

УДК 621.91

Н. Г. АБУЛАДЗЕ

О ДЕФОРМИРОВАННОМ СОСТОЯНИИ ПРИ ОБРАЗОВАНИИ СЛИВНОЙ СТРУЖКИ

Рассматривается влияние отношения ширины среза к толщине, переднего угла и скорости резания на вид деформированного состояния и отношения главной деформации в направлении параллельном кромке к интенсивности деформации.

Установлено, что разброс экспериментальных точек на графике зависимости усадки от температуры резания, помимо случайных погрешностей, в основном, обусловлен изменением отношения ширины среза к толщине. Подтверждено, что при фиксированных переднем угле и средней температуре резания толщина среза не оказывает ощутимое влияние на угол направления сдвига. Выявлено, что зависимость этого угла от переднего угла аппроксимируется полиномом второй степени.

Предложен метод деформированного со стружкой цилиндрического стержня для определения коэффициентов деформации стружки и главных деформаций в любой точке его поперечного сечения. Метод универсален. Он пригоден и для случаев несвободного и ко-соугольного резания.

1. Исследуя деформацию в зоне стружкообразования методом координатной сетки, определив главные деформации и по ним угол β и параметр ν , характеризующие вид деформированного состояния по В. М. Розенбергу [1], Г. Л. Куфарев установил, что видом деформированного состояния в процессе резания при образовании сливной стружки является сдвиг, смежный со сжатием со сравнительно малой долей сжатия [2,3]. Сжатие обуславливает уширение стружки – деформацию в направлении, параллельном кромке – e_2 .

Чем меньше доля сжатия, тем меньше уширение стружки, тем ближе вид деформированного состояния к схеме плоской деформации. О степени приближения к схеме плоской деформации удобно судить по величине отношения $e_2/e_1 = \epsilon$. Оно примерно равно $\text{tg}(\beta - 30^\circ)$ и от параметра ν отличается постоянным множителем – $\text{ctg } 30^\circ$. Для случая образования сливной стружки расхождение не превышает двух процентов.

В связи с тем, что уширение и коэффициент уширения стружки – K_b зависят от отношения ширины к толщине среза $-b/a$, переднего угла γ и скорости резания – ν [3] представляет интерес определение влияния этих факторов на отношение e_2/e_1 .

В случае отсутствия непосредственно экспериментально определенных главных деформаций e_1, e_2, e_3 и интенсивности деформации e_i их приближенно можно определить по экспериментальным значениям коэффициентов утолщения K_a и укорочения (усадки) K_1 стружки по модели стружкообразования с одной плоскостью сдвига.

Как известно, круг в процессе деформации превращается в эллипс, размеры и направления осей которого определяют величину и направление главных деформаций. Угол между направлениями сдвига и большей осью эллипса определяется по известной формуле [4]

$$\chi = \text{arccctg} \left(g/2 + \sqrt{1 + g^2/4} \right), \quad (1)$$

где g – относительный сдвиг

$$g = \text{ctg} \Phi + \text{tg}(\Phi - \gamma) \quad (2)$$

и Φ – угол направления сдвига

$$\Phi = \text{arctg} \cos \gamma / (K_a - \sin \gamma). \quad (3)$$

Большая \tilde{a} и малая \tilde{b} полуоси эллипса определяются по формулам, выведенным Г. Л. Куфаревым [2]

$$\tilde{a} = \sqrt{\left(K_a^2/2 \sin^2 \Psi_s\right) + \sqrt{\left(K_a^4/4 \sin^4 \Psi_s\right) - \text{ctg}^2 \Psi_s}} \quad \text{и} \quad \tilde{b} = 1/\tilde{a}. \quad (4)$$

Строго говоря, формулы (4) выведены для случая плоской деформации, когда площади круга и эллипса равны, однако ими можно пользоваться для приближенного определения полуосей эллипса и главных деформаций, когда e_2 сравнительно мала.

Для приближенного определения полуосей эллипса в формулы (4) следует подставлять коэффициент утолщения K_a – для большой и коэффициент укорочения K_1 – для малой полуосей эллипса, а вместо определяемого экспериментально угла между большой осью эллипса и поверхностью стружки Ψ_s – угол, рассчитанный по формуле

$$\Psi_\chi = 90 + \gamma - \Phi - \chi. \quad (5)$$

Приняв радиус окружности за единицу, по известным формулам, можно рассчитать главные деформации

$$e_1 = \ln \tilde{a}; \quad e_3 = \ln \tilde{b}; \quad \text{и} \quad e_2 = -e_1 - e_3 \quad (6)$$

и интенсивность деформации e_i [4].

Влияние условий резания на ϵ рассмотрим на примере свободного резания стали 20 по экспериментальным данным, приведенным в работе [3] (рис. 1).

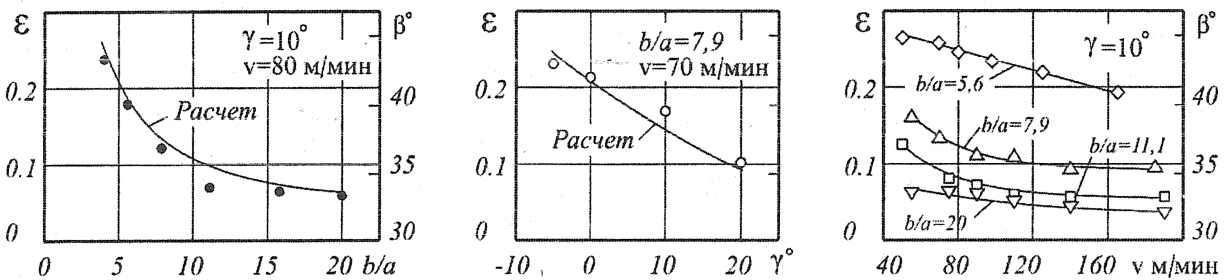


Рис. 1. Зависимость ϵ от отношения b/a , переднего угла γ и скорости резания v при свободном резании стали 20 по экспериментальным данным [3] ● – $a=0,15..0,75$ мм; $b=3$ мм. ○ – $b/a=7,9$; $a=0,38$ мм. ▽ – $b/a=20$; $a=0,15$ мм. □ – $b/a=11,1$; $a=0,27$ мм. Δ – $b/a=7,9$; $a=0,38$ мм. ◇ – $b/a=5,6$; $a=0,54$ мм

Для рассматриваемого случая, свободного резания стали 20, экспериментальные зависимости удовлетворительно аппроксимируются формулой

$$\epsilon = 0,4K_1 (1 - \sin \gamma)/(b/a). \quad (7)$$

2. Модель с одной плоскостью сдвига до сих пор является единственной расчетной моделью образования сливной стружки. Она позволяет определять усредненные характеристики процесса стружкообразования. Однако результаты исследования влияния условий резания на эти характеристики, а также существующие взаимозависимости между ними, могут послужить основой для усовершенствования или создания более совершенной модели стружкообразования. Так, например, М.Г. Гольдшмидт при построении кинематической модели сливного стружкообразования центры гипербол, аппроксимирующих линии тока, расположил на условной плоскости сдвига, наклон которой определяется углом Φ , этот угол использовал и в сконструированной им функции тока, а параметр модели r связал с усадкой стружки [5].

Угол наклона условной плоскости сдвига – угол направления сдвига Φ является одной из важных характеристик процесса стружкообразования. Как известно, он экспериментально определяется либо непосредственно на зафиксированном корне стружки, либо по модели стружкообразования с одной плоскостью сдвига известной формулой (3) с помощью определенного экспериментально коэффициента утолщения K_a или усадки K_1 стружки, допуская $K_1 \approx K_a$.

По-видимому, этим объясняется большой интерес к исследованию влияния условий резания на усадку стружки.

А.М. Розенберг и А.Н. Еремин свое исследование, в отличие от других авторов, выполнили и при фиксированной средней температуре резания. Они установили, что «...режимы одинаковых температур на передней грани резца данной геометрии сопровождаются одинаковыми геометрией нароста, коэффициентами трения и усадками, независимо от толщины среза и скорости резания, при которых эти температуры получены» [6].

Большинство существующих работ посвящено исследованию усадки как в условиях сливной стружки, так и при образовании нароста или значительного застоя. В связи с тем, что для определения угла Φ интерес представляет усадка в условиях образования сливной стружки при незначительной величине застойной пленки, в данной работе рассматриваются только условия сливного стружкообразования.

Сливная стружка образуется, когда средняя температура резания примерно больше $0,54\theta_{пл}^{\circ}K$ температуры плавления материала заготовки (примерно $700^{\circ}C$ для сталей и $230^{\circ}C$ для алюминия). Для всех экспериментов с различными значениями скорости резания и толщины среза $a=0,03 \dots 0,77$ мм при обработке различных марок сталей и $a=0,2 \dots 0,8$ мм – алюминия, опытные точки усадки располагаются около единой кривой $K_1 - \theta$ [7,8].

В работе же [8] зависимость $K_1 - \theta$ исследовано в условиях изменения толщины среза в более широком диапазоне – до 2,06 мм (рис. 2,а).

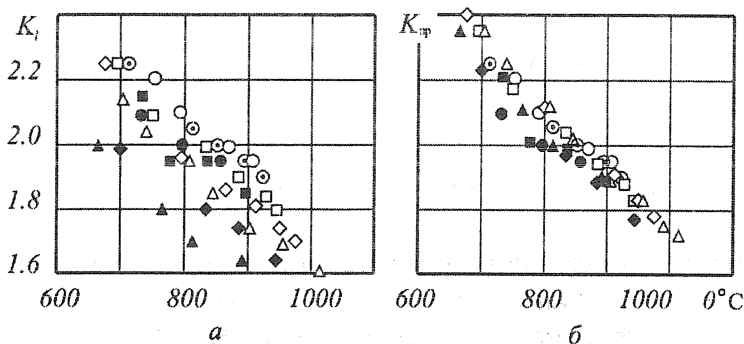


Рис. 2. Зависимость усадки стружки от средней температуры резания. Сталь 20; $\gamma=10^{\circ}$; $\varphi=60^{\circ}$; $t=4$ мм; $S = \bigcirc-0,156; \odot-0,205; \square-0,314; \diamond-0,402; \triangle-0,51$ мм/об; $t=12$ мм; $S = \bullet-0,5; \blacksquare-0,85; \blacklozenge-1,42; \blacktriangle-2,38$ мм/об. а – без учета влияния отношения ширины среза к толщине [8]; б – с учетом влияния этого отношения

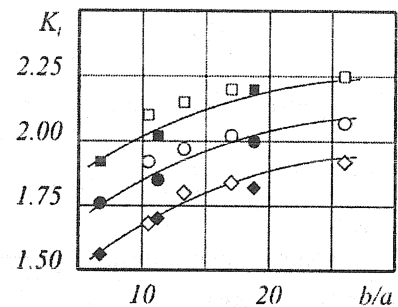


Рис.3. Зависимость усадки стружки от отношения ширины среза к толщине, построенная по рис. 2,а. Точки: светлые $t=4$ мм; темные $t=12$ мм. $\square \blacksquare-700^{\circ}C$; $\bigcirc \bullet-800^{\circ}C$; $\diamond \blacklozenge-900^{\circ}C$

Как видно из рисунка, опытные точки для $S=1,42$ и $2,38$ мм/об значительно отклоняются от единой кривой. Эти отклонения послужили поводом для сомнения, что равным температурам соответствуют равные усадки стружки, а анализ зависимости нормального давления от условий резания, послужил основой для утверждения, что «нормальные дав-

ления более правильно, чем температура, отражают влияние условий резания на средний коэффициент трения и на процесс резания в целом» [8].

Не отрицая роли нормального давления и не обсуждая в данной работе его значения для процесса резания, рассмотрим эксперименты, которые приведены в работе [8] в качестве доказательства, что температура не всегда отражает влияние условий резания на усадку стружки. В этих экспериментах использованы три варианта уменьшения площади контакта стружки с передней гранью резца по сравнению с обычным резанием: укороченная и с канавкой передняя грань резца и резец с накладным стружкозавивателем. Результаты этих экспериментов не противоречат положениям работы [6]. Уменьшение температуры и усадки стружки является следствием сокращения площади контакта по сравнению с обычным резанием, т.е. следствием изменения «данной геометрии» резца. При фиксированной «геометрии» резца уменьшение температуры, как следует из рассматриваемых экспериментов [8], сопровождается увеличением усадки стружки.

Что же касается больших отклонений от единой кривой $K_1 - \theta$ на рис. 2, а, то это следствие совмещения на одном графике результатов двух серий эксперимента: $t=4$ мм – светлые, $t=12$ мм – темные точки. Некоторое увеличение отклонений при больших подачах, по-видимому, вызвано появлением зазубрин на наружной стороне стружки.

На графиках экспериментальной зависимости $K_1 - \theta$, приведенных на рис. 2, а и в работах [7, 8 и др.], разброс экспериментальных точек, в основном обусловлен систематическими погрешностями, вызванными изменением отношения b/a от 6,7 до 34.

Изменение отношения b/a существенно влияет на усадку стружки [3] и вид деформированного состояния (рис. 1). С целью учета этого влияния, для конкретного случая резания стали 50, по экспериментальным данным рис. 2, а был построен график зависимости $K_1 - b/a$ для фиксированных температур резания (рис. 3). На основании этого графика выведена формула для определения приведенного значения усадки $K_{пр}$, соответствующей условиям, близким к плоской деформации ($b/a = 25...30$; $\varepsilon \approx 0,025$)

$$K_{пр} = \sqrt{(1500/\theta^{\circ}K - 0,05 b/a)^2 + K_1^2}, \quad (8)$$

где 1500 – подобран эмпирически,

0,05 – отношение масштабов $m(b/a)/m(K_1)$.

После коррекции значительно уменьшился разброс экспериментальных точек (рис. 2, б).

Таким образом, можно утверждать, что результаты исследования, полученные в условиях образования сливной стружки при изменении толщины среза и скорости резания в широком диапазоне, не противоречат раннее установленной закономерности [6].

Для установления зависимости Φ от γ использованы экспериментальные данные различных исследований. Из них были отобраны данные, соответствующие сливной стружке, полученной, в основном, при фиксированных температуре резания и отношении b/a , охватывающие изменение γ от -10° до $+40^\circ$ для сталей и от 12° до 50° для цветных металлов.

Анализ отобранного материала показал, что график зависимости Φ от γ при изменении γ от -10° до $+50^\circ$, представляет слегка вогнутую кривую. Эта кривая, независимо от материала заготовки, средней температуры резания и среды аппроксимируется полиномом второй степени при среднеквадратичном отклонении $\sigma = 1,25$ (в случае линейной аппроксимации $\sigma = 2,1$)

$$\Phi = A + 0,37\gamma + 0,004\gamma^2, \quad (8)$$

где A – коэффициент, зависящий от материала заготовки, средней температуры резания и среды [9].

В случае изменения переднего угла в узком диапазоне ($25...30^\circ$) кривизна зависимости Φ от γ не ощущается и она принимается линейной с угловым коэффициентом $0,4...0,6$. В случае же установления этой зависимости при фиксированных толщине среза и скорости резания коэффициент при γ в формуле (8) уменьшается примерно до $0,28$ при $\sigma = 1,55$.

Для анализа график зависимости $(\Phi_0 - \Phi)$ от γ , где $\Phi_0 = 45^\circ + \gamma/2$, оказался более показательным, чем Φ от γ [9].

3. Исследование закономерностей изменения деформации как в зоне стружкообразования, так по толщине и ширине стружки, в зависимости от условий резания, обуславливает создание более совершенной модели образования стружки.

Методика исследования деформированного состояния зоны деформации и стружки с помощью делительных сеток разработана и подробно изложена в работах [2,3,5 и др.]. Она позволяет определение степени деформации в каждой точке зоны стружкообразования и стружки, однако на стружке не всегда сохраняется четкость сетки, и определение величины деформации затрудняется или становится невозможным.

Предлагается вариант определения степени деформации в любой точке поперечного сечения стружки с помощью деформированного со стружкой цилиндрического стержня.

В заготовке параллельно движению подачи сверлится отверстие технически возможно малого диаметра – d . Чем меньше диаметр, тем больше разрешающая способность метода. В отверстие вставляется цилиндрический стержень из материала заготовки. Для облегчения обнаружения в стружке местонахождения деформированного стержня на боку срезаемого слоя делается неглубокий ($0,5$ мм) надрез параллельно отверстию.

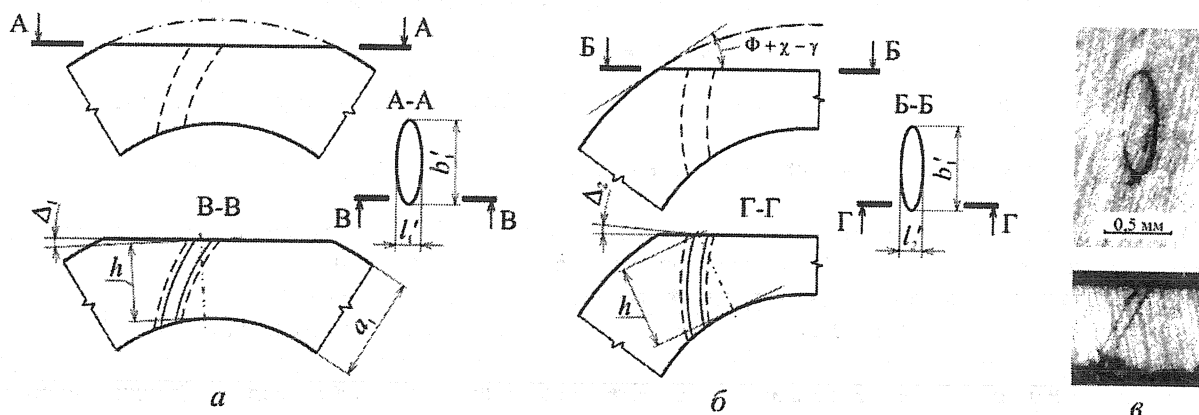


Рис. 4. Определение степени деформации стружки с помощью деформированного со стружкой цилиндрического стержня. Определение: а – коэффициентов деформации стружки; б – главных деформаций; в – сечения А-А и В-В деформированного со стружкой цилиндрического стержня.

В процессе резания стержень деформируется вместе с остальной массой срезаемого слоя. Для определения степени деформации в любой точке поперечного сечения стружки, отверстия и стержня размещаются по ширине срезаемого слоя в разных местах (по окружности). А после резания на разных уровнях толщины стружки замеряются размеры деформированного цилиндрического стержня в рассматриваемом сечении.

После выявления местонахождения деформированного стержня в стружке, стружка предварительно припиливается, а затем готовится микрошлиф (без травления) для получения сечения А-А или Б-Б. Сечение А-А проводится параллельно касательной, а Б-Б – под углом $(\Phi + \chi - \gamma)$ к стружке (рис. 4). Углы Φ и χ рассчитываются по формулам (1)...(3) с помощью среднего значения коэффициента утолщения стружки K_a , определенного предварительно по ее толщине. Положение сечений легко контролировать на микрошлифе по следу их пересечения с прирезцовой поверхностью стружки – отклонение следа от перпендикуляра к боковой стороне стружки на $\pm 5^\circ$ вызовет погрешность в определении размера b'_1 не более $+0,4\%$.

Сечение А-А определяет коэффициенты деформации стружки

$$K_1 = d/l'_1, \quad K_b = b'_1/d \quad \text{и} \quad K_a = K_1/K_b, \quad (9)$$

а Б-Б – главные деформации

$$e_2 = \ln b'_1/d, \quad e_3 = \ln l'_2/d \quad \text{и} \quad e_1 = -e_2 - e_3, \quad (10)$$

Для уточнения местонахождения сечения по толщине стружки (расстояние h ; рис. 4), положения плоскостей сечения А-А, Б-Б и размеров b'_1 , l'_1 и l'_2 проводятся продольные сечения стружки В-В и Г-Г.

Отклонение от параллельности плоскости А-А к касательной прирезцовой поверхности стружки – Δ_1 (проверяется по касательной к наружной поверхности стружки; рис. 4,а) и от перпендикулярности плоскости Б-Б к оси деформированного стержня – Δ_2 (рис. 4,б) учитывается при уточнении размеров l'_1 и l'_2 . При этом, отклонение этих углов на $\pm 5^\circ$ вызывает погрешность линейных размеров l'_1 до $+6, -4,5\%$, а l'_2 – до $+0,4\%$.

Измерения были проведены на большом инструментальном микроскопе.

Предлагаемый метод деформированного со стружкой цилиндрического стержня универсален. Он пригоден и для случаев несвободного и косоугольного резания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Смирнов-Аляев Г.А. Сопротивление материалов пластическому деформированию. -М.:Машгиз, 1949, 248 с.
2. Куфарев Г.Л. Расчет величины относительного сдвига при резании металлов/ Изв. ТПИ, Томск:1959, т. 96, I, с. 18-26.
3. Куфарев Г.Л., Окенов К.Б., Говорухин В.А. Стружкообразование и качество обработанной поверхности при несвободном резании. -Фрунзе: Мектеп, 1970, 170 с.
4. Надаи Д. Пластичность и разрушение твердых тел/ М.: ИЛ, 1954, 648 с.
5. Гольдшмидт М.Г. Деформации и напряжения при резании металлов. -Томск: Изд.СТТ, 2001, 179 с.
6. Розенберг А.М, Еремин А.Н. К теории процесса резания металлов// Станки и инструмент, 1949, 10, с. 5...7.
7. Розенберг А.М, Еремин А.Н. Элементы теории процесса резания металлов. -М.: Свердловск: Машгиз, 1956, 319 с.
8. Зорев Н.Н. Вопросы механики процесса резания металлов. -М.: Машгиз, 1956, 368 с.
9. Абуладзе Н.Г. Взаимозависимость углов направления сдвига, трения и переднего угла при образовании сливной стружки// Резание и инструмент в технологических системах. Международный научно-технический сборник. Харьков: ХГПУ, 1995-1996, вып. 50, с. 22-29.