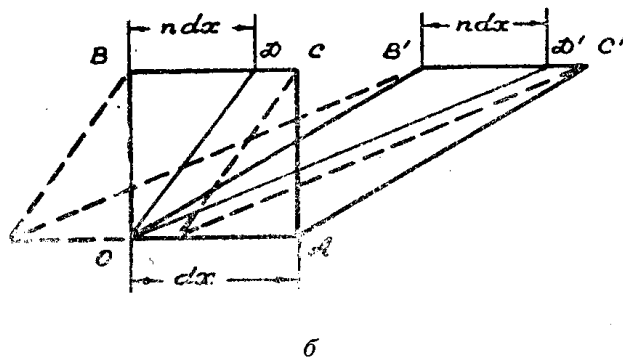
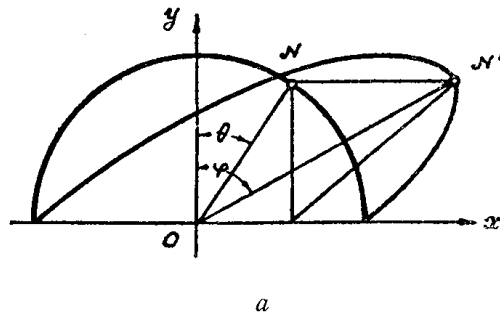


Рис. 1, а, б Схема простого сдвига.

которого будет определяться другим значением угла  $\Theta$ .

Используя методику П. О. Пашкова [10], легко установить исходное положение волокна, которое после деформации совпадает с направлением текстуры. На рис. 1 б представлена схема простого сдвига, которая отличается от схемы на рис. 1 а тем, что за исходный элемент принят квадрат. Аналитические зависимости, получаемые по обеим схемам, будут одни и те же.

По схеме 1 б волокно, которое получит наибольшее удлинение, до деформации занимало положение  $OD$ . Тангенс угла наклона волокна  $OD$  определялся величиной  $n$ . Для того, чтобы получить равномерную деформацию не только по величине сдвига, но и по удлинению, необходимо, чтобы все волокна до деформации имели направление, совпадающее с  $OD$ . Иными словами, за исходную форму элемента до деформации необходимо брать не квадрат, а параллелограмм, угол между сторонами которого определялся бы величиной  $n$ . Поскольку  $n$  зависит от степени деформации, неопределенность в схеме простого сдвига остается.

На рис. 2 а показан корень образовавшейся стружки. Объем металла между передней гранью резца и плоскостью сдвигов  $OBA$  перейдет в стружку и займет положение  $OB'A$ . Следовательно, для анализа процесса деформации простого сдвига при резании металлов целесообразно выделить объем металла, который до деформации заключался между направлением скорости резания (обработанной по-

Аналитически доказано [11, 12], что в нанесенном до деформации круге можно найти два взаимно перпендикулярных волокна, которые после деформации совпадут с направлением наибольших удлинений, сохранив взаимную перпендикулярность. Однако ориентировка указанных волокон зависит от степени деформации, что вносит существенную неопределенность.

На рис. 1 а представлена обычная схема простого сдвига. Волокно  $ON'$ , получившее наибольшее удлинение, до деформации занимало положение  $ON$ , которое составляло с направлением сдвигов угол  $\Theta$ . При изменении степени деформации наибольшее удлинение получит уже другое волокно, исходное положение

верхности)  $AB$ , плоскостью сдвигов  $OA$  и передней гранью режущего элемента  $OB$ .

Произвольная точка  $C$ , лежащая на обработанной предыдущим ходом резца поверхности  $AB$ , переместится в направлении сдвигов и займет положение  $C'$  на внешней стороне образовавшейся стружки.

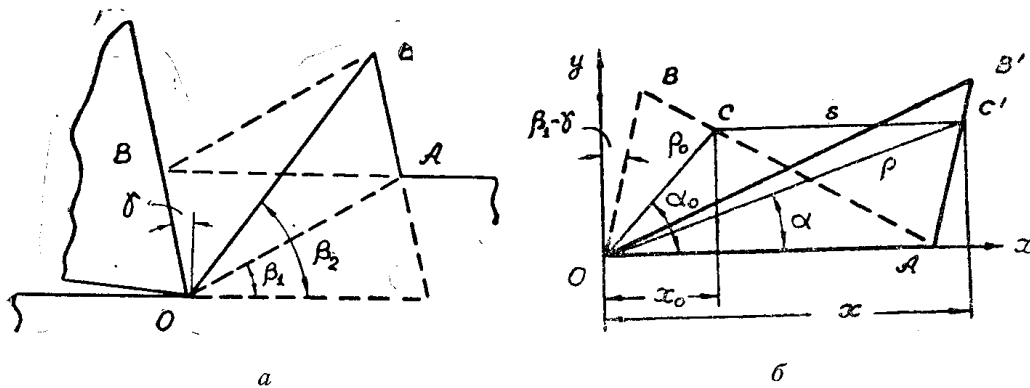


Рис. 2, а, б Корень стружки (а) и схема простого сдвига при резании металлов (б).

На основании построений, проведенных на рис. 2б, получим:

$$\frac{\rho}{\rho_0} = \frac{\sin \alpha_0}{\sin \alpha} \quad (2)$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{x_0}{x_0 + s} \operatorname{tg} \alpha_0. \quad (3)$$

С увеличением угла  $\alpha_0$  будет уменьшаться  $x_0$  и увеличиваться путь сдвига  $s$ . Угол  $\alpha$  будет расти, но его рост будет медленнее  $\alpha_0$ . Поэтому отношение  $\rho:\rho_0$  будет увеличиваться и получит наибольшее значение при  $\alpha_0 = 90^\circ - (\beta_1 - \gamma)$ . Следовательно, направление  $OB'$  будет характеризовать направление наибольших удлинений, направление текстуры в стружке, расположение материальных частиц в стружке, которые до деформации находились на одной прямой, параллельной передней грани режущего элемента [13].

На основании изложенного можно получить аналитические зависимости для расчета всех характеристик происходящей в процессе резания пластической деформации.

Условное относительное удлинение

$$\bar{\delta} = \frac{\rho - \rho_0}{\rho_0} = \frac{\rho}{\rho_0} - 1 = \frac{\cos(\beta_1 - \gamma)}{\sin(\beta_2 - \beta_1)} - 1. \quad (4)$$

Истинное удлинение

$$\delta = \ln \frac{\cos(\beta_1 - \gamma)}{\sin(\beta_2 - \beta_1)} = \ln \frac{2 \cos \gamma}{\sin \beta_2}. \quad (5)$$

Истинный максимальный сдвиг:

$$g = \delta_1 - \delta_3 = 2\delta_1$$

$$g = 2 \ln \frac{\cos(\beta_1 - \gamma)}{\sin(\beta_2 - \beta_1)} = 2 \ln \frac{2 \cos \gamma}{\sin \beta_2}. \quad (6)$$

Условный относительный сдвиг можно подсчитать, воспользовавшись уравнением (6)

$$\varepsilon' = 2 \operatorname{sh} \frac{\xi}{2}$$

$$\varepsilon' = 2 \operatorname{sh} \ln \frac{\cos(\beta_1 - \gamma)}{\sin(\beta_2 - \beta_1)} = 2 \operatorname{sh} \ln \frac{2 \cos \gamma}{\sin \beta_2}. \quad (7)$$

Входящий в уравнения (4) и (7) угол текстуры в стружке  $\beta_2$  связан с усадкой стружки и геометрией инструмента следующей зависимостью, вытекающей из построений на рис. 2:

$$\operatorname{tg} \beta_2 = \frac{2 \cos \gamma}{\xi - 2 \sin \gamma}. \quad (8)$$

Угол между направлением текстуры в стружке и плоскостью сдвигов может быть определен по формуле:

$$\operatorname{ctg} \Psi = \operatorname{ctg}(\beta_2 - \beta_1) = \operatorname{ctg} \beta_1 + 2 \operatorname{tg}(\beta_1 - \gamma) \quad (9)$$

или с учетом (1)

$$\operatorname{ctg} \Psi = \varepsilon + \operatorname{tg}(\beta_1 - \gamma). \quad (10)$$

На рис. 3 приведен график для определения истинного максимального сдвига при резании металлов с образованием сливной стружки, который рассчитан по уравнению (6), если известны усадка стружки и передний угол инструмента.

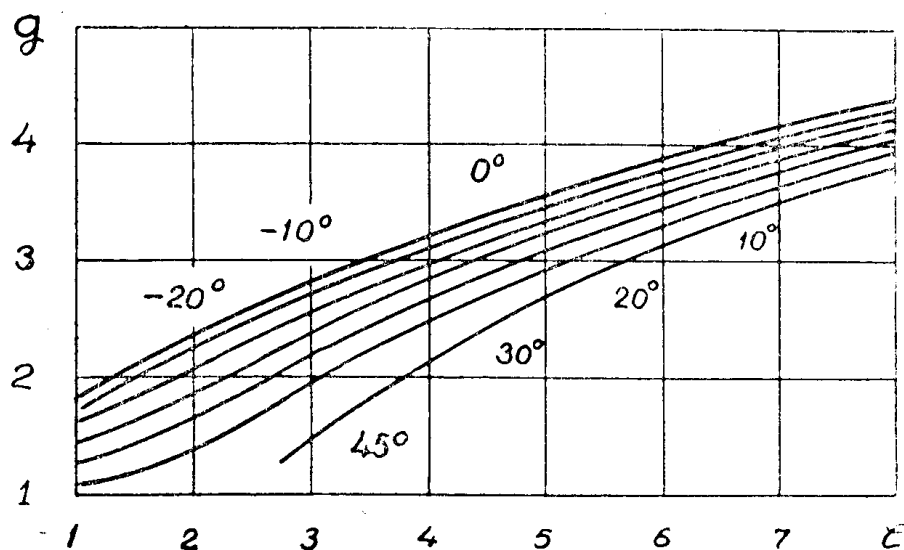


Рис. 3 Зависимость истинного сдвига от усадки стружки и переднего угла инструмента.

То, что усадка стружки не может быть численно равна наибольшему удлинению, хорошо видно по графику, представленному на рис. 4.

Условный относительный сдвиг, определяемый по уравнению (1), равен (если  $\beta_1 = \gamma$ ) или несколько больше величины, определяемой по уравнению (7), что иллюстрируется на рис. 5. Интересно отметить, что уравнение (1) иногда приводит к парадоксу. При больших усадках величина относительно сдвига ( $\varepsilon$ ) для одной и той же усадки будет

увеличиваться, а следовательно, будет увеличиваться и сила резания, если использовать более острый резец, т. е. резец с большим передним углом  $\gamma$ , что видно на приведенном графике для  $\xi = 4$  и  $\gamma > 25^\circ$ . Этот парадокс виден и по соответствующим графикам, которые даны В. В. Кузюшиным [1], А. М. Розенбергом и А. Н. Ереминым [4], но на него до сих пор не обращалось внимания, хотя он определенно указывает на принципиальный недостаток уравнения (1).

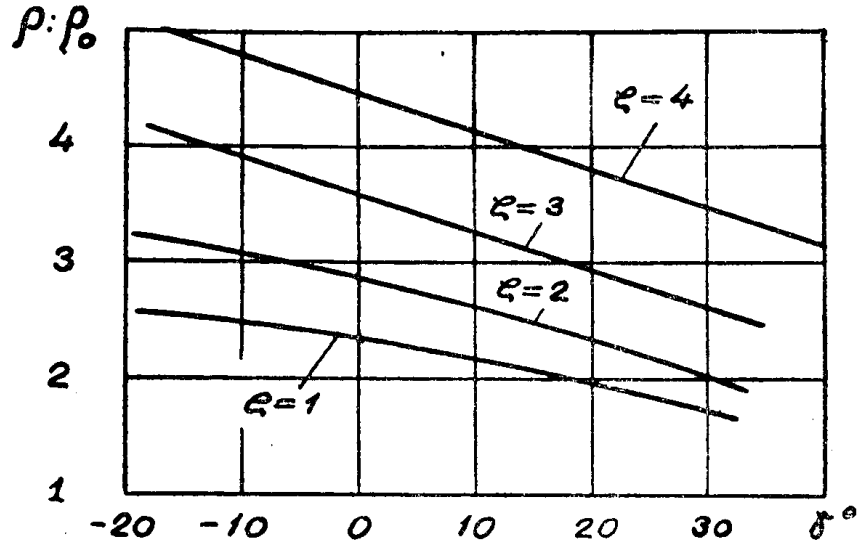


Рис. 4 Зависимость наибольшего удлинения от переднего угла инструмента при равных усадках стружки.

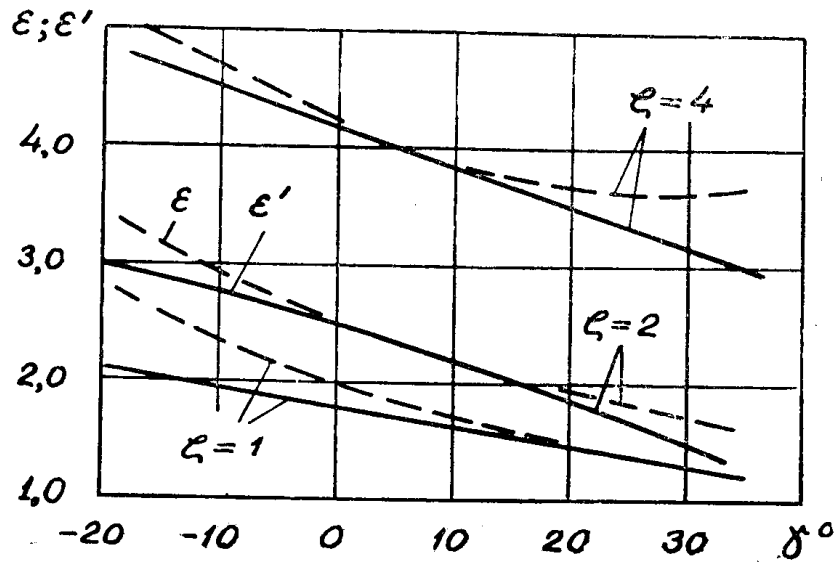


Рис. 5 Зависимость условных сдвигов, определяемых по уравнениям (1) и (7), от переднего угла инструмента при постоянных усадках стружки.

Итак, если известно направление текстуры в стружке (угол  $\beta_2$ ), то наибольшее удлинение определяется по формуле (5), наибольший максимальный сдвиг по формуле (6), условный относительный сдвиг по формуле (7). В том случае, если угол текстуры в стружке в опытах не фиксируется, он может быть рассчитан по усадке стружки (8).

## ЛИТЕРАТУРА

1. В. В. Кузюшин. Пластическая деформация при резании стали. Станки и инструмент. № 4, 1951.
  2. Н. Н. Зорев. Исследование элементов механики процесса резания. Машгиз, 1952.
  3. А. В. Молочков. Некоторые вопросы деформации стальной стружки. Сб. научных трудов Белорусского политехнического института. Вып. V. Изд-во АН БССР, Минск, 1953.
  4. А. М. Розенберг, А. Н. Еремин. Пластическая деформация стружки при резании металлов. Изв. ТПИ, т. 75, 1954.
  5. В. И. Апраксин. Кинематика зоны резания. Научно-технический информационный бюллетень № 2. Ленинградский политехнический институт. 1962.
  6. Г. Л. Куфарев. Экспериментальное изучение пластической деформации при резании металла. Исследование по физике твердого тела. АН СССР, 1957.
  7. А. М. Розенберг, Г. Л. Куфарев. Определение степени пластической деформации металла при резании. Вестник машиностроения. № 6, 1958.
  8. Резание металлов и инструмент. Машиностроение. 1964.
  9. Л. М. Седоков. Сила, деформация и напряжение при резании металлов. Изв. ТПИ, том 133, 1965.
  10. П. О. Пашков. Пластичность и разрушение металлов. Судпромгиз, 1950.
  11. А. Надаи. Пластичность и разрушение твердых тел. ИЛ, 1954.
  12. Я. Б. Фридман, Т. К. Зилова, Н. И. Демина. Изучение пластической деформации и разрушения методом накатанных сеток. Оборонгиз, 1962.
  13. Л. М. Седоков. Кинематический анализ процесса образования сливной стружки. Изв. ТПИ, т. 85, 1957.
-