

## АНАЛИЗ РАБОТОСПОСОБНОСТИ СФЕРИЧЕСКОЙ ОПОРЫ ПРИ ОБРАБОТКЕ ОТВЕРСТИЙ ПРОТЯЖКАМИ

Г.И. Беляева, Н.Г. Алехнович, К.М. Паращенко

*Белорусский национальный технический университет, Минск*

*Протягивание* – одна из эффективных операций обработки материалов резанием, выполняемая режущим инструментом-протяжкой, обеспечивающая получение изделий высокой точности (до 6-го качества) и шероховатость обработанной поверхности до  $Ra = 0,32$  мкм. Протяжка – многозубый инструмент с рядом последовательно выступающих друг над другом зубьев в направлении, перпендикулярном скорости главного движения резания. Протягивание применяется для обработки внутренних и наружных поверхностей металлических (редко неметаллических) материалов с высокой точностью:

- обработки отверстий нарезного огнестрельного оружия (стволы пистолетов, пулеметов, пушек);
- обработки посадочных поверхностей лопаток турбин авиадвигателей;
- нарезания шлицев и шпоночных канавок;
- обработки сложных наружных профилей;
- калибровки цилиндрических, многогранных, фигурных отверстий.

По сравнению с другими способами механической обработки протягивание имеет ряд преимуществ:

1) одновременное участие в работе нескольких зубьев обеспечивает большую величину минутной подачи в процессе протягивания. При этом, несмотря на низкую скорость рабочего движения  $V = 2...12$  м/мин (по чугуна твердосплавные протяжки имеют  $V = 40...50$  м/мин), относительная скорость снятия припуска получается выше, чем у других инструментов, что определяет высокую производительность процесса протягивания;

2) точность обработки не ниже 7-го качества;

3) высокое качество обрабатываемых поверхностей –  $Ra = 0,92$  мкм и в отдельных случаях –  $Ra = 0,16$  мкм по ГОСТ 2789–73;

4) значительная стойкость протяжек;

5) уменьшение количества бракованных деталей;

6) возможность использования рабочих низкой квалификации;

7) сокращение расходов на эксплуатацию инструмента.

Технологический процесс обработки деталей протягиванием сокращает время обработки и обеспечивает высокое качество деталей. Однако этот процесс имеет и недостаток, заключающийся в том, что при всегда имеющей место неперпендикулярности торца к оси подготовленной под протягивание отверстия детали на ее обработанной поверхности остаются «черновины» или происходит поломка протяжки – сравнительно дорогостоящего инструмента. С целью исключения поломок протяжек при обработке отверстий деталей с такой погрешностью на протяжных станках используют самоустанавливающуюся сферическую опору. Схема протягивания отверстия с применением такой опоры показана на рис. 1, где 1 – протяжка, 2 – обрабатываемая деталь, 3 – опора, 4 – фланец.

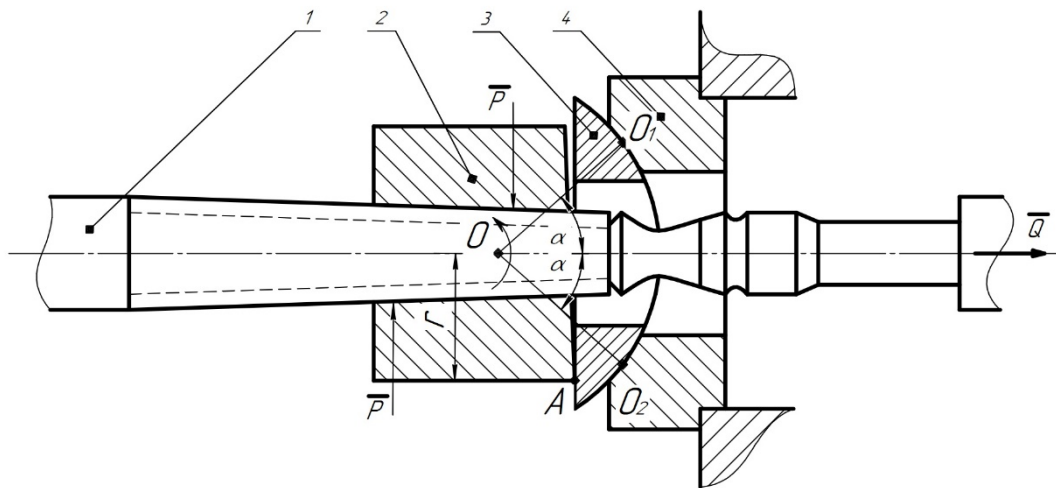


Рис.'1. Схема протягивания отверстия с применением сферической опоры

На рис. 2 показана схема детали с указанной погрешностью и ее положение относительно торца опорного фланца протяжного станка.

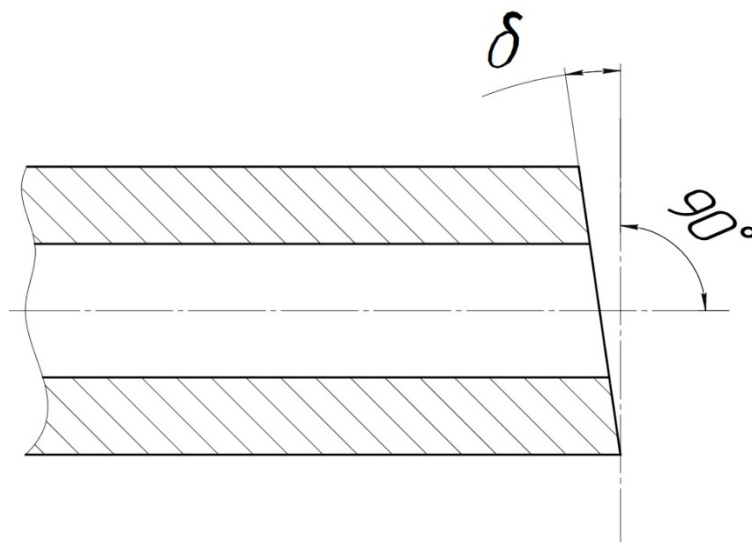


Рис.'2. Схема расположения опорного торца обрабатываемой детали

При жестком закреплении фланца 4 и отсутствии шаровой опоры под действием приложенного усилия  $\vec{Q}$  к протяжке 1 и детали 2 из-за одностороннего контакта с ее торцевой поверхностью опоры деталь будет поворачиваться вокруг оси, проходящей через точку  $O$ . Вместе с деталью под действием момента от пары сил  $(\vec{P}, \vec{P})$  будет поворачиваться и протяжка, что вызовет изгиб ее тела в направлении, перпендикулярном оси. При значительном перекосе торца детали в результате действия изгибающего момента может произойти поломка протяжки. С целью обеспечения равномерного съема припуска в отверстии при протягивании, а также устранения изгиба оси протяжки применяются сферические опоры к протяжным станкам. Принципа работы такой опоры показан на рис. 3, на котором опора постоянно прижата к фланцу с некоторой силой. В начальный момент резания при воздействии детали 2 на торец опоры 3 в точке  $A$  опора будет поворачиваться, преодолевая силы трения, вокруг точки  $O$  в направлении, указанном круговой стрелкой до тех пор, пока торцы опоры и детали не соприкоснутся всей своей плоскостью. После самоустановки опоры 3 по торцу обрабатываемой детали

ось ее совпадает с осью протяжки, и при этом будет протекать нормальный процесс протягивания.

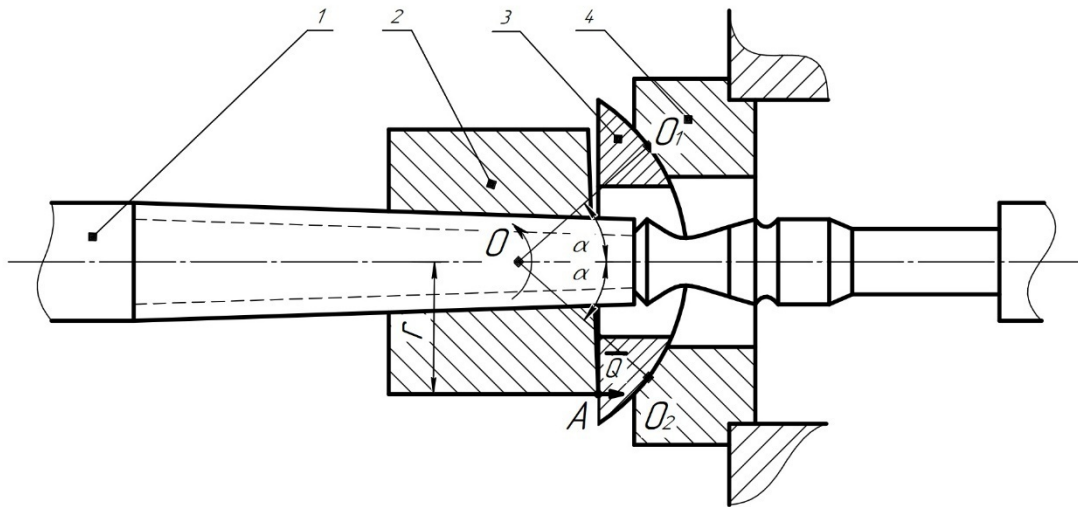


Рис. 3. 'Схема принципа работы сферической опоры

Однако при применении самоустанавливающихся сферических опор все же имеют место поломки протяжек, так как под действием сил трения опора не самоустанавливается по торцу детали. Задача нашей работы состояла в том, чтобы установить, при каком радиусе  $r$  опорного торца обрабатываемой детали опора будет самоустанавливаться под действием сил, приложенных к ней и с учетом радиуса  $R$  сферы шаровой опоры. При расчетах были сделаны следующие допущения: пространственную систему сил, действующую на опору, свели к плоской системе сил; распределенную нагрузку заменили сосредоточенной, приложенной в точках  $O_1$  и  $O_2$ , положение которых на рисунке задано углом  $\alpha$ .

Определение зависимости между параметрами опоры и детали производилось по схеме, изображенной на рис. 4.

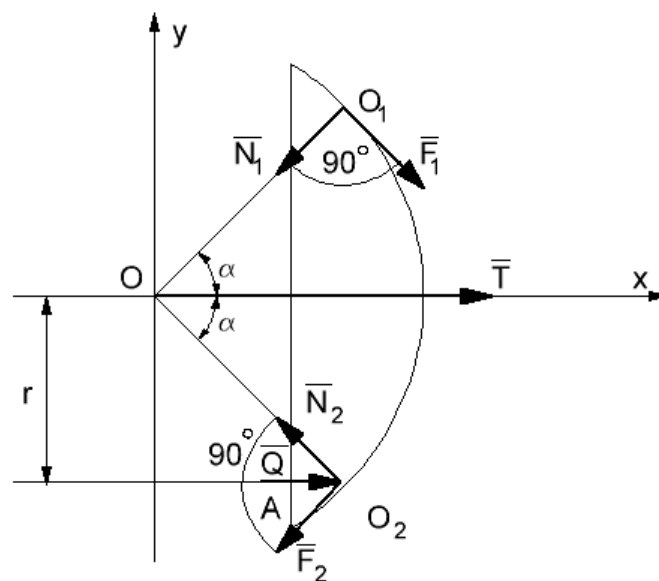


Рис. 4. 'Определение зависимости между параметрами опоры и детали

где  $\vec{Q}$  – сила резания;

$\vec{N}_1, \vec{N}_2$  – силы нормального давления;

$\vec{F}_1, \vec{F}_2$  – силы трения в точках  $O_1$  и  $O_2$ .

Находящаяся в произвольном положении опора будет самоустанавливаться под действием сил, приложенных к ней, если будет выполняться условие, полученное из уравнения моментов сил относительно точки  $O$ ;

$$\begin{aligned}\sum M_0(\vec{F}_k) &= 0 \\ Q_r &\geq F_1 R + F_2 R; \\ Q_r &\geq Rf(N_1 + N_2).\end{aligned}\tag{1}$$

Для определения  $\vec{N}_1$  и  $\vec{N}_2$  составим уравнение проекций всех сил на оси координат  $X$  и  $Y$ .

Проекция на ось  $OX$ :

$$\begin{aligned}\sum F_{kx} = 0; \quad Q + F_1 \sin \alpha - N_1 \cos \alpha - N_2 \cos \alpha - F_2 \sin \alpha + T &= 0; \\ Q + N_1(f \sin \alpha - \cos \alpha) - N_2(f \sin \alpha + \cos \alpha) + T &= 0\end{aligned}\tag{2}$$

С целью сокращения записи введем обозначения для величин:

$$\begin{aligned}(f \sin \alpha - \cos \alpha) &= A; \\ (f \sin \alpha + \cos \alpha) &= B.\end{aligned}$$

Тогда уравнение (2) с учетом принятых обозначений примет вид

$$Q + N_1 A - N_2 B + T = 0.\tag{3}$$

Спроецируем все силы, приложенные к опоре, на ось  $OY$  и приравняем к нулю:

$$\begin{aligned}\sum F_{ky} = 0; \quad -N_1 \sin \alpha - F_1 \cos \alpha + N_2 \sin \alpha - F_2 \cos \alpha &= 0; \\ N_1(\sin \alpha + f \cos \alpha) + N_2(f \cos \alpha - \sin \alpha) &= 0.\end{aligned}\tag{4}$$

Введем обозначения:

$$\begin{aligned}(\sin \alpha + f \cos \alpha) &= C \\ (f \cos \alpha - \sin \alpha) &= D\end{aligned}$$

Уравнение (4) получим в виде

$$N_1 C + N_2 D = 0.\tag{5}$$

Из уравнения (5) выразим  $N_1$  через  $N_2$ :

$$N_1 = -N_2 \frac{D}{C}.$$

Далее для определения  $N_1$  подставим значение  $N_2$  в уравнение (3):

$$Q - N_2 \frac{DA}{C} - N_2 B + T = 0.\tag{6}$$

Из одного уравнения, с учетом принятых обозначений и небольших преобразований, получим

$$\begin{aligned}
 N_2 &= \frac{(Q+T)C}{DA+BC} = \frac{(Q+T)(\sin \alpha + f \cos \alpha)}{(f \cos \alpha - \sin \alpha)(f \sin \alpha - \cos \alpha) + (f \sin \alpha + \cos \alpha)(f \sin \alpha + \cos \alpha)} = \\
 &= \frac{(Q+T)(\sin \alpha + f \cos \alpha)}{f^2 \sin \alpha \cos \alpha - f \sin^2 \alpha - f \cos^2 \alpha + \sin \alpha \cos \alpha + f \sin^2 \alpha + \cos \alpha \sin \alpha + f^2 \sin \alpha \cos \alpha + f \cos^2 \alpha} = \\
 &= \frac{(Q+T)(\sin \alpha + f \cos \alpha)}{2f^2 \sin \alpha \cos \alpha + 2 \sin \alpha \cos \alpha} ; \tag{7}
 \end{aligned}$$

$$N_1 = -N_2 \frac{D}{C} = -\frac{(Q+T)C}{(DA+BC)} \frac{D}{C} = -\frac{(Q+T)(f \cos \alpha - \sin \alpha)}{2f^2 \sin \alpha \cos \alpha + 2 \sin \alpha \cos \alpha} ;$$

$$N_1 = \frac{(Q+T)(\sin \alpha - f \cos \alpha)}{2f^2 \sin \alpha \cos \alpha + 2 \sin \alpha \cos \alpha} . \tag{8}$$

Полученные значения сил  $N_1$  и  $N_2$  подставим в неравенство (1) и несколько преобразуя его, окончательно получим

$$\begin{aligned}
 r &\geq \frac{R}{Q} f(N_1 + N_2) = \\
 &= \frac{R}{Q} f \left[ \frac{(Q+T)(\sin \alpha - f \cos \alpha) + (Q+T)(\sin \alpha + f \cos \alpha)}{2f^2 \sin \alpha \cos \alpha + 2 \sin \alpha \cos \alpha} \right] = \\
 &= \frac{Rf(Q+T)}{Q} \left[ \frac{\sin \alpha - f \cos \alpha + \sin \alpha + f \cos \alpha}{2f^2 \sin \alpha \cos \alpha + 2 \sin \alpha \cos \alpha} \right] = \\
 &= \frac{(Q+T)Rf}{Q} \frac{2 \sin \alpha}{2f^2 \sin \alpha \cos \alpha + 2 \sin \alpha \cos \alpha} = \frac{(Q+T)Rf}{Q(1+f^2) \cos \alpha} ; \\
 r &\geq \frac{(Q+T)fR}{Q(1+f^2) \cos \alpha} . \tag{9}
 \end{aligned}$$

В результате расчетов получена зависимость между расстоянием  $r$  точки приложения силы к опоре со стороны обрабатываемой детали и параметрами сферической опоры. Из этой зависимости следует, что вероятность самоустановок опоры увеличивается с уменьшением радиуса сферы  $R$ , коэффициента трения  $f$  и угла  $\alpha$ . Самоустановка опоры от силы резания  $Q$  почти не зависит, так как усилие  $T$  предварительного поджима опоры к фланцу во много раз меньше силы  $Q$  и отношение  $(Q+T)/Q$  близко к единице. По уравнению (9) можно производить расчеты при конструировании сферических опор, а также проверку при их применении для конкретных обрабатываемых деталей с целью исключения поломок дорогостоящего инструмента.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Демидов, В. В. «Расчет и проектирование протяжек» Часть 1. Учебное пособие / В.В. Демидов, Г.И. Киреев, М.Ю. Смирнов. – Ульяновск: УлГТУ, 2005 г. – 54 с.
2. Губанов, В.С. «Протяжки для обработки шлицевых отверстий с эвольвентным профилем как энергосберегающий инструмент» Монография. / В.С. Губанов, Ю.Н. Селезнев. – Саарбрюккен: LAP Lambert Academic Publishing, 2012. – 325 с.
3. Миткевич, С. И. «Задания по курсу Теоретическая механика» для студентов машиностроительных специальностей. / С.И. Миткевич, В.П. Яцерицын // – Минск .: Ротапринт БПИ, 1981. – 23 с.