

СКОРОСТЬ ДЕФОРМАЦИИ ПРИ РЕЗАНИИ МЕТАЛЛОВ

Отличительной особенностью процесса резания является то, что пластическая деформация протекает на узком участке зоны резания с высокими скоростями. Значение величины скорости деформации при резании представляет большой интерес, так как позволяет оценить поведение металлов при таких условиях. Под величиной скорости деформации в процессе резания подразумевается относительная деформация в единицу времени.

Определение этой величины сводится к нахождению ширины зоны стружкообразования, при помощи которой и определяется время деформации, а следовательно, и скорость деформации. Время деформации определяется из условия, что частица обрабатываемого металла, имеющая скорость, равную скорости резания V_p , пройдя ширину зоны стружкообразования ΔX , приобретает скорость $\frac{V_p}{\xi}$, где ξ — усадка стружки. Принимая изменение скорости равномерным, можно определить время деформации:

$$t = \frac{2 \Delta X}{V_p + V_p/\xi} = \frac{2 \Delta X \cdot \xi}{V_p (1 + \xi)};$$

скорость деформации определяется согласно вышесказанному:

$$\dot{\epsilon} = \frac{\epsilon}{t} = \frac{\epsilon \cdot V_p (1 + \xi)}{2 \Delta X \cdot \xi}. \quad (1)$$

Определению величины скорости деформации при резании уделено много внимания [1, 3, 4 и др.]. Согласно этим исследованиям величина скорости деформации колеблется в широких пределах в зависимости от режимного поля и свойств обрабатываемого материала. Но при этом абсолютные значения отличаются друг от друга иногда на целый порядок. Нет сомнений, что этот разброс в оценке скорости деформации является результатом разной точности использованных методик и определения ширины зоны.

Так, при определении зоны стружкообразования в работе [3] использован метод микроскопического анализа деформации зерен обрабатываемого материала на зафиксированных корнях стружки. Суть метода состоит в том, что ориентация зерен в переходной зоне отличается от ориентации зерен в основном материале и в материале стружки. Из-за трудности в проведении границ зоны, и особенно конечной границы зоны, величину ΔX , полученную таким образом, следует признать довольно приближенной. Иногда этот метод и вовсе не применим по той

причине, что при травлении нечетко выявляются границы зерен в этой области.

Другим методом по определению ширины зоны стружкообразования является метод исследования микротвердости [5]. Этот метод основан на том, что в процессе резания зерна металла деформируются не в одинаковой степени в изделии, стружке и переходной зоне, т. е. металл в этих зонах характеризуется различной степенью упрочнения, мерой которой является твердость. Понятно, что в зоне стружкообразования значения микротвердостей заключаются между средними значениями микротвердостей основного материала и материала стружки. Исходя из этого принципа, можно определить форму, расположение и ширину зоны стружкообразования. Нами при определении ширины зоны стружкообразования использовался метод микротвердости. Результаты опытов подтвердили тот факт, что при переходе через зону стружкообразования и в самой зоне изменение микротвердости происходит в более резкой форме, чем естественные разбросы чисел микротвердостей основного металла и стружки. Чтобы повысить точность определения границ зоны, необходимо увеличить число отпечатков в самой зоне стружкообразования. Исходя из этого, в зоне стружкообразования шаг между отпечатками был уменьшен до 0,05 мм. В то же время найденные этим способом форма, ширина и расположение зоны стружкообразования сравнивались с перечисленными величинами на микрофотографиях соответствующих корней стружек. Границы зоны стружкообразования определяются исходя из следующих соображений.

Нижняя граница зоны стружкообразования определяется из того факта, что при установившемся процессе резания поверхность за резцом после поворота детали на 360° превращается в поверхность резания, а вновь образующаяся поверхность за резцом ничем не отличается от упомянутой. Следовательно, на шлифах корней стружек микротвердости поверхностей перед резцом и за ним принимают равные значения. Следует ожидать, что значения микротвердостей будут равными и на одинаковых уровнях от линий этих поверхностей (рис. 1):

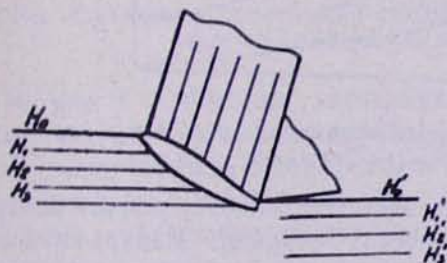


Рис. 1. Схема по определению зоны стружкообразования измерением твердости.

$$H_0 = H'_0 \text{ и } H_1 = H'_1, H_2 = H'_2 \text{ и т. д., причем } H_0 > H_1 > H_2 > H_3.$$

При точении обрабатываемый материал участвует в процессе резания с уже измененными благодаря деформации свойствами. Поэтому нижняя граница зоны стружкообразования соединяет точки, имеющие твердость, отличающуюся от исходной. Начало зоны на этих уровнях

определяется тем, что после этих точек микротвердость резко отличается от значений, находящихся левее этой точки на тех же линиях.

Верхняя граница зоны стружкообразования определяется на том основании, что после этой границы частица обрабатываемого металла не подвергается дополнительной деформации, а значит, и дополнительному упрочнению. Следовательно, микротвердость на этой границе принимает максимальное значение. По этому признаку и были проведены верхние границы зоны стружкообразования. По существу верхняя граница зоны является как бы разделительной чертой между оформленной стружкой и остальной частью предрезцово́й зоны и отождествляется с понятием линии скольжения.

Влияние скорости резания на величину скорости деформации

На рис. 2 представлены форма, размеры и расположение зоны стружкообразования, найденные вышеописанным методом, в зависимости от скорости резания, для железа Армо.

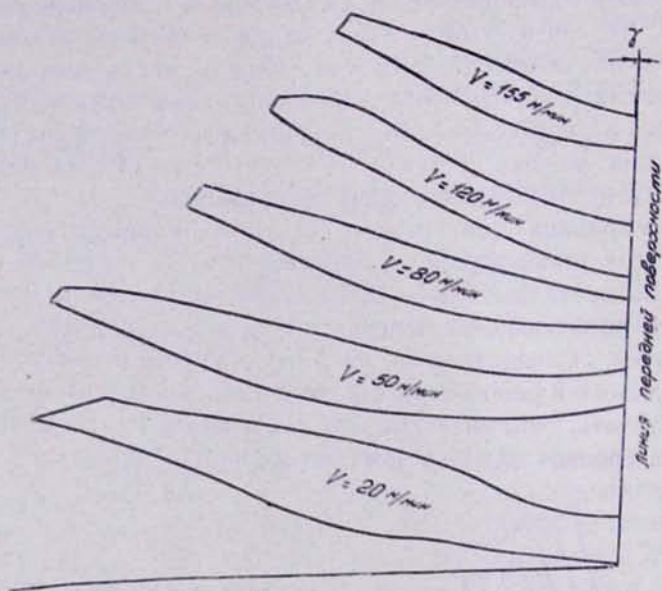


Рис. 2. Размеры, форма и расположение зоны стружкообразования в зависимости от скорости резания ($s=0,39$ мм/об, $t=1,0$ мм).

Как видно из рисунка, границы зоны стружкообразования непараллельны, особенно при малых скоростях резания. Непараллельность границ этой зоны подсказывает, что при перемещении частиц металла через различные точки зоны стружкообразования скорость деформации изменяется. Так, при скорости резания $V=20$ м/мин ширина зоны стружкообразования по толщине среза увеличивается примерно в 2,0 раза, начиная от свободной границы до средней части. Следовательно, скорость деформации у свободной границы в 2,0 раза выше, чем

середине, так как время перехода остается постоянным. Однако по мере увеличения скорости резания эти изменения проявляются в меньшей степени, и уже при $V=125$ м/мин границы зоны стружкообразования почти параллельны. Как видно из рис. 2, с изменением скорости резания меняется не только форма, но и размеры и расположение зоны стружкообразования. В частности, с увеличением скорости резания зона стружкообразования сужается и неуклонно поворачивается по часовой стрелке по отношению к вектору скорости резания.

Неравномерность ширины зоны стружкообразования (скорости деформации) по толщине среза можно объяснять различием механических показателей металла на разных уровнях толщины, унаследованным от предыдущего прохода. Такое объяснение изменения скорости деформации излагается и в работе [3].

В связи с этим устанавливается средняя скорость деформации средней ширины зоны стружкообразования. Определение средней ширины производится так: зона, найденная вышеописанным методом, очерчивается на миллиметровой бумаге, и вычисляется площадь с учетом масштаба с большой (10^{-4}) точностью. Делением найденной площади на длину этой зоны определяется средняя ширина зоны стружкообразования.

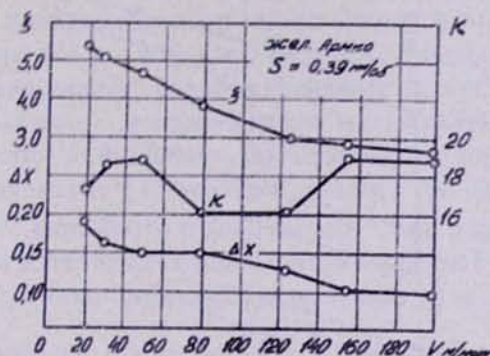


Рис. 3. Изменение ширины зоны стружкообразования ΔX и коэффициент усадки ξ в зависимости от скорости резания.

На рис. 3 приведены экспериментальные данные по изменению средней ширины зоны стружкообразования, а рядом указан коэффициент усадки стружки в зависимости от скорости резания. Эти данные показывают, что с увеличением скорости резания средние значения ширины зоны стружкообразования уменьшаются примерно в такой же закономерности, что и значения коэффициента усадки стружки. В частности при увеличении скорости резания в 10 раз (от $V=20$ до 200 м/мин) величина ΔX уменьшается в 2 раза (от 0,185 до 0,09), а коэффициент усадки ξ — чуть больше.

Величина коэффициента усадки стружки ξ является одной из основных характеристик процесса резания. Поэтому изменение этой величины в зависимости от условий резания неоднократно изучалось раз-

ными исследователями. Во всех этих работах существует единое мнение, что при постоянном переднем угле инструмента коэффициент усадки стружки сильно зависит от скорости резания—уменьшается с ее увеличением. Идентичный характер изменения ΔX и ξ в зависимости от скорости резания говорит о том, что эти изменения вызываются одним и тем же фактором—скоростью резания. Чтобы установить характер пропорциональности между скоростью деформации и резания, на рисунке приведена зависимость коэффициента пропорциональности $K = \frac{1 + \xi}{2 \Delta X}$

от скорости резания. Постоянство этого коэффициента во всем диапазоне изменения скоростей (при постоянной подаче) на рис. 3 подтверждает сказанное о причине идентичности упомянутых величин. Основываясь на экспериментальных данных, из которых следует, что $\frac{1 + \xi}{2 \Delta X} = \text{const.}$, и принимая $\frac{\xi}{\dot{\epsilon}} \approx 1$, при обычно встречающихся на практике условиях резания [1] можно выражение (1) представить в виде $\dot{\epsilon} = KV(2)$, в частности при $S=0,39$ мм/об скорость деформации принимает вид $\dot{\epsilon} = 17,9 V$ для железа Армко, если скорость резания имеет размерность мм/сек, или $\dot{\epsilon} = 300 V$, если скорость резания имеет размерность м/мин. Таким образом, выражение (2) показывает, что скорость деформации при постоянной подаче прямо пропорциональна скорости деформирования и не зависит от других факторов, в том числе и от степени деформации. Исходя из вышесказанного можно сказать, что наши эксперименты подтверждают предположения, высказанные в работах [1, 3, 4 и др.] о пропорциональной зависимости между скоростями деформации и резания. Правда, в работе [1] указывается на влияние степени деформации на $\dot{\epsilon}$, что не нашло отражения в наших экспериментах. Причина такого несоответствия заключается в том, что в упомянутой работе за меру скорости деформации принят градиент скорости в зоне стружкообразования $\dot{\epsilon} = \frac{dV}{dX} = \frac{1}{dt}$, в то время как в теории

резания металлов в основном принимается выражение $\dot{\epsilon} = \frac{d\epsilon}{dt}$ (что и принято в настоящей работе). Выражение (2) показывает, что скорость деформации при изменении скорости резания от $V=20$ м/мин до 200 м/мин изменяется в пределах $6,0 \cdot 10^3$ — $6,0 \cdot 10^4$ 1/сек при $S=0,39$ мм/об. Даже при очень малых скоростях резания, порядка 0,01 м/мин, скорость деформации резко превышает скорость деформации при статистических испытаниях металлов. Приведенные данные хорошо согласуются с данными [1, 2] и других исследователей.

Влияние подачи на величину скорости деформации при резании

Скорость деформации, естественно, связана со скоростью резания, так как скорость резания определяет ту величину отрезка времени, в

течение которого частица обрабатываемого металла подвергается полной деформации в зоне стружкообразования. Но на скорость деформации оказывает заметное влияние и толщина срезаемого слоя. Так, еще опытами А. М. Розенберга [1] было установлено, что с увеличением толщины среза увеличивается объем и тем самым ширина зоны стружкообразования. Следовательно, с увеличением подачи скорость деформации при всех одинаковых условиях уменьшается. Позднее в работах [3, 4] подтверждается это влияние. Однако большинство из этих исследований носит качественный характер и в основном базируется на результатах микроструктурного анализа корней стружек. Кроме того, отсутствуют зависимости, связывающие скорость деформации с подачей. Почти во всех этих работах скорость деформации характеризуется скоростью резания, и поэтому данный вопрос нуждается в дальнейшем уточнении и представляет определенный теоретический и практический интерес. Для выявления влияния подачи на скорость деформации подача в проведенных экспериментах изменяется в пределах $S=0,07 \div 0,47$ мм/об при скоростях резания $V=20, 80$ и 120 м/мин и $t=1$ мм.

Форма, размеры и расположение зоны стружкообразования в зависимости от подачи представлены на рис. 4. Из рисунка видно, что эти

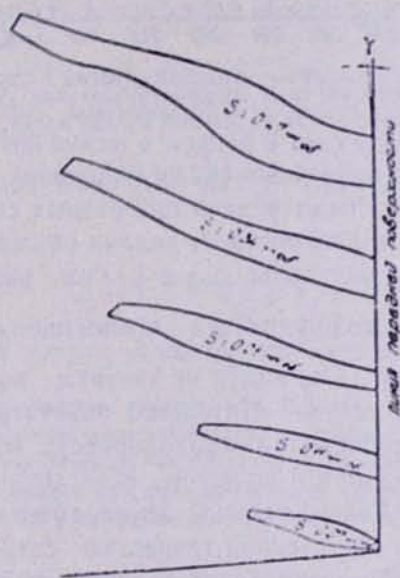


Рис. 4. Размеры, форма и расположение зоны стружкообразования в зависимости от подачи ($v=120$ м/мин, $t=1,0$ мм).

параметры меняются с изменением подачи. В частности, с увеличением подачи размеры этих зон увеличиваются. Наряду с этим меняется расположение зон: происходит поворот зоны стружкообразования по часовой стрелке вокруг кромки резца. Кроме того при больших подачах неравномерность ширины зоны стружкообразования проявляется более резко по толщине среза.

На рис. 5 приведены экспериментальные данные для определения ширины зоны стружкообразования Δx в зависимости от подачи при разных скоростях резания по той же методике. Как видно из приведенных данных, с увеличением подачи величина Δx увеличивается при всех скоростях резания, причем тем значительнее, чем меньше скорость

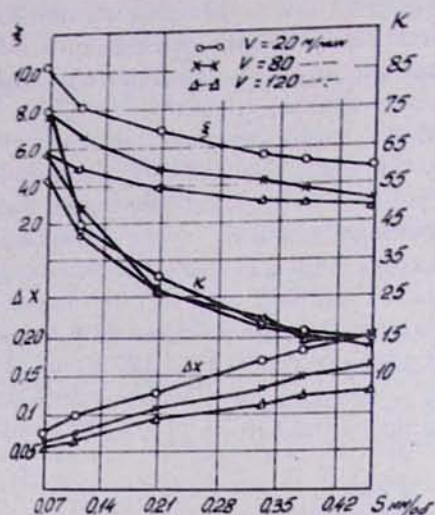


Рис. 5. Изменение ширины зоны стружкообразования Δx и коэффициент усадки ξ в зависимости от подачи. $V=120$ м/мин, $t=1,0$ мм.

резания. На рисунке приведены также изменения коэффициента усадки стружки в зависимости от подачи при разных скоростях. Такой характер изменения ξ в зависимости от подачи общеизвестен. После того, как были определены величины Δx и ξ , на рисунке определяется характер изменения коэффициента пропорциональности $K = \frac{1+\xi}{2\Delta x}$ в зависимости от подачи. Как видно из рисунка, коэффициент K уменьшается с увеличением подачи. Интересно отметить, что и здесь хорошо прослеживается вышеописанная закономерность: коэффициент K не зависит от скорости резания в широком исследованном диапазоне (от $V=20 \div 120$ м/мин). Действительно, экспериментально-расчетные точки коэффициента K с достаточной точностью совпали при разных скоростях. Особенно хорошо совпадения замечаются в диапазоне больших подач. Сравнительно малая точность совпадения экспериментальных точек K при малых подачах на разных скоростях резания объясняется тем фактом, что при этих условиях зона стружкообразования (следовательно и ширина) определяется с меньшей точностью из-за недостаточного количества числа отпечатков в этих зонах. А при больших подачах все параметры зоны стружкообразования определяются более точно, и тем самым повышается точность определения коэффициента K .

Учитывая сказанное, можно утверждать, что прямопропорциональ-

ная связь между скоростями деформации и резания (о чем говорилось выше) существует во всем диапазоне подачи.

Чтобы установить характер зависимости скорости деформации от подачи, произведена математическая обработка зависимости $K=f(S)$. Произведя вычисления по методу наименьших квадратов, получим уравнения неравнобокой гиперболы:

$$K = \frac{C}{S^Y},$$

где $C = 8,0$; $Y = 0,8$.

При этом расхождения фактических и расчетных значений коэффициента K не превышает $\pm 2\%$. Подставляя значения коэффициента K в выражение (1), окончательно получаем зависимость, связывающую скорость деформации со скоростью резания и подачей:

$$\dot{\epsilon} = \frac{8,0 V}{S^{0,8}} \quad (3)$$

или

$$\dot{\epsilon} = \frac{133 \cdot V}{S^{0,8}} \text{ 1/сек.}$$

Как видно, интенсивность воздействия скорости резания выше, чем подачи.

При помощи этого эмпирического выражения можно установить, что величина скорости деформации при изменении скорости резания в пределах $V=20 \div 200$ м/мин и подачи в пределах $S=0,07 \div 0,47$ мм/об изменяется в пределах $\dot{\epsilon}=5 \cdot 10^3 \div 2,2 \cdot 10^5$ 1/сек при обработке железа Армко.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. М. Розенберг, А. Н. Еремин. Элементы теории процесса резания металлов. М., 1956.
2. Т. Н. Лоладзе. Износ режущего инструмента. М., 1958.
3. Г. Л. Куфарев. Исследование деформированного состояния зоны стружкообразования на высоких скоростях резания. «Изв. высш. уч. заведений», № 1, 1969.
4. Оксли. Скорость деформации при резании металла. «Конструирование и технология машиностроения». (Тр. Американского о-ва инженеров-механиков, сер. В, т. 85), № 4, 1963.
5. V. W. Clack, R. C. Brewer. New technique for shear zone thickness determination in orthogonal metal cutting. Proc. Instn. Mech. Engrs, 181, № 1, 1966—1967.