

**Г.В. НОВИКОВ**, канд. техн. наук;

**М.В. ЛУЦАН**, инж.;

**В.И. ПОЛЯНСКИЙ** инж., Научный центр НТК "Эльбор", г. Харьков

## РАСЧЕТ НАПРЯЖЕНИЙ, ВОЗНИКАЮЩИХ В ЗОНЕ РЕЗАНИЯ

Произведен расчет напряжений, возникающих в зоне резания, что позволило уточнить условия стружкообразования и обосновать основные пути уменьшения энергоемкости механической обработки

The calculation of the stresses arising in the cutting zone, which allowed to specify the conditions to justify the chip and the main ways of reducing the energy intensity of mechanical treatment

**Введение и постановка задачи.** Несмотря на большое количество публикаций, посвященных раскрытию физической сути процесса резания и обоснованию условий уменьшения его силовой и тепловой напряженности [1, 2, 3], данные вопросы в полной мере не решены и требуют дальнейших исследований. В особой мере это относится к расчету напряжений, возникающих в зоне резания, и установлению условий стружкообразования, которые в конечном счете определяют силы и температуру резания, энергоемкость обработки и качество обрабатываемых поверхностей. В связи с этим целью настоящей работы является определение напряженного состояния зоны резания, уточнение условий стружкообразования и на этой основе обоснование путей уменьшения энергоемкости обработки.

**Материалы и результаты исследований.** Проблема снижения энергоемкости обработки занимает особое место в теории резания материалов [4]. Она неразрывно связана с изучением условий стружкообразования при резании и определением условного угла сдвига материала  $\beta$  (рис. 1). Доказано, что чем больше этот угол, тем меньше энергоемкость обработки и выше эффективность процесса резания: меньше силы и температура резания, выше качество обработки и стойкость режущего инструмента. Для определения угла сдвига материала  $\beta$  еще в 1870 году профессором Зворыкиным К.А. предложена аналитическая зависимость, которая не утратила своей значимости и в настоящее время

$$\beta = 45^\circ + \frac{\gamma - \psi}{2}, \quad (1)$$

где  $\gamma$  – передний (положительный) угол инструмента;  $\psi$  – условный угол трения образующейся стружки с передней поверхностью инструмента ( $\operatorname{tg} \psi = f$  – коэффициент трения).

Данная зависимость получена из условия действия на вершине резца сосредоточенной силы резания  $P$  (рис. 1), которая вызывает в плоскости ОА наибольшие касательные напряжения и сдвиг элементарных объемов срезае-

мого материала, что приводит к процессу стружкообразования. Нетрудно видеть, что данная схема стружкообразования справедлива при обработке относительно хрупких материалов (например, чугунов), когда не образуется длинная сливная стружка, характерная для процесса резания пластичных материалов (сталей, цветных металлов и т.д.). При условии значительного контакта образующейся стружки с передней поверхностью инструмента необходимо силу резания рассматривать в виде распределенной нагрузки. Для этого воспользуемся фундаментальным решением теории упругости [5] для расчета напряжений в определенной точке от действия силы  $P$  на границе полуплоскости:  $\sigma_r = -\frac{2 \cdot P \cdot \cos \theta}{\pi \cdot r}$ ,  $\sigma_\theta = 0$ ,  $\tau_{r\theta} = 0$ , где  $\sigma_r$ ,  $\sigma_\theta$ ,  $\tau_{r\theta}$  – нормальные компоненты напряжений в радиальном и окружном направлениях, касательная компонента напряжений;  $r$  – радиус;  $\theta$  – угол.

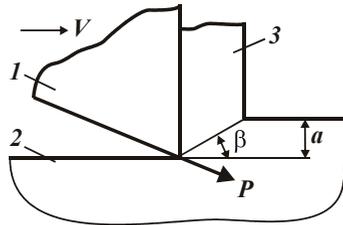


Рисунок 1 – Схема расчета условного угла сдвига материала  $\beta$ : 1 – резец; 2 – обрабатываемый материал; 3 – образующаяся стружка ( $a$  – толщина среза;  $V$  – скорость резания)

Используя приведенное выше решение, произведем расчет касательных напряжений  $\tau$  в зоне резания с учетом распределенной нагрузки, действующей на передней поверхности инструмента. Предположим, что радиальная  $q$  и тангенциальная  $F$  распределенные нагрузки определяют силовое воздействие резца на обрабатываемый материал в процессе резания. В нашей работе [6] получены аналитические зависимости для определения касательного напряжения  $\tau$ , возникающего в зоне резания от действия распределенных нагрузок  $q$  и  $F$ . Используя эти зависимости, на рис. 2, б,в,г приведены рассчитанные с помощью системы Mathcad 2000 поля напряжений (в виде линий одинаковых значений  $\tau/q$ ), возникающие в зоне стружкообразования при резании, с учетом трения на передней поверхности инструмента для различных значений коэффициента трения на передней поверхности резца  $f = F/q$ . Для сравнения на рис. 2,а показано поле напряжений (в виде линий одинаковых значений  $\tau/q$ ) для случая  $f = 0$ .

Как видно, в случае  $f = 0$  линии одинаковых значений  $\tau/q$  принимает форму окружностей, исходящих из конечных точек зоны контакта обрабаты-

ваемого материала (образующейся стружки) с передней поверхностью резца. Чем больше диаметр окружности, тем меньше значения  $\tau/q$ . В пределе, т.е. на бесконечном удалении от зоны контакта обрабатываемого материала с резцом,  $\tau/q \rightarrow 0$ . Наибольшие значения  $\tau/q$  достигаются вдоль окружности с диаметром, равным длине контакта образующейся стружки с передней поверхностью резца. Внутри данной окружности (так же как и снаружи) значения  $\tau/q$  меньше. Это указывает на то, что наиболее вероятно разрушение обрабатываемого материала вдоль данной окружности. Соответственно, условный угол сдвига материала  $\beta$  будет определяться соотношением толщины среза и длины контакта образующейся стружки с передней поверхностью резца (равной диаметру окружности одинаковых значений  $\tau/q$ ).

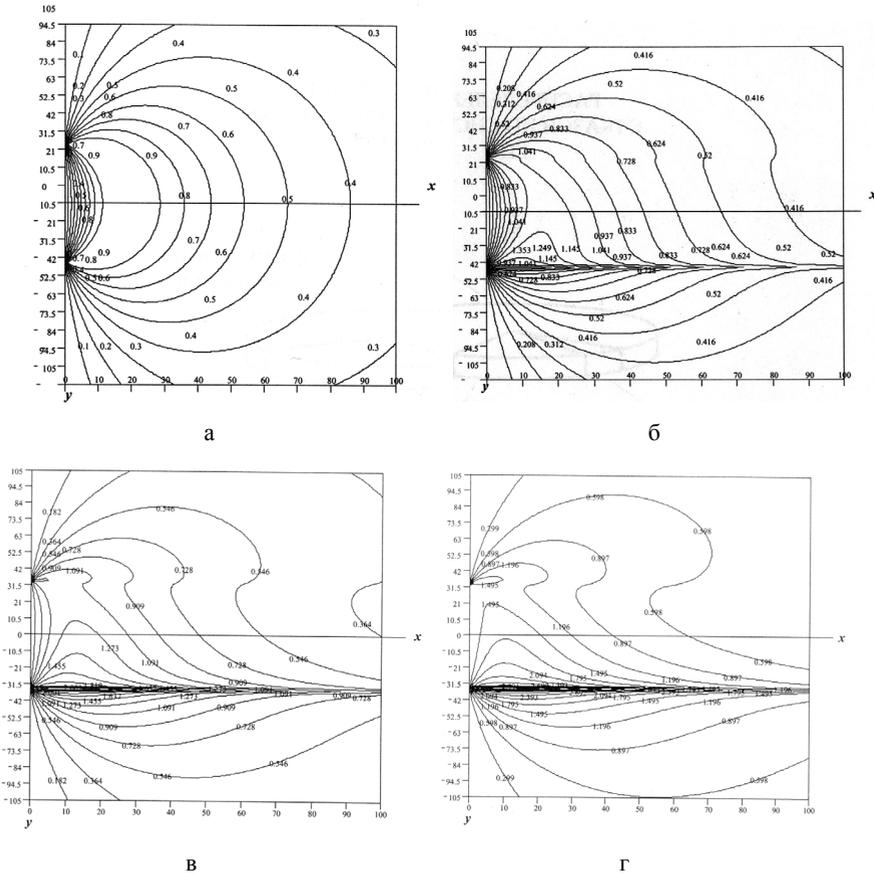


Рисунок 2 – Положения линий одинаковых значений  $\tau/q$  при  $f=0$  (а),  $f=0,1$  (б);  $f=0,4$  (в);  $f=0,6$  (г)

С увеличением коэффициента трения на передней поверхности резца  $f > 0$  окружности одинаковых значений  $\tau/q$  трансформируются в более сложные кривые, вытянутые вдоль горизонтальной линии, проходящей через вершину резца. Следовательно, наибольшие касательные напряжения будут достигаться в направлении движения инструмента и поэтому с физической точки зрения сдвиг обрабатываемого материала возможен лишь в данном направлении. В этом случае, очевидно, условный угол сдвига материала  $\beta$  следует рассматривать равным нулю, что существенно затрудняет процесс стружкообразования. Однако, реально образование стружки будет происходить и в этом случае, но при небольшом угле  $\beta$  и с высокой энергоемкостью обработки. Собственно этим можно объяснить то, что при обработке пластичных материалов (например, меди и латуни), как установлено экспериментально, условный угол сдвига материала  $\beta$  принимает весьма малые значения – на уровне  $3-6^{\circ}$ . Процесс резания происходит с высокой энергоемкостью, что приводит к увеличению сил и температуры резания, снижению качества обрабатываемых поверхностей.

Исходя из приведенных на рисунках графиков, уменьшить энергоемкость обработки можно при условии реализации максимальных касательных напряжений не в направлении движения инструмента, а под некоторым углом, например, равным положительному переднему углу резца  $\gamma > 0$ . Это будет соответствовать как бы повороту против часовой стрелки на угол  $\gamma$  приведенных на рисунках графиков. Тогда сдвиг обрабатываемого материала будет происходить вдоль линии, расположенной под углом  $\gamma$  к направлению движения инструмента, а это приведет к увеличению условного угла сдвига материала  $\beta$  и соответственно уменьшению энергоемкости обработки. Очевидно, чем больше передний угол инструмента  $\gamma$ , тем больше будет угол  $\beta$  и меньше энергоемкость обработки.

Следовательно, применяя инструменты с положительным передним углом можно принципиально изменить характер распределения касательных напряжений в зоне резания и обеспечить оптимальные условия для стружкообразования, уменьшить силовую и тепловую напряженность процесса резания, что хорошо согласуется с многолетней практикой обработки металлов резанием. Реальные значения условного угла сдвига материала  $\beta$  в этом случае могут быть как меньше, так и больше положительного переднего угла инструмента  $\gamma$ . Все будет зависеть от физико-механических свойств обрабатываемого материала и интенсивности трения образующейся стружки с передней поверхностью инструмента. Однако главным фактором, определяющим угол  $\beta$ , будет угол  $\gamma$ , т.к. именно он определяет направление действия максимальных касательных напряжений и соответственно направление разрушения (сдвига) обрабатываемого материала.

Такой же характер распределения касательных напряжений будет возникать и в режущем инструменте в процессе обработки. С учетом трения на передней поверхности инструмента наибольшие касательные напряжения будут достигаться в сечении, удаленном от вершины инструмента на величину, равную длине его контакта со стружкой. В данном сечении наиболее вероятно разрушение инструмента, что хорошо согласуется с экспериментальными данными, например, полученными нами при исследовании процесса создания (обработки) на торцевой поверхности цилиндрической детали кольцевой канавки специальным канавочным резцом из твердого сплава ВК6М. Установлено, что при этом инструменты выходят из строя в результате разрушения их режущей части. Причем, длина разрушенной части приблизительно равна длине контакта передней поверхности инструмента с образующейся стружкой, что соответствует полученному выше теоретическому решению и свидетельствует о его достоверности.

Полученные решения дополняют известные теоретические решения о характере протекания процесса стружкообразования при резании и о прочности режущих инструментов. Более глубокое понимание этих вопросов позволит научно обоснованно подойти к выбору оптимальных режимов резания и характеристик инструментов, включая их конструктивные параметры и физико-механические свойства инструментальных материалов, поскольку всевозрастающие требования к качеству и точности механической обработки предполагают изыскания новых технологических возможностей процесса резания.

**Выводы.** Таким образом, в работе приведена новая расчетная схема для определения полей напряжений в зоне стружкообразования при резании материалов с учетом действия на передней поверхности инструмента радиальной и тангенциальной распределенных нагрузок. Это позволило уточнить известные решения об определении условного угла сдвига материала и условиях стружкообразования, обосновать основные пути уменьшения энергоемкости механической обработки. Также научно обоснованы закономерности формирования напряжений в режущей части инструмента и определены условия их уменьшения.

**Список литературы:** 1. Грановский Г.И. Резание металлов: учебник / Г.И. Грановский, В.Г. Грановский – М.: Высшая школа, 1985. – 304 с. 2. Зорев Н.Н. Вопросы механики процесса резания металлов / Н.Н. Зорев. – М.: Машгиз, 1956. – 368 с. 3. Лоладзе Т.Н. Прочность и износостойкость режущего инструмента / Т.Н. Лоладзе. – М.: Машиностроение, 1982. – 320 с. 4. Бобров В.Ф. Основы теории резания металлов / В.Ф. Бобров. – М.: Машиностроение, 1975. – 343 с. 5. Тимошенко С.П., Гудьер Дж. Теория упругости. – Редакция физико-математической литературы. Изд. “Наука”. – 1975. – 576 с. 6. 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.

*Поступила в редколлегию 20.09.2010*