

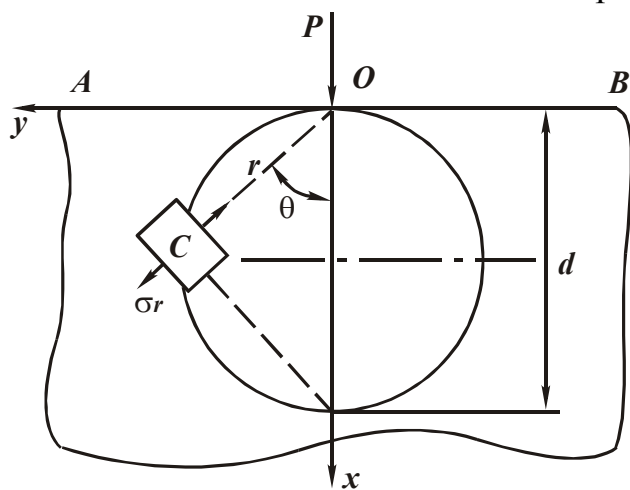
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ СИЛОВОЙ НАПРЯЖЕННОСТИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ПРОЦЕССУ РАЗРЕЗКИ МАТЕРИАЛОВ

Новиков Ф.В., докт. техн. наук

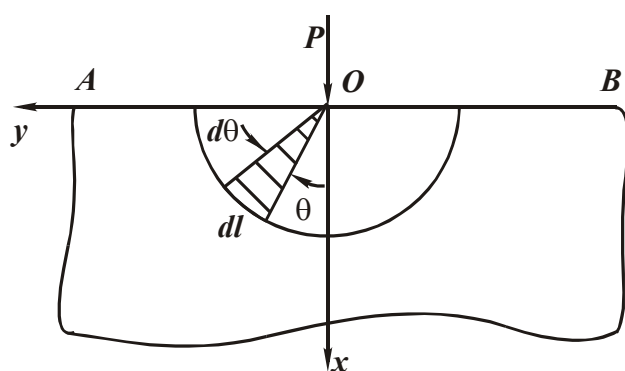
(Харьковский национальный экономический университет)

Луцан М.В. (ООО "ПКФ "Промтехнология", г. Днепропетровск)

Введение и постановка задачи. Процесс резки материалов занимает особое место в технологическом цикле изготовления деталей [1,2]. При резке труднообрабатываемых материалов (жаропрочных сплавов, нержавеющей стали и т.д.) все шире применяются биметаллические и твердосплавные ленточные пилы. Они позволяют повысить производительность и качество обработки,



а



б

Рис. 1. Расчетная схема напряжений от действия сосредоточенной силы P .

обеспечить высокие технико-экономические показатели процесса резки. В настоящее время накоплен достаточно большой практический опыт их эффективного использования на предприятиях Украины. Вместе с тем, с повышением требований к качеству реза и стойкости инструмента при резке труднообрабатываемых материалов постоянно возникают задачи по совершенствованию процесса и расширению его технологических возможностей. Для решения данных задач важно располагать глубокими знаниями о физической сущности процесса и условиях снижения его силовой напряженности. Цель работы – теоретический анализ параметров силового напряжения процесса резания и определение условий их уменьшения.

Материалы и результаты исследований. В основу работы положим фундаментальное решение о распределении напряжений в

полуплоскости от действия на ее границе сосредоточенной силы P (приходящейся на единицу ширины, рис. 1) [3]:

$$\sigma_r = -\frac{2 \cdot P \cdot \cos \theta}{\pi \cdot r}, \quad \sigma_\theta = 0, \quad \tau_{r\theta} = 0, \quad (1)$$

где σ_r – нормальная компонента напряжений в радиальном направлении; σ_θ – нормальная компонента напряжений в окружном направлении; $\tau_{r\theta}$ – касательная компонента напряжений; θ – угол; r – радиус-вектор.

Приведенные зависимости удовлетворяют условиям равновесия (рис. 2) [3]:

$$\frac{\partial \sigma_r}{\partial r} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial \tau_{r\theta}}{\partial \theta} + \frac{\sigma_r - \sigma_\theta}{r} = 0, \quad (2)$$

$$\frac{1}{r} \cdot \frac{\partial \sigma_\theta}{\partial \theta} + \frac{\partial \tau_{r\theta}}{\partial r} + \frac{2 \cdot \tau_{r\theta}}{r} = 0, \quad (3)$$

уравнению совместности:

$$\left(\frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \cdot \frac{\partial^2}{\partial \theta^2} \right) \cdot \left(\frac{\partial^2 \varphi}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial \varphi}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \cdot \frac{\partial^2 \varphi}{\partial \theta^2} \right) = 0 \quad (4)$$

и граничным условиям на границе AB ($\sigma_\theta = \tau_{r\theta} = 0$).

При $\theta = 0$ и $r = 0$ напряжение $\sigma_r \rightarrow \infty$, т.е. из решения необходимо исключить точку приложения силы P . Из решения (1) вытекает, что любой элемент C , расположенный на расстоянии r от точки приложения силы P , подвергается простому сжатию в радиальном направлении. С увеличением θ и r

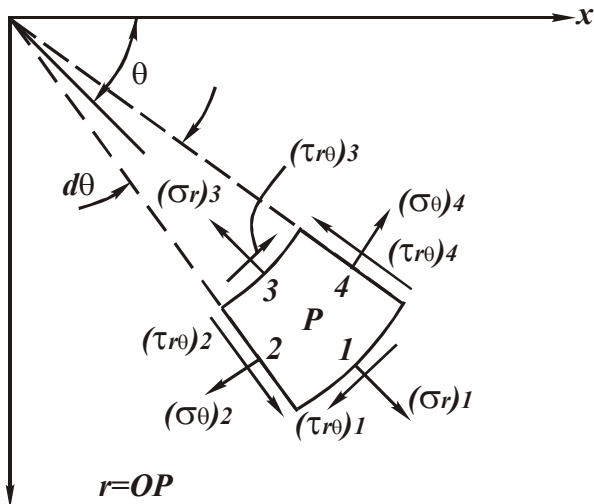


Рис. 2. Расчетная схема напряженного состояния тела.

напряжение σ_r уменьшается. Принимая $r = d \cdot \cos \theta$ (где d – диаметр окружности с центром на оси OX и касательной к оси OY в точке O , рис. 1,а), напряжение σ_r описывается

$$\sigma_r = -\frac{2 \cdot P}{\pi \cdot d}. \quad (5)$$

Следовательно, напряжение σ_r во всех точках окружности одинаково за исключением точки приложения силы, где $\sigma_r \rightarrow \infty$. Чем больше диаметр окружности d , тем меньше напряжение σ_r . Очевидно, внутри окружности напряжение больше, чем снаружи.

Используя данное решение, установим параметры силовой напряженности процесса резания для нулевого переднего угла режущего инструмента (рис. 3). Учитывая то, что образование стружки происходит в результате периодических сдвигов элементов обрабатываемого материала вдоль условной плоскости сдвига OA (расположенной под условным углом сдвига материала β), определим касательное напряжение τ в плоскости сдвига OA :

$$\tau = \frac{P \cdot \cos(\beta + \psi)}{e \cdot r}, \quad (6)$$

где P – равнодействующая сил резания, Н; ψ – условный угол трения обрабатываемого материала с передней поверхностью инструмента; $\operatorname{tg} \psi = f$ – коэффициент трения обрабатываемого и инструментального материалов; v – ширина среза, м; r – текущее значение длины условной плоскости сдвига материала OA , в пределах которой касательное напряжение τ одинаково.

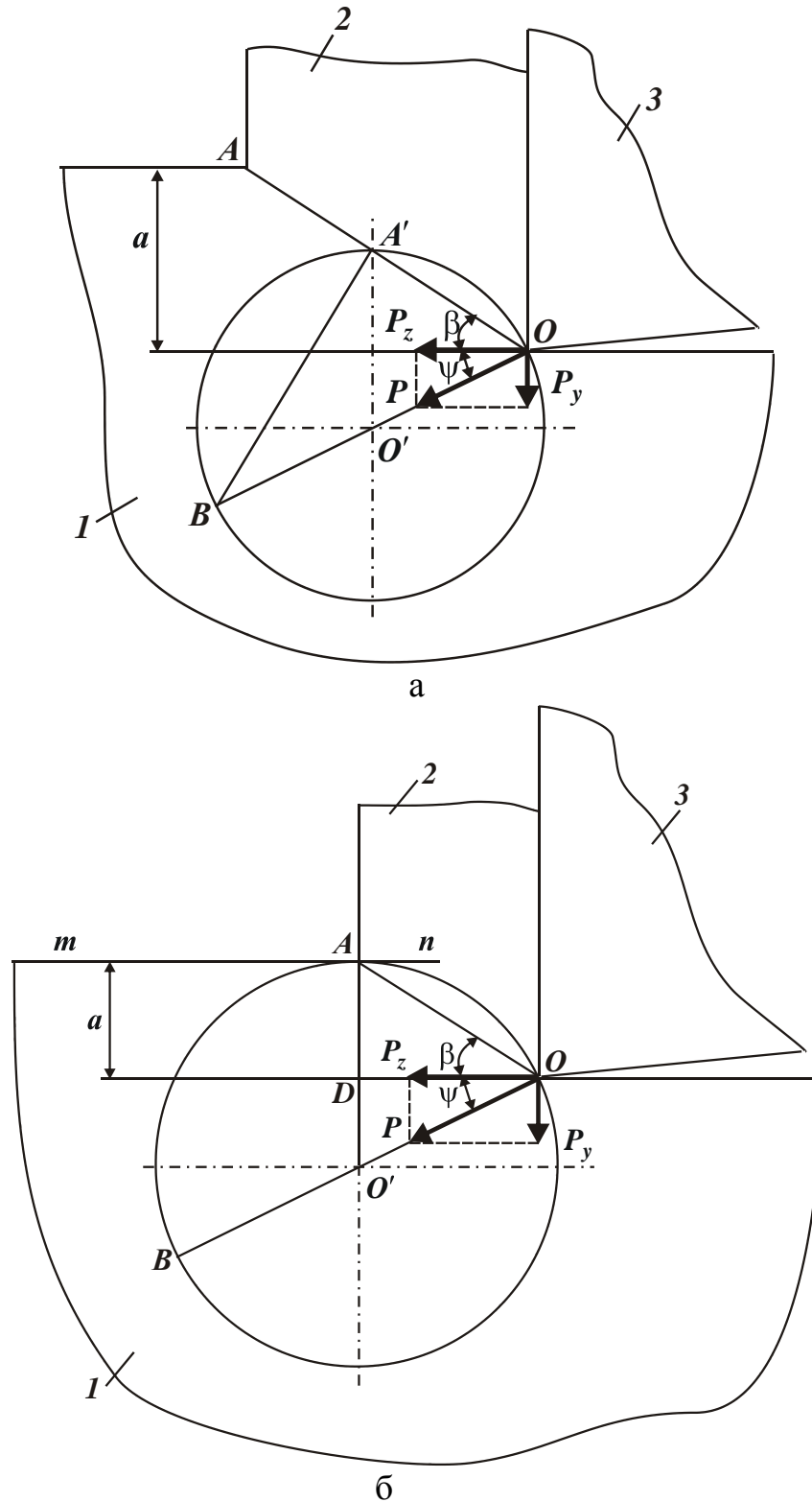


Рис. 3. Расчетные схемы условного угла сдвига материала β при резании: 1 – обрабатываемый материал; 2 – образующая стружка; 3 – режущий инструмент.

В расчетной схеме, показанной на рис. 3,а, рассмотрим прямоугольный треугольник $OA'B$, в котором $OA' = r$, а угол $OA'B$ равен 90° . Тогда справедлива зависимость

$$d = \frac{r}{\cos(\beta + \psi)}, \quad (7)$$

где d – длина отрезка OB .

Проведем через три точки O , A' и B окружность, т.е. окружность, описывающую прямоугольный треугольник $OA'B$. Как известно, данная окружность подчиняется следующим свойствам [3]: а) все вписанные в окружность углы, опирающиеся на одну и ту же дугу, равны между собой; б) вписанный угол определяется половиной дуги, на которую он опирается. Из сказанного вытекает, что поскольку угол $OA'B$ равен 90° , то длина отрезка OB равна диаметру окружности d , проведенной через точки O , A' и B . Исходя из этого зависимость (2.32) может быть выражена через диаметр окружности d :

$$\tau = \frac{P}{\sigma \cdot d}. \quad (8)$$

Физический смысл полученного решения состоит в том, что касательное напряжение τ в каждой точке круга диаметром d одинаково и зависит от значений P и d . Как видно, касательное напряжение τ тем больше, чем больше сила резания P и меньше диаметр окружности d .

Из условия $\tau = \tau_{\text{сдв}}$ для заданного значения P можно определить предельное значение диаметра окружности d , при котором произойдет разрушение обрабатываемого материала.

Применим данное решение для определения положения условной плоскости сдвига материала OA (рис. 3,б) и соответственно условного угла сдвига материала β при резании инструментом с передним углом, равным нулю. Для этого проведем окружность диаметром d с центром в точке O' , расположенной на линии действия силы резания P . Окружность должна касаться границы обрабатываемого материала, определяемой положением линии mn .

Предположим, что выполняется условие:

$$\tau = \tau_{\text{сдв}} = \frac{P}{\sigma \cdot d}. \quad (9)$$

Это означает, что в каждой точке круга диаметром d касательное напряжение τ равно пределу прочности на сдвиг обрабатываемого материала $\tau_{\text{сдв}}$. Следовательно, внутри круга диаметром d возможно разрушение обрабатываемого материала. Вполне очевидно, что разрушение материала произойдет вдоль плоскости OA , т.е. условной плоскостью сдвига будет плоскость OA , расположенная под углом β к направлению движения инструмента (или обрабатываемой детали).

Условный угол сдвига материала β можно определить, рассматривая равнобедренный треугольник OAO' , в котором стороны AO' и OO' равны радиусу окружности $r = d/2$. Из этого следует, что угол OAO' равен углу

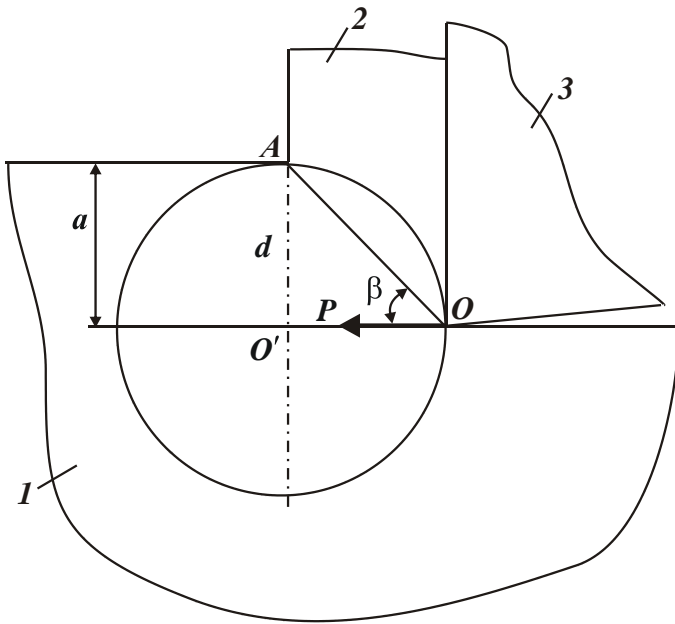


Рис. 4. Расчетная схема угла β при резании для случая $\psi=0$:
 1 – обрабатываемый материал;
 2 – стружка; 3 – инструмент.

AOO' , т.е. угол OAO' равен $(\beta + \psi)$. Угол $AO'O$ равен $(90^\circ - \psi)$, поскольку линия OA перпендикулярна линии mn и угол $O'DO$ равен 90° . Как известно, сумма углов треугольника равна 180° , тогда

$$(90^\circ - \psi) + 2 \cdot (\beta + \psi) = 180^\circ, \quad (10)$$

$$\text{откуда} \quad \beta = 45^\circ - \frac{\psi}{2}. \quad (11)$$

Определим диаметр окружности d исходя из условия:

$$AD + DO' = \frac{d}{2}, \quad (12)$$

где $AD = a$ – толщина среза;
 $DO' = OO' \cdot \sin \psi = d/2 \cdot \sin \psi$.

После преобразования зависимости (12), имеем

$$d = \frac{2a}{(1 - \sin \psi)}. \quad (13)$$

Как видно, диаметр окружности d тем больше, чем больше толщина среза a и условный угол трения образующейся стружки с передней поверхностью инструмента ψ . Наименьший диаметр окружности d достигается при $\psi=0$, т.е. при отсутствии трения образующейся стружки с передней поверхностью инструмента. В этом случае $d = 2a$ или $a = d/2$ (рис. 4). Условный угол сдвига материала β , определяемый зависимостью (11), равен 45° .

Располагая аналитической зависимостью для определения диаметра окружности d , на основе зависимости (9) можно рассчитать силу резания P :

$$P = v \cdot d \cdot \tau_{сдв} = \frac{2a \cdot v \cdot \tau_{сдв}}{(1 - \sin \psi)}. \quad (14)$$

Таким образом показано, что использование окружности одинаковых напряжений позволяет наглядно проанализировать условия формирования условного угла сдвига материала β и параметров силовой напряженности процесса резания. Сравнивая зависимости (5) и (8) видно, что они отличаются лишь множителем $2/\pi$. Следовательно, все выводы, сделанные на основе анализа зависимости (5), остаются справедливыми и применительно к зависимости (8).

Из зависимости (14) следует, что уменьшить силу резания P можно уменьшением параметров a , v , $\tau_{сдв}$ и ψ . Основным параметром в данном случае является толщина среза a , которую можно изменять в широких пределах. Условный угол трения обрабатываемого материала с передней поверхностью

инструмента ψ может изменяться в пределах $0...45^0$, что позволяет изменять выражение $(1 - \sin \psi)$ в пределах $0,3...1,0$. Естественно, этого не достаточно для того, чтобы существенно уменьшить силу резания P . Из этого следует, что при резании труднообрабатываемых материалов сложно уменьшить силу резания P и таким образом снизить износ инструмента. Поэтому основным путем повышения эффективности механической обработки (в том числе процесса резки материалов) следует рассматривать увеличение прочности и износостойкости режущей части инструмента путем применения более прочных инструментальных материалов (например, твердых сплавов) с нанесенными на них износостойкими покрытиями, позволяющими повысить ресурс работы режущего инструмента [4].

Выводы. Таким образом, в работе на основе теоретических исследований параметров силовой напряженности механической обработки показано, что основным направлением совершенствования процесса резки материалов является применение режущих инструментов, обладающих повышенной прочностью, твердостью и износостойкостью. Добиться такой же эффективности обработки за счет оптимизации режимов резания значительно сложнее. Поэтому в дальнейшем важно определить условия повышения прочности режущей части ленточных пил.

Список литературы

1. Маталин А.А. Технология машиностроения: учебник / А.А. Маталин. – Л.: Машиностроение, 1985. – 496 с.
2. Системи технологій. Навчальний посібник / В.Г. Шкурупій, Ф.В. Новіков, Ю.В. Шкурупій. – Харків: Вид. ХНЕУ, 2008. – 280 с.
3. Тимошенко С.П. Теория упругости / С.П. Тимошенко, Дж. Гудьер. – М.: Ред. физ.-мат. лит. Изд. "Наука", 1975. – 576 с.
4. Луцан М.В. ООО "ПКФ "Промтехнология" М.В. Луцан // Труды 16-й Международной научно-технической конференции. Физические и компьютерные технологии. – Харьков: ХНПК "ФЭД", 2010. – С. 186-206.