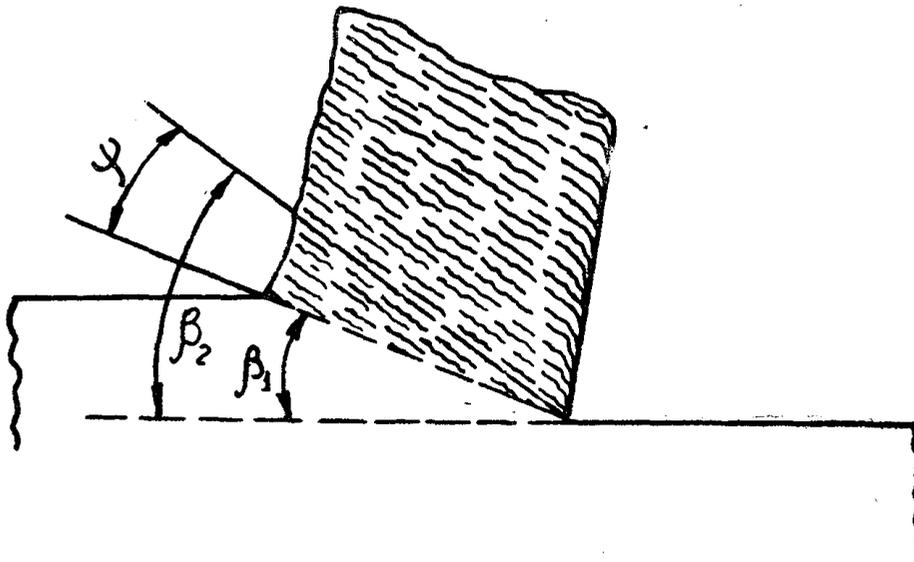


СТРОЕНИЕ СТРУЖКИ ПРИ РЕЗАНИИ ПЛАСТИЧНОГО МЕТАЛЛА

А. М. РОЗЕНБЕРГ и А. Н. ЕРЕМИН

Стружка, снятая с пластичного металла, имея сливной характер, при микроскопическом исследовании обнаруживает совершенно определенное строение. Если схематично представить продольный разрез через стружку, то мы получим вид, представленный на фиг. 1.

Снятая стружка имеет на шлифе слоистое строение. Создается впечатление, что стружка состоит из отдельных пластинок, наклоненных к направлению перемещения резца под некоторым постоянным углом β_2 . При приближении к передней грани резца эти слои в стружке загибаются в сторону, противоположную движению стружки по передней грани, принимая положение почти параллельное передней грани резца. Этот поворот слоев является результатом действия значительной силы трения между стружкой и резцом, препятствующей перемещению стружки и задерживающей металл стружки, непосредственно соприкасающийся с передней гранью резца.



Фиг. 1

Прямолинейные слои стружки прерываются при переходе в основную массу металла на некоторой прямой, расположенной под углом β_1 к направлению движения резца.

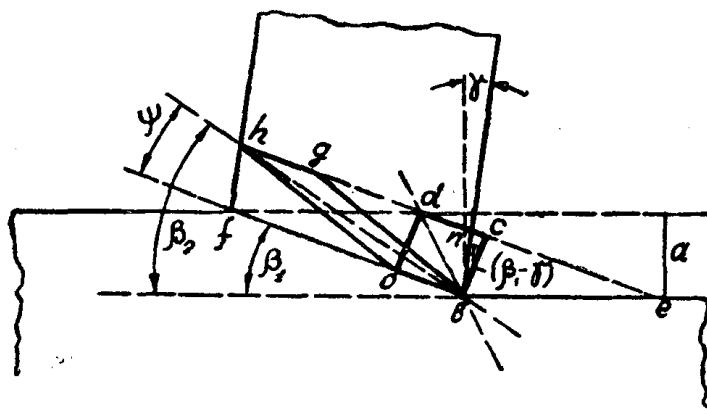
В стружке следует различать две стадии пластической деформации. Первая стадия создает слои стружки, наклоненные под углом β_2 .

Вторая стадия создает под влиянием трения стружки о переднюю грань искривление слоев в непосредственной близости к передней грани резца. Вторая деформация накладывается на первую, благодаря чему зона стружки,

прилегающая к передней грани резца, оказывается значительно более деформированной и имеющей значительно более высокую твердость, чем остальной металл стружки. Толщина зоны вторичной деформации очень невелика и обычно составляет менее 10% от всей толщины стружки.

До сих пор не установлено единого мнения относительно механизма образования слоев стружки, наклоненных под углом β_2 . Одни авторы считают, что направление слоев является направлением сдвигов в стружке и таким образом углом сдвига является угол β_2 . Другие придерживаются мнения, что углом сдвига является β_1 , а под углом β_2 расположены оси зерен металла, вытянутые под влиянием деформации сдвига, протекающего под углом β_1 к направлению движения резца. Это разногласие имеет принципиальное значение, так как при данной усадке стружки степень ее деформации будет различна, в зависимости от того, в каком направлении мы будем считать протекание сдвига (под углом β_1 или под углом β_2 к направлению движения резца). Таким образом, нельзя говорить о степени пластической деформации стружки и нельзя рассчитать ее, не установив предварительно, в каком направлении эта деформация протекает.

Мы считаем, что деформация сдвига, в результате которой образуется стружка, протекает под углом β_1 к направлению движения резца. Слои стружки, расположенные под углом β_2 , образуются следующим образом. При образовании стружки путем сдвига некоторый объем металла до деформации $bfde$ (фиг. 2) после деформации получил в стружке положение $bfnh$.



Фиг. 2

Превращение фигуры $bfde$ в фигуру $bfnh$ совершилось путем сдвига верхней стороны из положения de в положение hn при неподвижной нижней стороне. При этом сдвиге никакого изменения размеров сдвинутой верхней стороны не произошло и $hn = de$.

Выделим в металле до деформации его некоторый элементарный объем, в виде куба, боковая сторона которого представляет собой квадрат $obcd$, причем расположим его так, чтобы вершина b совпадала с режущей кромкой резца, а вершина d лежала на верхнем контуре срезаемого слоя a , стороны же ob и cd совпадали с направлением сдвига. Пусть этот элементарный объем представляет собой зерно металла до деформации его. После деформации сдвига верхнее основание квадрата de переместится в положение hg и точка d , первоначально расположенная на верхнем контуре срезаемого слоя, неизбежно окажется в точке h , расположенной на верхнем контуре стружки. Квадрат $obcd$ превратится в параллелограмм $obgh$. Ось симметрии квадрата bd , первоначально расположенная под углом 45° к направлению сдвига, превратится в диагональ параллелограмма bh , расположенную под углом ψ к направлению сдвига, причем $\psi < 45^\circ$. Реальное микроскопически малое зерно округлой формы при такой деформации превра-

тится в вытянутую пластинку с продольной осью, расположенной под некоторым углом ψ к направлению сдвига. Не представляет затруднений поставить угол ψ в зависимость от углов β_1 и γ .

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{bc}{ch} = \frac{bc}{cn + nh} = \frac{bc}{bc \cdot \operatorname{tg}(\beta_1 - \gamma) + \frac{a}{\sin \beta_1}},$$

$$bc = od = \left(\frac{a}{\sin \beta_1} - ob \right) \operatorname{tg} \beta_1 = \left(\frac{a}{\sin \beta_1} - bc \right) \operatorname{tg} \beta_1,$$

$$bc = \frac{a}{\sin \beta_1 + \operatorname{tg} \beta_1}.$$

При подстановке после простых преобразований получаем

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

Здесь γ — передний угол реза,

β_1 — угол, определяющий направление сдвига при резании.

Угол β_1 связан с усадкой стружки зависимостью

$$\operatorname{tg} \beta_1 = \frac{\cos \gamma}{\zeta - \sin \gamma},$$

где ζ — усадка стружки, которая должна быть определена с учетом уширения стружки в процессе ее деформации.

Для проверки наших взглядов на роль углов β_1 и β_2 в процессе формирования стружки мы произвели экспериментальную проверку формулы (1). Для этого необходимо было сопоставить величину ψ , рассчитанную по формуле (1), с ее значением, непосредственно измеренным на шлифе стружки. Для расчета угла ψ необходимо знать угол β_1 , который может быть определен для каждого данного случая из усадки стружки.

Для измерения угла ψ непосредственно на шлифе стружки следовало бы производить мгновенное прекращение процесса резания, вырезывание стружки вместе с металлом, с которым она соединена, из болванки, продольное разрезание стружки с металлом и приготовление шлифа. Такой путь сопряжен с рядом трудностей, так как прежде всего очень затруднительно при высоких скоростях резания произвести действительно мгновенную остановку процесса резания. Поэтому мы поступали для определения ψ в стружке иным способом. Процесс резания не прерывался, а бралась снятая при каких-то интересующих нас условиях стружка, производился ее продольный разрез и изготовлялся шлиф, который представлял собой вид, схематически представленный на фиг. 3.

При помощи микроскопа, имеющего в окуляре нити и градусную шкалу, измерялся угол между направлением слоев и касательной к стороне стружки, скользящей по передней грани реза.

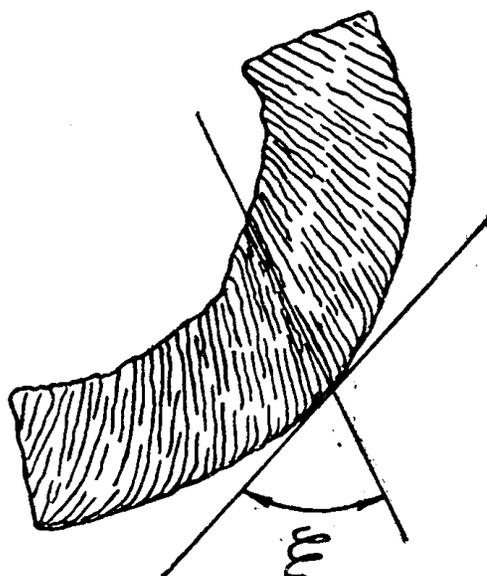
Нетрудно представить себе, что

$$\psi = 90^\circ - \xi + \gamma - \beta_1.$$

Такое сопоставление углов ψ , рассчитанных по формуле (1) и измеренных на стружке, нами было произведено для широкого диапазона передних углов от $\gamma = +30^\circ$ до $\gamma = -11^\circ$, в широком диапазоне скоростей резания от 30 до 400 м/мин и усадок стружки от $\zeta = 2$ до $\zeta = 6,85$. Для всех этих измерений стружки снимались при таких режимах, при которых не образуется нарост на резае, который мог бы исказить величину переднего угла и внести неточности в расчеты.

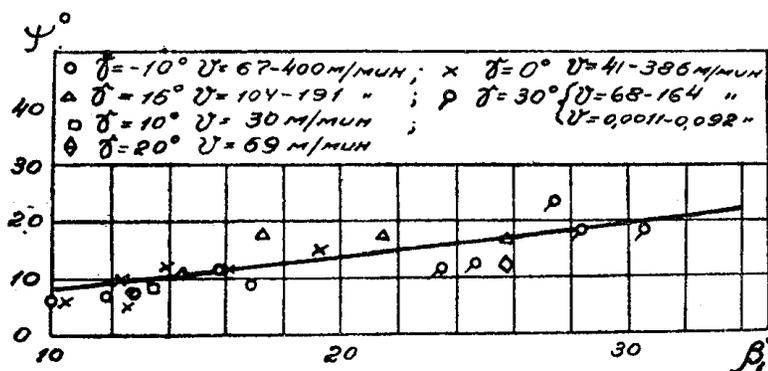
Итоги опытов сведены в график (фиг. 4), на котором кривая проведена по уравнению (1), а точки поставлены по результатам непосредственного измерения угла ξ .

На графике следовало бы для каждого угла γ провести свою кривую $\psi = f(\beta_1)$, но все эти кривые настолько близки друг к другу, что они заменены одной. График показывает, что точки, явившиеся результатом



Фиг. 3

измерения, расположились равномерно около теоретической кривой. Наибольшее отклонение не превосходит 5° и может быть объяснено отчасти ошибками измерений, отчасти тем, что в каждой стружке и усадка и углы β_1 и ψ в некоторых пределах колеблются, угол β_1 мы определяли по средней усадке, значит получали среднее значение угла β_1 , угол же ψ определялся через измерения частных (а не средних) значений угла ξ .



Фиг. 4

Хорошее расположение экспериментальных точек относительно теоретической кривой подтверждает правильность нашего представления о том, что сдвиг в процессе резания протекает под углом β_1 к направлению скорости резания, а ξ угол β_2 определяет расположение осей, вытянутых процессом сдвига зерен металла.

Обращаясь к фиг. 4, можно видеть, что угол ψ возрастает с увеличением β_1 , т. е. с уменьшением усадки стружки, т. е. с уменьшением степени деформации стружки, так как при постоянном переднем угле с уменьшением

усадки стружки неизменно уменьшается и степень ее деформации. Деформация в стружке будет отсутствовать, если $\psi = 45^\circ$.

При помощи уравнения

$$\operatorname{ctg} \psi = 1 + \operatorname{ctg} \beta_1 + \operatorname{tg} (\beta_1 - \gamma)$$

можно решить вопрос, при какой усадке будет получена наименее деформированная стружка. Для этого возьмем первую производную $\frac{d\psi}{d\beta_1}$, приравняем ее нулю и найдем

$$\frac{d\psi}{d\beta_1} = -\frac{1}{\sin^2 \beta_1} + \frac{1}{\cos^2 (\beta_1 - \gamma)} = 0,$$

отсюда

$$\operatorname{tg} \beta_1 = \frac{\cos \gamma}{1 - \sin \gamma}.$$

Это равенство будет действительным, если $\zeta = 1$. Таким образом, наибольшее значение угла ψ , т. е. наименьшая деформация стружки может быть получена, если усадка стружки ζ будет равна единице. При всех других значениях усадки, как больших, так и меньших единицы, степень деформации стружки будет возрастать.

Деформация в стружке будет отсутствовать, если $\psi = 45^\circ$, т. е. если $\operatorname{ctg} \psi = 1$, т. е. если

$$\operatorname{ctg} \beta_1 + \operatorname{tg} (\beta_1 - \gamma) = 0.$$

Выражая β_1 через ζ и γ , получим

$$\zeta^2 - 2\zeta \sin \gamma + 1 = 0.$$

Это равенство при $\zeta \geq 1$ может быть удовлетворено только значениями $\zeta = 1$ и $\gamma = 90^\circ$.

Таким образом, на основании уравнения (1) мы показали, что в стружке, образованной процессом сдвига, деформация будет отсутствовать лишь в том случае, если $\zeta = 1$ и $\gamma = 90^\circ$.

Во всех реальных случаях ($\gamma < 90^\circ$) стружка всегда будет деформирована. Наименьшая степень деформации стружки будет иметь место при $\zeta = 1$. При $\zeta \geq 1$ степень деформации стружки повышается.