

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСЛОВИЙ УМЕНЬШЕНИЯ УСЛОВНОГО НАПРЯЖЕНИЯ РЕЗАНИЯ ПРИ СВЕРЛЕНИИ

Новиков Ф.В., Иванов И.Е.

(ХНЭУ, г. Харьков, Украина)

Введение

Сверление является одним из самых распространенных методов получения отверстий [1], поэтому его исследованию уделяется большое внимание. В настоящее время разработаны теоретические основы формообразования поверхностей при сверлении [2], спроектированы и широко используются на практике разнообразные конструкции сверл. Вместе с тем, вопросы обеспечения точности и качества обработки отверстий изучены недостаточно полно и требуют проведения дальнейших исследований. В особой мере это касается теоретического определения сил резания при сверлении, которые, как правило, формируют параметры точности и качества обрабатываемых отверстий. Как известно, в общем случае главная составляющая силы резания при лезвийной обработке определяется двумя факторами (кинематическим и энергетическим) и равна произведению площади поперечного сечения среза и условного напряжения резания [3]. Однако, в научно-технической литературе отсутствуют аналитические зависимости для определения условного напряжения резания, что не позволяет выявить условия его уменьшения и соответственно условия уменьшения силы резания. Поэтому целью настоящей работы является аналитическое описание и анализ условного напряжения резания σ .

Основное содержание работы

Применительно к процессу точения условное напряжение резания σ и коэффициент резания $K_{рез}$, равный отношению тангенциальной и радиальной составляющих силы резания, определяются следующими зависимостями [3]:

$$\sigma = \frac{\sigma_{сж}}{K_{рез}} \cdot \left(1 + \sqrt{1 + K_{рез}^2} \right); \quad K_{рез} = ctg(\psi - \gamma),$$

где $\sigma_{сж}$ – предел прочности на сжатие обрабатываемого материала, Н/м²; γ – передний угол инструмента, град; ψ – условный угол трения обрабатываемого материала с передней поверхностью инструмента ($tg \psi = f$ – коэффициент трения).

Как следует из зависимости (1), условное напряжение резания σ тем меньше, чем больше коэффициент резания $K_{рез}$. Увеличить коэффициент резания $K_{рез}$, согласно зависимости (1), можно увеличением переднего угла инструмента γ и уменьшением условного коэффициента трения ψ обрабатываемого материала с передней поверхностью инструмента. Задавая значения $\sigma_{сж}$, γ , ψ , по приведенным зависимостям несложно определить параметры σ и $K_{рез}$.

Используя зависимости (1), установим параметры σ и $K_{рез}$ при сверлении. Для упрощения расчетов примем, что угол сверла в плане $2\varphi = 180^\circ$, а передняя поверхность режущего лезвия сверла имеет вид, показанный на рис. 1, т.е. передний угол лезвия

сверла равен нулю. За время одного вращения сверло перемещается в осевом направлении на величину подачи S . При этом каждая точка режущего лезвия проходит разную длину пути: точка A – наибольшую, а точка O – наименьшую. На рис. 1, б показана развертка траектории перемещения (по винтовой линии) точки B , расположенной на режущем лезвии сверла, в точку B' за одно вращение сверла. В результате такого перемещения точки B рабочий передний угол инструмента увеличится от нуля до величины γ , определяемой следующей зависимостью:

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{S}{2\pi \cdot R_i}, \quad (2)$$

где R_i – текущий радиус сверла, м.

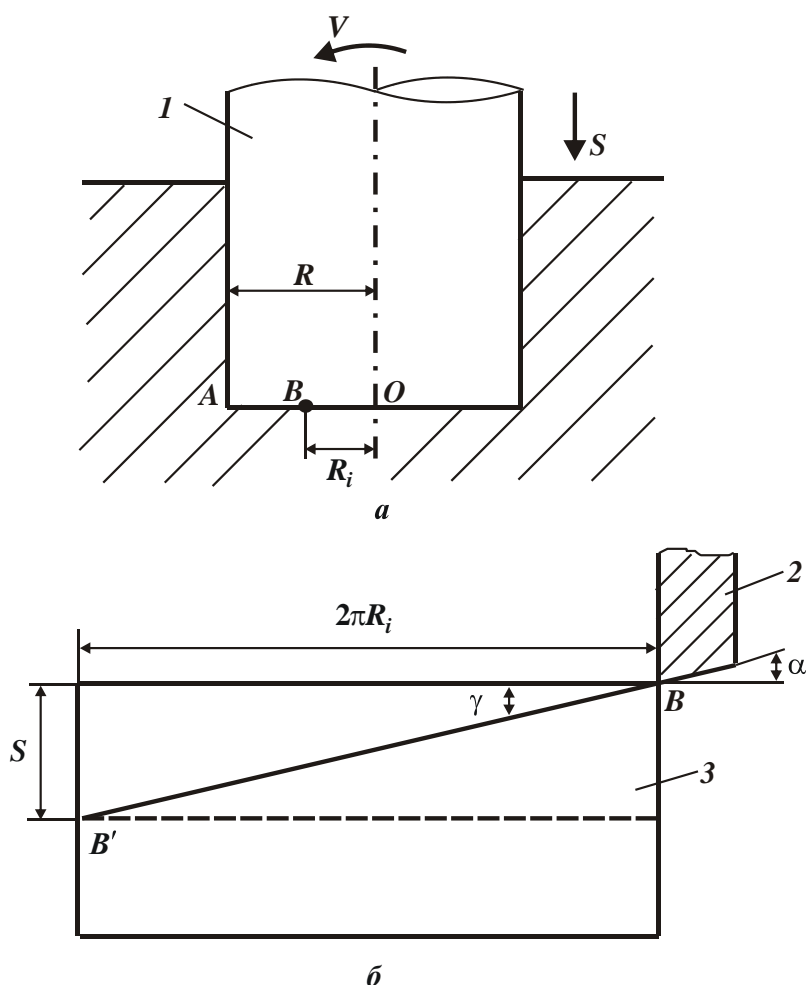


Рис. 1. Упрощенная расчетная схема процесса сверления (а) и развертка траектории перемещения точки, расположенной на режущем лезвии сверла (б):

1 – сверло; 2 – лезвие сверла; 3 – обрабатываемый материал

Передний угол сверла γ тем больше, чем больше подача S и меньше текущий радиус сверла R_i . Очевидно, для точки A режущего лезвия сверла радиусом R

передний угол примет наименьшее значение $tg\gamma = \frac{S}{2\pi \cdot R}$. Для точки O режущего лезвия сверла передний угол будет наименьшим: $\gamma = 90^\circ$, т.к. $R_i = 0$. В этом случае, как будет показано далее, процесс резания неосуществим, возможен лишь процесс упруго-пластического деформирования обрабатываемого металла. Этим установлено, что при сверлении рабочий передний угол инструмента зависит от подачи и радиуса сверла. Тогда

$$R_i = \frac{S}{2\pi} \cdot ctg\gamma. \quad (3)$$

Как известно, с увеличением угла γ от 0 до 90° функция $ctg\gamma$ уменьшается от бесконечности до нуля. Соответственно, по такому закону уменьшается и текущий радиус R_i . Необходимо отметить, что, исходя из рис. 1, б, угол γ не должен превышать задний угол режущего лезвия сверла α , т.к. в противном случае процесс резания будет неосуществим. Следовательно, задний угол лезвия сверла α должен определяться из условия:

$$tg\alpha \geq \frac{S}{4\pi \cdot R_i}. \quad (4)$$

Из условия (4) следует, что задний угол лезвия сверла α должен быть переменным по длине лезвия сверла. Наименьшее значение угол α должен принимать в точке A , а наибольшее значение – $\alpha = 90^\circ$ в точке O . Располагая зависимостью (2), с учетом (1), определим $K_{рез}$:

$$K_{рез} = ctg(\psi - \gamma) = \frac{\left(1 + f \cdot \frac{S}{2\pi \cdot R_i}\right)}{\left(f - \frac{S}{2\pi \cdot R_i}\right)}. \quad (5)$$

Как видно, коэффициент резания $K_{рез}$ в значительной степени зависит от текущего радиуса R_i . Чем меньше R_i , тем больше $K_{рез}$ и соответственно меньше условное напряжение резания σ , определяемое зависимостью (1). Следовательно, меньше силовая напряженность процесса резания при сверлении.

С физической точки зрения коэффициент резания $K_{рез}$ положительная величина. Однако, исходя из зависимости (5), при условии $f < \frac{S}{2\pi \cdot R_i}$ он принимает отрицательные значения (рис. 2). В этом случае процесс резания не осуществим, возможен лишь процесс упруго-пластического деформирования обрабатываемого металла без образования стружки. Таким образом, при условии $f = \frac{S}{2\pi \cdot R_i}$ с увеличением текущего радиуса сверла R_i (см. рис. 2) происходит переход от упруго-пластического деформирования обрабатываемого металла к процессу резания, когда

образуется стружка. Коэффициент резания $K_{рез}$ при этом принимает значение $K_{рез} \rightarrow \infty$. Из зависимости (5) следует, что при $R_i \rightarrow \infty$ коэффициент резания $K_{рез}$ принимает значение $K_{рез} = 1/f$.

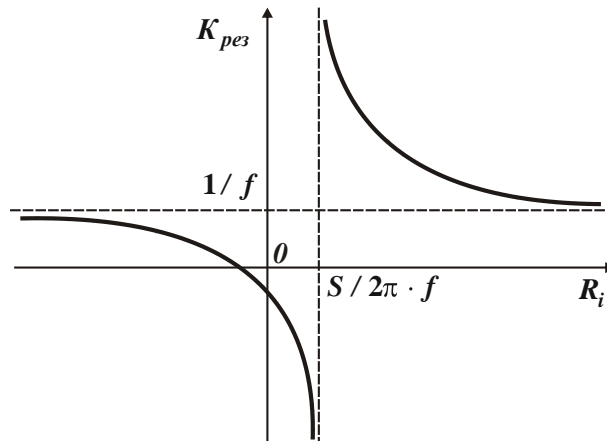


Рис. 2. Общий вид зависимости $K_{рез} - R_i$.

Из данного условия можно определить предельное значение текущего радиуса R_i , при котором осуществим процесс стружкообразования при резании: $R_i = S/2\pi \cdot f$. На рис. 3 приведены расчетные значения R_i в зависимости от коэффициента трения f обрабатываемого металла с передней поверхностью режущего лезвия сверла и подачи S . Как видно, эти значения относительно небольшие, не превышают 1 мм. Следовательно, процесс стружкообразования неосуществим лишь на небольшом участке длины лезвия, т.е. фактически в центре сверла. Поскольку на данном участке невозможно срезать металл, его необходимо переместить за пределы этого участка методом пластического деформирования, а затем срезать. Это достигается созданием на сверле конуса или перемычки.

Зависимость (5) справедлива в диапазоне изменения текущего радиуса R_i от значения $S/2\pi \cdot f$ до радиуса сверла R (рис. 4). Для условий обработки: $f=0,3$; $S = 0,6$ мм/об текущий радиус R_i изменяется в диапазоне $R_i \geq 0,318$ мм, поскольку при $R_i < 0,318$ мм процесс резания неосуществим. Коэффициент резания $K_{рез}$ при этом уменьшается от бесконечности до значения 3,33. С увеличением подачи S коэффициент резания $K_{рез}$ увеличивается, а с увеличением коэффициента трения f , наоборот, уменьшается (рис. 5).

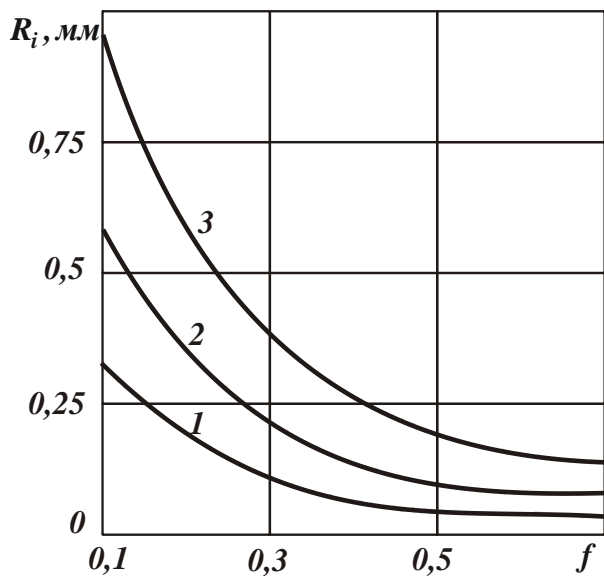


Рис. 3. Зависимость R_i от f : 1 – $S=0,2$ мм/об; 2 – $S=0,4$ мм/об; 3 – $S=0,6$ мм/об.

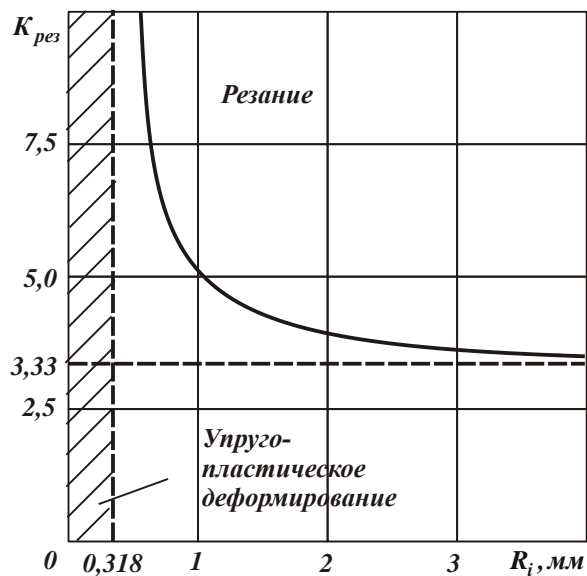
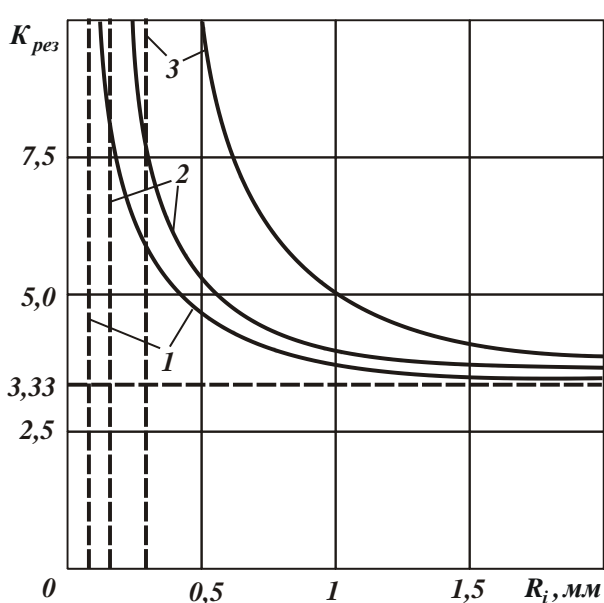
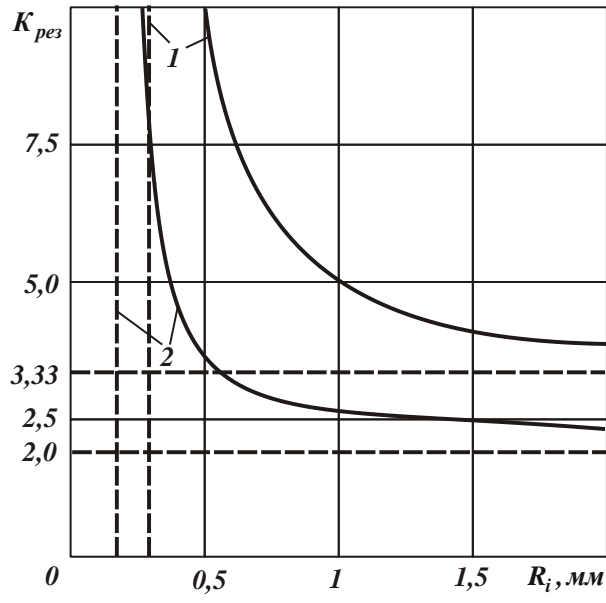


Рис. 4. Зависимость $K_{рез}$ от R_i ($f=0,3$; $S=0,6$ мм/об).



а



б

Рис. 5. Зависимости $K_{рез}$ от R_i для различных значений S (а) и f (б):

а – $f=0,3$; 1 – $S=0,1$ мм/об; 2 – $S=0,3$ мм/об; 3 – $S=0,6$ мм/об;

б – $S=0,6$ мм/об; 1 – $f=0,5$

Для определения условного напряжения резания σ преобразуем зависимость (1):

$$\sigma = \sigma_{сж} \cdot \left[\operatorname{tg}(\psi - \gamma) + \frac{1}{\cos(\psi - \gamma)} \right]. \quad (6)$$

При изменении угла трения ψ в пределах до $30 - 40^\circ$, независимо от переднего угла режущего лезвия сверла γ , функция $\cos(\psi - \gamma)$ будет принимать значения, близкие к единице. Поэтому для упрощения расчетов в первом приближении примем $\cos(\psi - \gamma) \approx 1$. Тогда зависимость (6) опишется так:

$$\sigma = \sigma_{сж} \cdot [\operatorname{tg}(\psi - \gamma) + 1] = \sigma_{сж} \cdot \left(\frac{1}{K_{рез}} + 1 \right). \quad (7)$$

Условное напряжение резания σ с учетом зависимости (5) примет вид:

$$\sigma = \sigma_{сж} \cdot \left(\frac{1}{K_{рез}} + 1 \right) = \sigma_{сж} \cdot \left[\frac{\left(f - \frac{S}{2\pi \cdot R_i} \right)}{\left(1 + f \cdot \frac{S}{2\pi \cdot R_i} \right)} + 1 \right]. \quad (8)$$

Также как и коэффициент резания $K_{рез}$, условное напряжение резания σ зависит от текущего радиуса R_i . Чем меньше R_i , тем меньше σ (рис. 6).

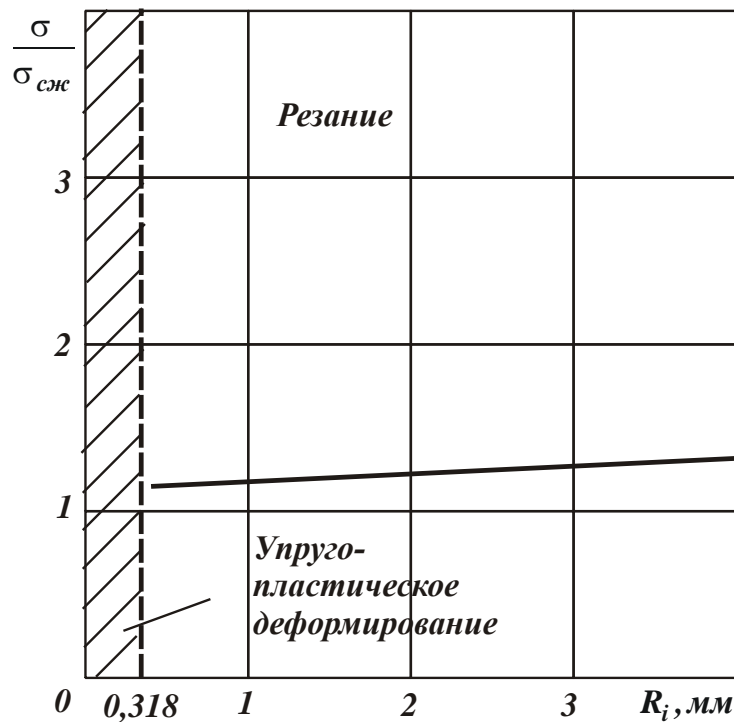


Рис. 6. Зависимость $\sigma / \sigma_{сж}$ от R_i ($f=0,3$; $S=0,6$ мм/об).

Однако, условное напряжение резания σ с увеличением R_i изменяется в меньшей мере, чем коэффициент резания $K_{рез}$. Поэтому его в первом приближении можно рассматривать постоянным, не зависящим от R_i . В общем случае условное напряжение резания σ при сверлении, в соответствии с зависимостью (8), вполне однозначно определяется коэффициентом резания $K_{рез}$. Уменьшить его можно лишь путем увеличения $K_{рез}$ за счет увеличения подачи S и уменьшения коэффициента трения f . Однако, как известно, увеличение подачи ведет к увеличению площади поперечного сечения среза и силы резания. В связи с этим основным условием уменьшения условного напряжения резания σ при сверлении следует рассматривать уменьшение коэффициента трения f , например, за счет использования вибраций при сверлении.

Таким образом, произведен расчет и исследования параметров σ и $K_{рез}$, которые важны при выборе оптимальных условий обработки [4, 5]. Так, полученные теоретические результаты использованы при создании и внедрении новой технологии механической обработки герметических отверстий с конической резьбой в горловинах баллонов. Основным недостатком действующей технологии было низкое качество нарезаемой резьбы в отверстиях. Потери от брака по резьбе составляли 15,5 %, что связано главным образом с низкой точностью обработки отверстий на переходах сверления и развертывания. Снижение силовой напряженности процесса сверления в совокупности с повышением жесткости технологической системы позволило повысить точность и качество обработки резьбовых отверстий и фактически полностью устранить потери от брака обработанных баллонов. В результате достигнут значительный эффект в условиях крупносерийного и массового производства баллонов на автоматических линиях.

Выводы

Аналитически описаны основные параметры силовой напряженности процесса резания при сверлении и установлены условия уменьшения условного напряжения резания, который по физической сути определяет энергоемкость процесса обработки. Практическое применение полученных теоретических результатов, например, при обработке резьбовых отверстий в горловинах баллонов позволило существенно повысить точность и качество обработки отверстий, фактически исключить потери от брака обработанных баллонов.

Список литературы: 1. Бобров В.Ф. Основы теории резания металлов. – М.: Машиностроение, 1975. – 343 с. 2. Родин П.Р. Металлорежущие инструменты: Учебник для вузов. 3-е изд., перераб. и доп. – К.: Вища школа. Головное изд-во, 1986. – 455 с. 3. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения / Под общей редакцией Ф.В. Новикова и А.В. Якимова. В десяти томах. – Т.1. “Механика резания материалов” – Одесса: ОНПУ, 2002. – 580 с. 4. Теоретические основы резания и шлифования материалов: Учебное пособие / А.В. Якимов, Ф.В. Новиков, Г.В. Новиков, Б.С. Серов, А.А. Якимов. – Одесса: ОГПУ, 1999. – 450 с. 5. Новиков Ф.В., Иванов И.Е. Технологическое обеспечение точности и стабильности изготовления внутренних герметических резьб в горловинах газовых баллонов в условиях крупносерийного и массового производства // Физические и компьютерные

технологии – Труды 12-й Международной научно-технической конференции. – Харьков: ХНПК “ФЭД”, 2006. – С. 3-9.

**ВИЗНАЧЕННЯ УМОВ ЗМЕНШЕННЯ УМОВНОГО НАПРУЖЕННЯ РІЗАННЯ
ПРИ СВЕРДЛІННІ**

Новіков Ф.В., Іванов І.Є.

Наведено нову методику аналітичного визначення умовної напруги різання і коефіцієнта різання при свердлінні та обґрунтовані умови зменшення силового напруження процесу свердління.

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСЛОВИЙ УМЕНЬШЕНИЯ УСЛОВНОГО НАПРЯЖЕНИЯ
РЕЗАНИЯ ПРИ СВЕРЛЕНИИ**

Новиков Ф.В., Иванов И.Е.

Приведена новая методика аналитического определения условного напряжения резания и коэффициента резания при сверлении и обоснованы условия снижения силовой напряженности процесса сверления.

**DETERMINATION OF CONDITIONS OF REDUCTION OF THE CONDITIONAL
CUTTING STRESS AT DRILLING**

Novikov F.V., Ivanov I.E.

The new technique of analytical determination of the conditional cutting stress and factor of cutting is resulted for drilling and conditions of reduction in force intensity of drilling process are proved.

Рецензент: д.т.н., проф. Матюха П.Г.