

## О ХАРАКТЕРИСТИКЕ СТЕПЕНИ ДЕФОРМАЦИИ МЕТАЛЛА ПРИ РЕЗАНИИ

Г. Л. КУФАРЕВ, Г. Д. ДЕЛЬ, М. Г. ГОЛЬДШМИДТ

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

Степень конечной деформации металла в процессе резания, большинством исследователей оценивается величиной относительного сдвига. Известные зависимости для определения степени деформации так же, как и выражения, характеризующие направление текстуры стружки, отличаются друг от друга в конечном счете в той мере, в какой разнятся взгляды тех или иных авторов на механизм процесса стружкообразования. Исследование деформаций в зоне резания проведено методом делительных сеток. Сетки с базой 0,2 мм наносились на предварительно оцинкованный образец по технологии получения типографских растровых клише [1]. Такие сетки представляют собой квадратную систему травленных точек, близких к окружностям. В качестве обрабатываемого материала применялись сталь 15, латунь Л62 и цинк. Скорость резания изменялась от 23 мм/мин до 12 мм/мин, передний угол  $\gamma$  — от +20°

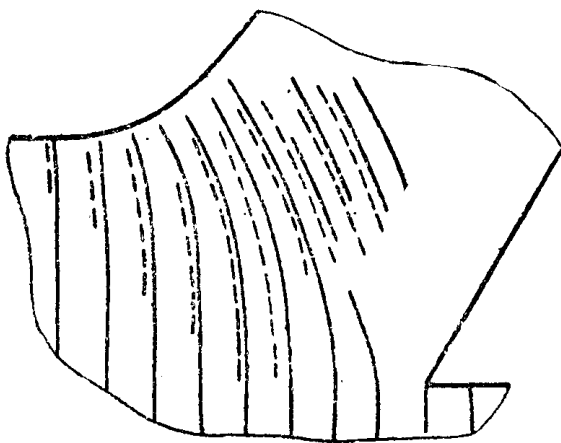


Рис. 1. Сопоставление картины искажения линий, перпендикулярных до деформации направлению скорости резания, с направлением главных удлинений. Резание цинка ( $V = 23,5$  мм/мин,  $\gamma = +30^\circ$ ,  $a = 1$  мм)

до +40°, толщина среза изменялась в пределах 0,8 ÷ 2 мм. Образцы выполнялись наборными из двух пластин, так что делительная сетка оказывалась в среднем по ширине образца сечении. При этом сетка была ориентирована таким образом, что одно из семейств прямых линий, образованных центрами окружностей, было параллельно направлению скорости резания. Зафиксированные корни стружек фотографировались и обрабатывались затем на проекторе при суммарном увеличении в 400 раз.

Эксперименты показали, что во всех исследованных случаях направление главной

деформации удлинения, определяемое положением большей оси эллипса, совпадает с линиями, перпендикулярными до деформации направлению перемещения инструмента.

Это положение следовало тщательно проверить, так как даже небольшая ошибка при определении угла при сравнительно больших деформациях может повлечь за собой существенные неточности при попытке определить положение образующих этот угол волокон в недеформированном теле. Такая проверка была осуществлена путем сопоставления с помощью ориентировки картины деформаций, полученных различным образом до деформации прямых линий с текстурой металла. Линии нацарапывались на поверхности образца, причем в одном случае так, что они были перпендикулярны направлению скорости резания, в другом — параллельны передней грани инструмента.

Результаты этих опытов представлены на рис. 1 и 2, где штриховыми линиями показано поле направлений главной деформации удлинения, зарисованное с фотографии микрошлифа корня стружки.

Из рис. 1 и 2 видно, что с направлением главных удлинений совпадают лишь те линии, которые до деформации были перпендикулярны направлению скорости резания.

Согласно полученным в работе [1] зависимостям для определения главных деформаций, величина главной деформации удлинения  $e_1^*$  при резании может быть определена как логарифм отношения толщины стружки, измеренной в направлении наибольшей вытянутости зерен к толщине среза. Или в случае отсутствия переходной зоны

$$e_1 = \ln \frac{\zeta}{\sin \psi_s}, \quad (1)$$

где  $\zeta$  — усадка стружки,  $\psi_s = 90^\circ - \beta_1 - \psi + \gamma$  (рис. 4) — угол, образованный текстурой стружки с передней гранью резца; этот угол можно измерить непосредственно на шлифе стружки, как угол между направлением текстуры и касательной к прирезцово́й поверхности стружки [2].

Ранее Г. Л. Куфаревым была получена зависимость [3]

$$e_1 = \ln \sqrt{\frac{\zeta^2}{2 \sin^2 \psi_s} + \sqrt{\frac{\zeta^4}{4 \sin^4 \psi_s} - \operatorname{ctg}^2 \psi_s}}. \quad (2)$$

Формула (2) выведена на основании достоверных экспериментальных фактов: круг, нанесенный на боковую поверхность образца, превращается после деформации в эллипс, большая ось которого совпадает с текстурой стружки; линии, до деформации параллельные движению резца, после деформации располагаются параллельно передней грани. Поэтому зависимость (2) можно считать достаточно строгой.

\* Здесь и далее в качестве характеристики деформации принимается логарифм отношения большей полуоси эллипса к радиусу первоначальной окружности.

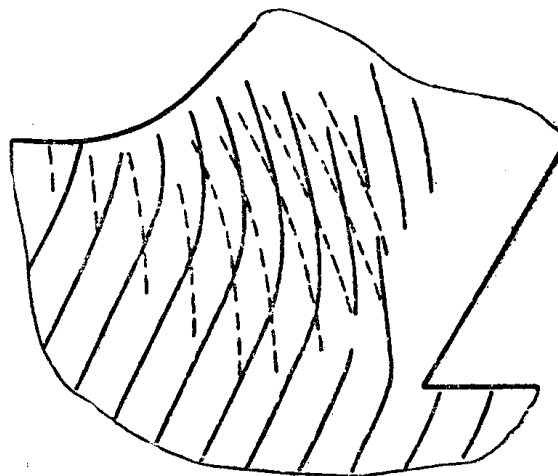


Рис. 2. Сопоставление картины искажения линий, параллельных до деформации передней грани, с направлением главных удлинений. Резание цинка ( $v = 23,5$  мм/мин,  $\gamma = +30^\circ$ ,  $a = 1$  мм)

Расчеты показывают, что  $e_1$ , определенное по формулам (1) и (2), отличается весьма незначительно во всех практически возможных случаях. Например, при  $\zeta = 2$  и  $\psi_3 = 45^\circ$  разница в результате подсчета  $e_1$  по (1) и (2) не превышает 0,5%. При больших  $\zeta$  и  $\psi_3$  (независимо от их комбинаций) эта разница еще меньше. Следовательно, можно считать, что формулы (1) и (2) дают практически одинаковые результаты.

Таким образом, зависимость (1) позволяет экспериментальным путем достаточно просто определить при резании величину главного удлинения, знание которой позволяет, не прибегая к эквивалентным деформациям, сопоставлять резание с другими видами пластической деформации.

В силу того, что деформация стружкообразования является плоской ( $e_1 = -e_2$ ,  $e_3 = 0$ ) [4], с помощью формулы (1) может быть рассчитана и величина истинного максимального сдвига

$$q = e_1 - e_2 = 2e_1 = 2 \ln \frac{\zeta}{\sin \psi_3}. \quad (3)$$

Большинство исследователей при выводе формул для определения степени деформации в зоне резания основывается на схеме простого сдвига.

Зависимости, характеризующие степень деформации при простом сдвиге, получены на основании схемы (рис. 3), согласно которой направление наибольших деформаций в каждый данный момент изменяется, в то время как направление сдвига остается постоянным.

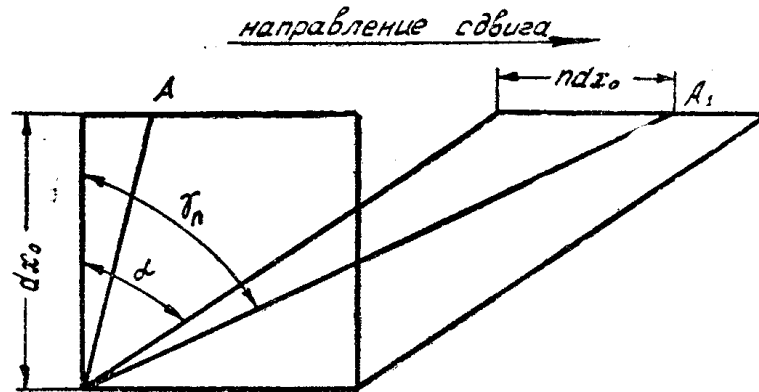


Рис. 3

Для простого сдвига может быть получена зависимость, связывающая величину главной деформации  $e_1$  с ее направлением, которое определяется положением наиболее вытянутого элемента относительно оси, перпендикулярной направлению сдвига, т. е. углом  $\gamma_n$  (рис. 3).

Согласно П. О. Пашкову [5] бесконечно малый элемент в виде квадрата со стороной  $dx_0$  в результате течения превращается в параллелограмм. Искривлением параллелограмма в криволинейный четырехугольник из-за малости размеров можно пренебречь. Точка  $A$  на стороне квадрата после деформации займет положение точки  $A_1$ . Направление наибольшей деформации характеризуется параметром  $n$ , который зависит от величины деформации [5].

$$n = -\frac{1}{2} \operatorname{tg} \alpha + \sqrt{\frac{\operatorname{tg}^2 \alpha}{4} + 1}. \quad (4)$$

Истинное удлинение выражается зависимостью [5]

$$e_1 = \frac{1}{2} \ln \frac{1 + (n + \operatorname{tg} \alpha)^2}{1 + n^2}. \quad (5)$$

Из рис. 3 следует:

$$\operatorname{tg} \gamma_n = \frac{dx_0 \operatorname{tg} \alpha + ndx_0}{dx_0} = \operatorname{tg} \alpha + n, \quad (6)$$

откуда

$$\operatorname{tg} \alpha = \operatorname{tg} \gamma_n - n. \quad (7)$$

Подстановкой (7) в (4) получаем

$$n = \frac{1}{\operatorname{tg} \gamma_n}, \quad (8)$$

из уравнения (5) с учетом (7) и (8) получаем

$$e_1 = \frac{1}{2} \ln \operatorname{tg}^2 \gamma_n. \quad (9)$$

На основании экспериментальных данных с помощью зависимости (9) можно проанализировать, в какой мере процесс резания соответствует схеме деформации простого сдвига в том виде, как его определяют А. Надаи, П. О. Пашков, В. Г. Осипов, и для которого справедливы принятые в резании характеристики деформации.

Если деформация стружкообразования происходит не в единственной плоскости, направление сдвигов для различных частиц, находящихся в пластической области, неодинаково. Уже это обстоятельство позволяет считать процесс резания не простым сдвигом, так как последний характеризуется постоянством направления сдвига в течение всего процесса деформации, и, следовательно, можно говорить лишь о степени соответствия деформации стружкообразования схеме простого сдвига.

На рис. 4 показано сопоставление экспериментальных данных, полученных при резании с зависимостью между  $e_1$  и  $\gamma_n$  для простого сдвига.

Экспериментальные точки, соответствующие резанию на микроскорости стали 15 и латуни Л62, получены в результате обработки картины искажения делительной сетки. Направление сдвигов принималось совпадающим с условной плоскостью сдвига, угол сдвига ( $\gamma_n$  на рис. 4) принимался равным

$$\gamma_n = 90 - \psi. \quad (10)$$

Обозначенные одинаковыми значками точки соответствуют одному ряду, занимающему до деформации положение, параллельное направлению движения резца, и, таким образом, как бы описывают всю историю деформации частицы, проходящей зону стружкообразования.

При резании на микроскорости, как показали эксперименты, угол  $\gamma_n$  изменяется от величины, приблизительно равной углу  $\beta_1$ , до конечного значения. Следовательно, при  $\beta_1 < 45^\circ$  начальные стадии деформации происходят не по схеме простого сдвига (рис. 4). В дальнейшем, начиная с  $e_1 \approx 0,2$ , деформация происходит по схеме, весьма близкой простому сдвигу (точки расположены эквидистантно кривой). Положение не изменяется, если за направление сдвигов, как отмечалось выше, предполагаемое постоянным с целью сопоставления со схемой простого сдвига, принять иную условную плоскость сдвига. Так, если уменьшить угол  $\beta_1$  на  $7-8^\circ$ , то основная масса точек расположится на кривой (9). Однако и в этом случае в начальных стадиях деформация не будет соответствовать простому сдвигу.

Приведенные результаты подтверждают высказанное предположение о том, что при конечной зоне стружкообразования процесс резания не является простым сдвигом.

Несмотря на это, принятые в качестве рабочей гипотезы схемы процесса стружкообразования как схемы простого сдвига весьма реально. В этом убеждает анализ экспериментальных данных, которые получены в результате обработки приведенных в работах Т. Н. Лоладзе и

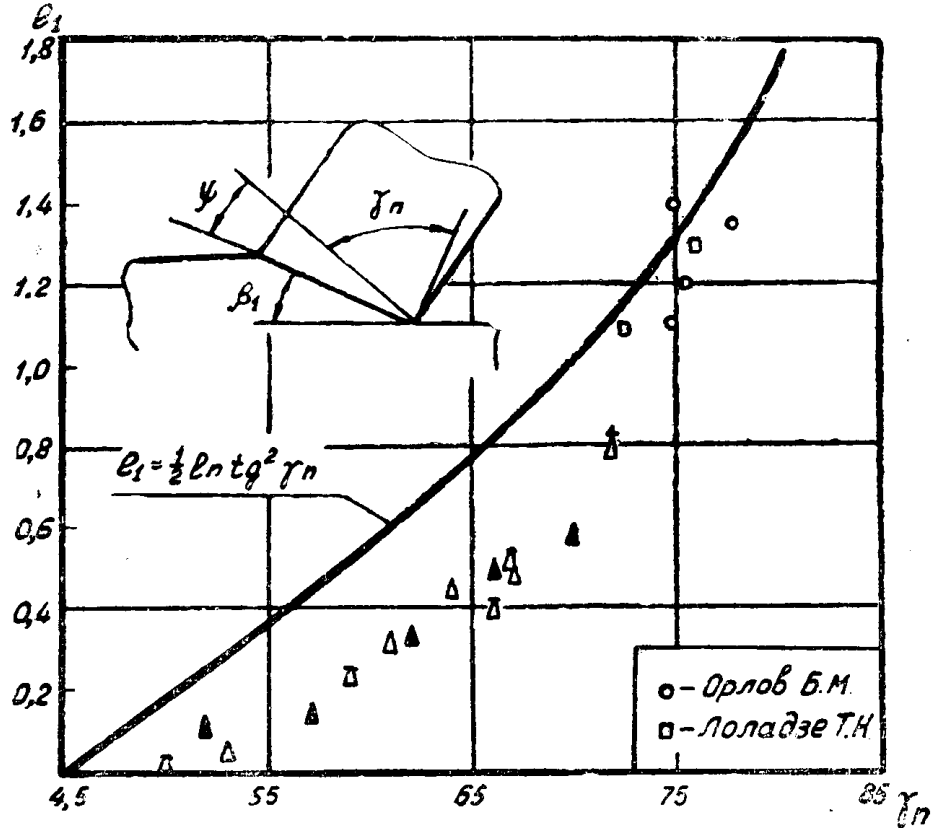


Рис. 4

Б. М. Орлова корней стружек, зафиксированных при резании сталей на скоростях, превышающих 70 м/мин. Величина главной деформации удлинения в стружке определялась по формуле (1) или в случае наличия существенной переходной поверхности как логарифм отношения толщины стружки, измеренной в плоскости, совпадающей с направлением текстуры, к толщине среза; угол сдвига определялся по формуле (10).

Как видно из рис. 4, экспериментальные точки достаточно близко расположились к зависимости (9), что является подтверждением удовлетворительной аппроксимации процесса резания как процесса простого сдвига. Отклонение экспериментальных точек в сторону завышения угла  $\gamma_n$  (или при данных условиях — занижения  $\beta_1$ ) объясняется, вероятно, тем, что, относя всю деформацию стружкообразования к единой плоскости сдвига, остается неучтенной некоторая предварительная деформация превращаемого в стружку металла.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Г. Д. Дель, М. Г. Гольдшмидт. Изучение пластических деформаций на моделях, изготовленных из типографских растровых клише. Заводская лаборатория, № 4. 1966.

2. А. М. Розенберг, А. Н. Еремин. Элементы теории процесса резания металлов. М. Машгиз. 1956.
  3. Резание металлов и инструмент, под ред проф. А. М. Розенберга, М. Машиностроение. 1964.
  4. Г. Л. Куфарев. Исследования по физике твердого тела. Изд. АН СССР. 1957.
  5. П. О. Пашков. Пластичность и разрушение металлов. Судпромгиз. 1950.
  6. Т. Н. Лоладзе. Стружкообразование при резании металлов. М. Машгиз, 1952.
  7. Б. М. Орлов. Влияние смазочно-охлаждающих жидкостей на процесс резания стали. Диссертация. Томск, 1958.
-