

*Ф.В. НОВИКОВ, О.С. КЛЕНОВ, И.Н. СНИСАРЕНКО*

## **АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ СИЛОВОЙ НАПРЯЖЕННОСТИ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ С УЧЕТОМ ДЕЙСТВИЯ НА ПЕРЕДНЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ИНСТРУМЕНТА РАВНОМЕРНО РАСПРЕДЕЛЕННОЙ НАГРУЗКИ**

Приведены результаты теоретических исследований основных параметров силовой напряженности при резании. Показано соответствие теоретических и экспериментальных результатов

Процессы резания материалов характеризуются относительно небольшой энергоемкостью обработки, т.е. количеством энергии, расходуемой на сьем единицы объема материала. Это позволяет обеспечить высококачественную и высокопроизводительную обработку, что собственно и предопределяет широкое применение процессов резания для формообразования поверхностей деталей. В научно-технической литературе [1–6] опубликовано чрезвычайно большое количество работ по определению параметров силовой напряженности процессов резания и соответственно энергоемкости обработки. Вместе с тем, вопросы снижения энергоемкости процессов резания материалов в полной мере не раскрыты и поэтому актуальны. Все это указывает на необходимость проведения дальнейших исследований параметров силовой напряженности процессов резания, разработки математических моделей для аналитического описания и определения путей снижения энергоемкости обработки. Целью настоящей работы является аналитическое описание и исследование параметров силовой напряженности процесса резания материалов с учетом действия на передней поверхности инструмента равномерно распределенной нагрузки.

Используя теоретические подходы, предложенные в работах [5, 6], получим упрощенное решение об условиях формирования условного угла сдвига материала  $\beta$  с учетом действия на передней поверхности инструмента равномерно распределенной нагрузки. Рассмотрим расчетную схему процесса стружкообразования при резании инструментом с нулевым передним углом, рис. 1. Предположим, что на передней поверхности инструмента действуют равномерно распределенные нормальная и тангенциальная нагрузки соответственно интенсивностью  $q_N$  и  $q_\tau$ . Суммарная равномерно распределенная нагрузка интенсивностью  $q = \sqrt{q_N^2 + q_\tau^2}$ , очевидно, будет действовать под углом  $\psi$ , т.е. под условным углом трения обрабатываемого материала с передней поверхностью инструмента. Под таким же углом будет действовать и сила резания  $P$ , вызывая сдвиг обрабатываемого материала вдоль линии  $OA$ . Исходя из

такого геометрического представления зоны стружкообразования при резании, необходимо определить положение условной плоскости сдвига материала, т.е. условный угол сдвига материала  $\beta$  для заданных значений длины контакта обрабатываемого материала с передней поверхностью инструмента  $l$  и толщины среза  $a$ .

Определим касательное напряжение  $\tau$ , возникающее в условной плоскости сдвига материала длиной  $L=OA$ :

$$\tau = (P \cdot \cos(\psi + \beta)) / (\epsilon \cdot L), \quad (1)$$

где  $\epsilon$  – ширина среза, м.

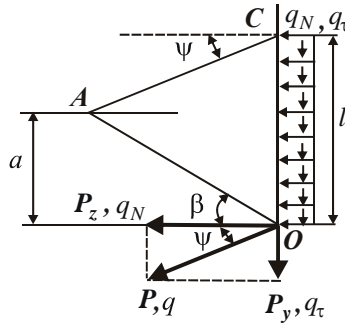


Рис.1 – Расчетная схема параметров процесса резания.

Длину  $L$  установим на основе теоремы синусов для косоугольного треугольника  $OAC$ :

$$l / \sin \angle A = L / \sin(90^\circ - \psi), \quad (2)$$

где  $\angle A = \psi + \beta$ .

После преобразования зависимости (2), имеем:

$$L = l \cdot \cos \psi / \sin(\psi + \beta). \quad (3)$$

Подставим (3) в зависимость (1) с учетом  $P = P_z / \cos \psi = (q_N \cdot l \cdot \epsilon) / \cos \psi$ :

$$\tau = (q_N \cdot \sin 2(\psi + \beta)) / (2 \cdot \cos^2 \psi), \quad (4)$$

где  $P_z$  – тангенциальная составляющая силы резания, Н.

Как видно, наибольшее значение  $\tau$  достигается при условии  $\sin 2(\psi + \beta) = 1$ , т.е. при  $2(\psi + \beta) = 90^\circ$  или

$$\beta = 45^\circ - \psi. \quad (5)$$

Следовательно, сдвиг материала будет происходить под углом  $\beta$  к направлению движения обрабатываемого материала или под углом  $45^\circ$  к направлению действия силы резания  $P$ . Это соответствует условию разрушения прямолинейного образца от действия сжимающей силы. Зависимость (5) отличается от аналогичной, полученной при условии действия на вершине инструмента сосредоточенной силы  $P$  (рис. 2) [5,6,7]:

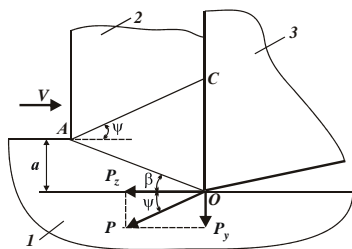


Рис.2. – Расчетная схема параметров стружкообразования при резании: 1 – обрабатываемый материал; 2 – образующая стружка; 3 – режущий инструмент.

$$\beta = 45^\circ - \psi/2. \quad (6)$$

Рассчитанные по данной зависимости значения условного угла сдвига материала  $\beta$  всегда будут меньше значений  $\beta$ , рассчитанных по зависимости (6). Причем, зависимость (5) допускает уменьшение угла  $\beta$  вплоть до нуля (при  $\psi=45^\circ$ ), тогда как по зависимости (6) угол  $\beta$  мог уменьшиться лишь до значения  $22,5^\circ$ . Таким образом, исходя из зависимости (5), условный угол сдвига материала  $\beta$  принимает меньшие значения, что в большей степени соответствует известным экспериментальным данным. Принимая в зависимости (4) условие  $\tau = \tau_{сдв}$  (где  $\tau_{сдв}$  – предел прочности на сдвиг обрабатываемого материала, Н/м<sup>2</sup>) с учетом зависимости (5), определим интенсивность равномерно распределенной нормальной нагрузки  $q_N$ :

$$q_N = 2 \cdot \tau_{сдв} \cdot \cos^2 \psi. \quad (7)$$

При условии  $\psi=0$ , т.е. при отсутствии трения на передней поверхности инструмента, имеем  $q_N = 2 \cdot \tau_{сдв}$ . При наличии трения ( $\psi > 0$ ) справедливо соотношение  $q_N < 2 \cdot \tau_{сдв}$ . В табл. 1 приведены расчетные значения отношения  $q_N / \tau_{сдв}$  в зависимости от условного угла трения  $\psi$ .

Таблица 1 – Расчетные значения отношения  $q_N / \tau_{сдв}$

$\psi$ , град	0	10	20	30	45
$q_N / \tau_{сдв}$	2	1,94	1,77	1,5	1

Тангенциальная  $P_z$  и радиальная  $P_y$  составляющие силы резания определяются зависимостями:

$$P_z = 2 \cdot \sigma \cdot l \cdot \tau_{сдв} \cdot \cos^2 \psi, \quad (8)$$

$$P_y = P_z \cdot \operatorname{tg} \psi = \sigma \cdot l \cdot \tau_{сдв} \cdot \sin 2\psi. \quad (9)$$

В приведенные зависимости входит неизвестная величина  $l$ . Для ее определения воспользуемся тригонометрическим соотношением (2) с учетом  $L = a / \sin \beta$ . Тогда зависимость (2) выразится:

$$l/\sin(\psi + \beta) = a/\sin\beta \cdot \cos\psi, \quad \text{откуда} \quad (10)$$

$$l/a = 1/(\sqrt{2} \cdot \sin(45^\circ - \psi) \cdot \cos\psi). \quad (11)$$

В табл. 2 приведены рассчитанные по зависимости (11) значения  $l/a$ . Как видно, с увеличением угла  $\psi$  отношение  $l/a$  интенсивно увеличивается, достигая при  $\psi = 40^\circ$  значение больше 10.

Таблица 2 – Расчетные значения  $l/a$

$\psi$ , град	0	10	20	30	40
$l/a$	1	1,25	1,78	3,16	10,58

Подставляя зависимость (11) в зависимости (8) и (9), окончательно определим тангенциальную  $P_z$  и радиальную  $P_y$  составляющие силы резания:

$$P_z = \frac{\sqrt{2} \cdot a \cdot \epsilon \cdot \tau_{\text{сдв}} \cdot \cos\psi}{\sin(45^\circ - \psi)}; \quad P_y = \frac{\sqrt{2} \cdot a \cdot \epsilon \cdot \tau_{\text{сдв}} \cdot \sin\psi}{\sin(45^\circ - \psi)}. \quad (12)$$

Исходя из зависимостей (12), основное влияние на составляющие силы резания  $P_z$  и  $P_y$  оказывает условный угол трения обрабатываемого материала с передней поверхностью инструмента  $\psi$ . С его увеличением составляющие силы резания  $P_z$  и  $P_y$  увеличиваются. Следовательно, уменьшить силу резания можно прежде всего за счет уменьшения угла  $\psi$  или коэффициента трения на передней поверхности инструмента. Сила резания  $P = \sqrt{P_z^2 + P_y^2}$  определяется:

$$P = (\sqrt{2} \cdot a \cdot \epsilon \cdot \tau_{\text{сдв}}) / \sin(45^\circ - \psi). \quad (13)$$

Следуя зависимости (13), сила резания  $P$ , также как и ее составляющие  $P_z$  и  $P_y$  вполне однозначно определяется углом  $\psi$ . Произведем расчет условного угла сдвига материала  $\beta$  на основе использования понятия об окружности одинаковых напряжений и расчетной схемы, показанной на рис. 3 [5].

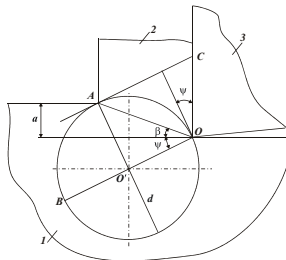


Рис. 3 – Расчетная схема условного угла сдвига материала  $\beta$  при резании: 1 – обрабатываемый материал; 2 – образующаяся стружка; 3 – инструмент.

Положение условной плоскости сдвига  $OA$  будет определяться из условия касания окружностью одинаковых напряжений диаметром  $d$  линии, проведенной через точку  $C$  и параллельной линии  $OO'$  (проходящей через центр окружности диаметром  $d$ ). Поскольку отрезок  $OO'$  равен отрезку  $O'A$  и равен половине диаметра окружности, то угол  $\psi + \beta = 45^\circ$ . Следовательно, условный угол сдвига материала  $\beta$  равен  $\beta = 45^\circ - \psi$ . В итоге пришли к зависимости (5), т.е. пользуясь понятием окружности одинаковых напряжений можно достаточно просто и геометрически наглядно установить условный угол сдвига материала  $\beta$ . Также не сложно определить диаметр окружности  $d$  и отношение  $l/a$ .

Диаметр окружности  $d$  определяется из зависимости (где  $l = OC$ ):

$$d/2 = l \cdot \cos \psi. \quad (14)$$

Из расчетной схемы, показанной на рис. 3, вытекает тригонометрическое соотношение (где  $L = OA = a / \sin \beta$ ):

$$d/2 = L \cdot \cos 45^\circ. \quad (15)$$

Тогда, подставляя зависимость (15) в зависимость (14), имеем:

$$l/a = 1 / \left( \sqrt{2} \cdot \sin(45^\circ - \psi) \cdot \cos \psi \right). \quad (16)$$

Как видно, зависимость (16) идентична зависимости (11), т.е. расчеты выполнены правильно. Таким образом, разработана математическая модель определения параметров силовой напряженности процесса резания материалов, учитывающая действия распределенной нагрузки на передней поверхности инструмента. Это позволило уточнить известное аналогичное аналитическое решение, основанное на учете действия на передней поверхности инструмента сосредоточенной нагрузки. Доказано, что по данному решению условный угол сдвига  $\beta$  принимает меньшие значения, чем в известном решении, а это хорошо согласуется с соответствующими экспериментальными данными.

Список литературы: 1. Грановский Г.И., Грановский В.Г. Резание металлов: Учебник. – М.: Высшая школа, 1985. – 304 с. 2. Бобров В.Ф. Основы теории резания металлов. – М.: Машиностроение, 1975. – 343 с. 3. Лоладзе Т.Н. Прочность и износостойкость режущего инструмента. – М.: Машиностроение, 1982. – 320 с. 4. Силин С.С. Метод подобия при резании материалов. – М.: Машиностроение, 1979. – 152 с. 5. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения / Под общ. ред. Ф.В. Новикова и А.В. Якимова. В десяти томах. – Т. 1. "Механика резания материалов" – Одесса: ОНПУ, 2002. – 580 с. 6. Новиков Г.В. Элементы теории энергоемкости процессов механической обработки // Високі технології в машинобудуванні: Збірник наукових праць НТУ"ХП". – Х.: НТУ"ХП", 2006. – Вип. 2 (13). – С. 74-86. 7. Кленов О.С. Расчет и исследование параметров силовой напряженности процессов механической обработки материалов // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка. – Х.: ХНТУСГ, 2007. – Вип. 61. – С. 231-238.

*Поступила в редколлегию 21.04.08*