

**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]:

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

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.

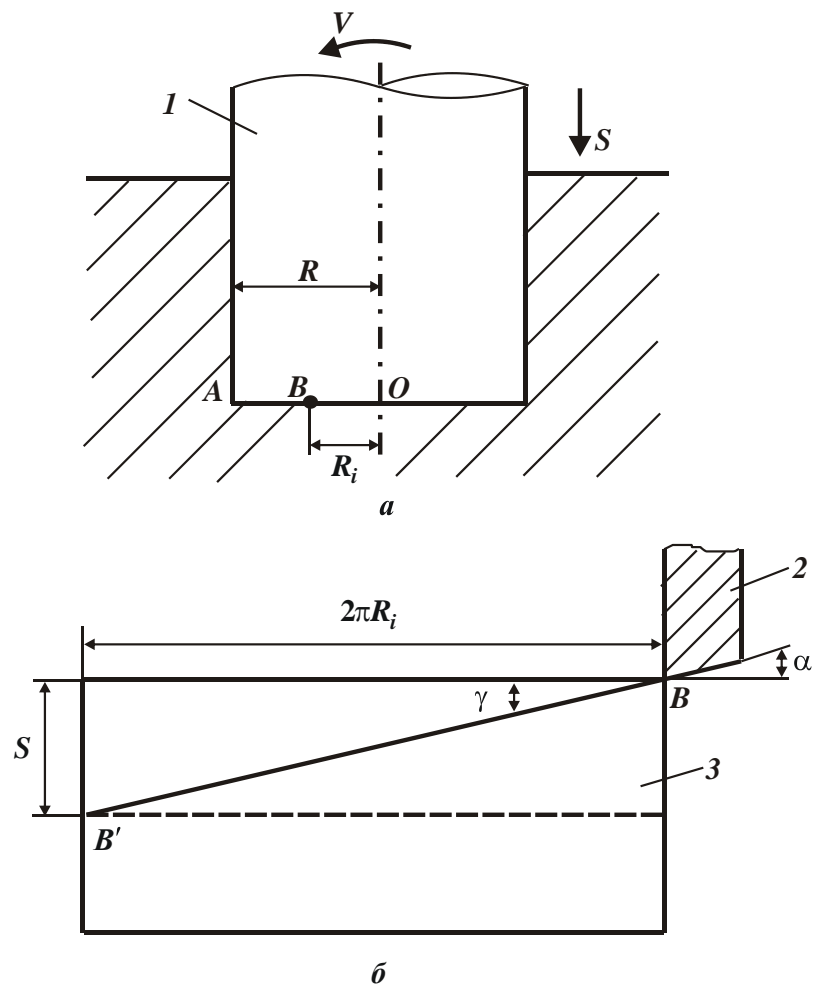


Рис. 1. Упрощенная расчетная схема процесса сверления (а) и развертка траектории перемещения точки, расположенной на режущем лезвии сверла (б): 1 – сверло; 2 – лезвие сверла; 3 – обрабатываемый материал.

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: $\gamma = 90^0$, 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 90^0 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 – $\alpha = 90^0$ 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 (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 $K_{рез} = 1/f$.

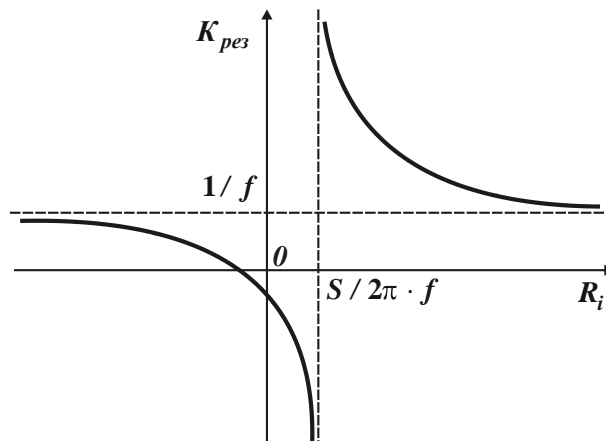


Рис. 2. Общий вид зависимости $K_{рез} - R_i$.

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.

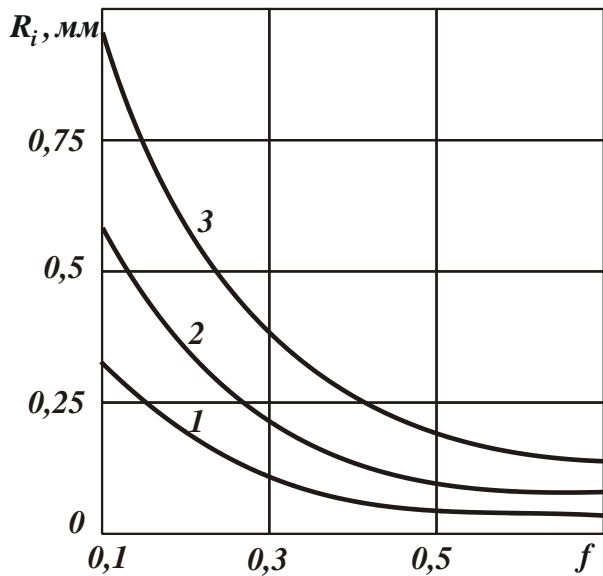


Рис. 3. Зависимость R_i от f : 1 – $S=0,2$ мм/об; 2 – $S=0,4$ мм/об; 3 – $S=0,6$ мм/об.

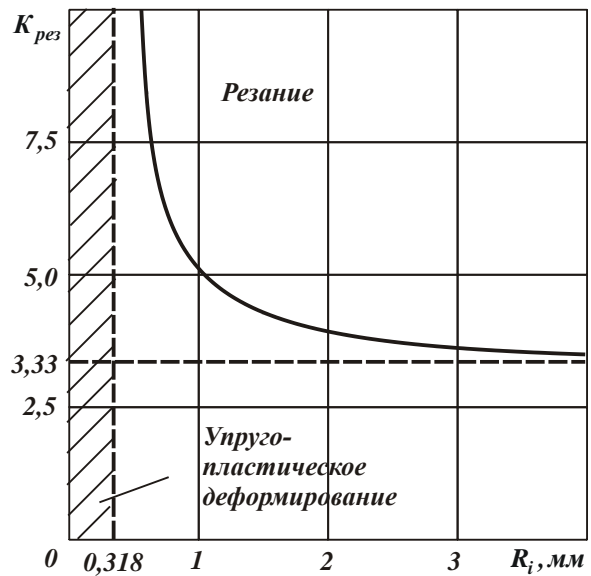
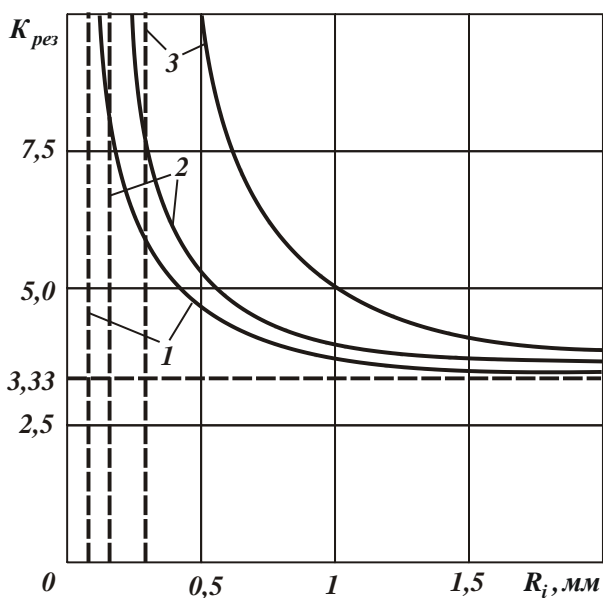
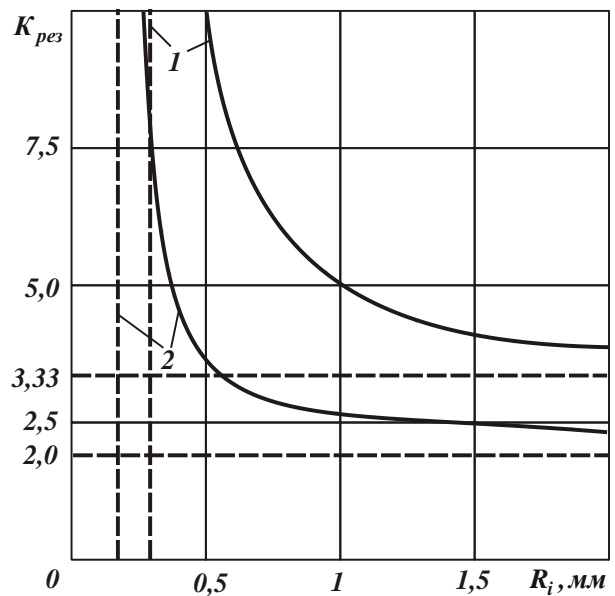


Рис. 4. Зависимость $K_{рез}$ от R_i ($f=0,3$; $S=0,6$ мм/об).

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.



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:

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

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

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

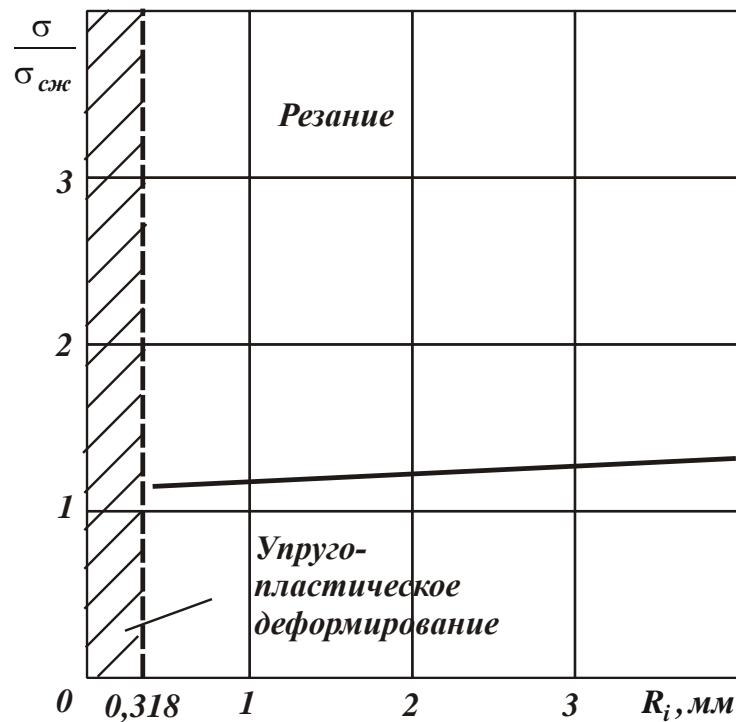


Рис. 6. Зависимость $\sigma / \sigma_{сж}$ от R_i ($f = 0,3$; $S = 0,6$ мм/об).

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). 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 шк. 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.