

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАЧАЛЬНОГО СМЕЩЕНИЯ ОСИ ОТВЕРСТИЯ ПРИ ГЛУБОКОМ СВЕРЛЕНИИ

Коваленко В.И., Свистун Т.В. (ДонНТУ, г. Донецк, Украина)

The paper contains data on main causes of initial withdrawal of drill axis. The basic mathematical dependences for determination of withdrawal of drill axis are resulted. Influence of various factors on size of initial displacement of drill axis is considered. Question of practical application of results of performed researches are displayed.

Обзор состояния вопроса

Глубокое сверление является специфической технологической операцией, широко применяемой в современном производстве. Сложность обработки глубоких отверстий заключается в малой жесткости инструмента, что приводит к значительным погрешностям обработки [1, 2]. Поэтому необходимо определить факторы, оказывающие наибольшее влияние на точность обработки при глубоком сверлении, и наметить пути уменьшения их влияния. В данной работе исследуется один из таких факторов, а именно начальное смещение оси отверстия, и устанавливается взаимосвязь этого фактора с другими.

Целью работы является определение зависимости начального смещения оси отверстия при глубоком сверлении от следующих факторов: а) длины рабочей части сверла; б) расстояния от правого торца кондукторной втулки до торца детали; в) от зазора в кондукторной втулке.

Определение начального смещения оси отверстия при глубоком сверлении

На результирующий увод оси отверстия значительное влияние оказывает начальное смещение оси отверстия. Для определения начального смещения оси отверстия рассмотрим наиболее общий случай – сверление через кондукторную втулку (рис.1). На рисунке 1 обозначено: d – диаметр сверла, a – расстояние от правого торца кондукторной втулки до торца детали, x – расстояние от места заделки сверла до торца обрабатываемой детали, l – длина рабочей части сверл, Δ – радиальный зазор между кондукторной втулкой и сверлом.

Предположим, что при отсутствии нагрузки оси сверла и кондукторной втулки совпадают. Сверло представим в виде балки, защемленной одним концом и опирающейся на промежуточную опору [3] (рис.2). На рисунке 2 обозначено: $M_{изг}$ – изгибающий момент, Q_0 – поперечная сила, A - реакция опоры, ΔP – неуравновешенная составляющая радиальной силы резания, a – длина консоли (рабочей части сверла,

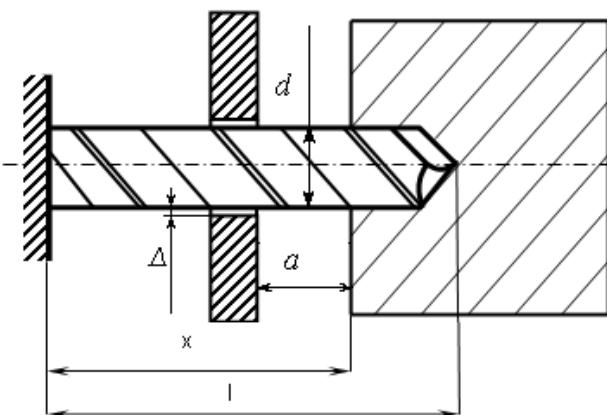


Рис. 1. Схема процесса сверления через кондукторную втулку

выступающей за правый торец кондукторной втулки), l – длина рабочей части сверла.

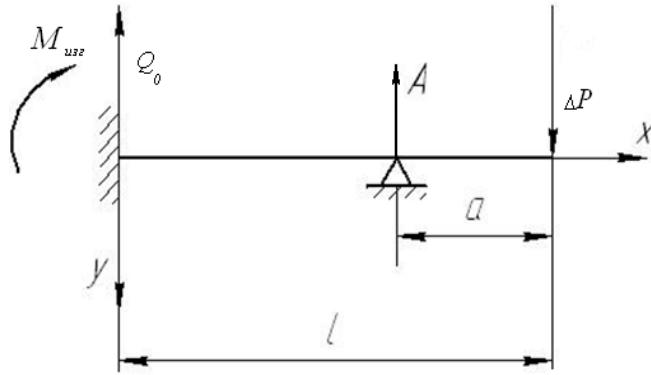


Рис. 2. Упрощенная схема сверления
отверстия с использованием кондукторной втулки

Для наиболее распространенного в машиностроении сверления отверстий диаметром до 30мм массой рабочей части сверла в условиях устойчивого сверления можно пренебречь. Рассмотрим действие только неуравновешенной составляющей радиальной силы ΔP .

Для схемы, представленной на рисунке 2, уравнение изогнутой оси балки, выраженное с помощью начальных параметров для заданных нагрузок, получит следующий вид [3]:

$$y = y_0 + \varphi_0 x - \frac{M_{uz} \cdot x}{2! E \cdot J} - \frac{Q_0 \cdot x^3}{3! E \cdot J} + \frac{Y(x)}{E \cdot J},$$

где y_0 – прогиб балки в начале координат;

φ_0 - угол наклона балки в начале координат;

E – модуль упругости материала инструмента;

J – момент инерции поперечного сечения инструмента;

$Y(x)$ - внешняя нагрузка, приложенная к балке (инструменту).

Для рассматриваемого случая

$$Q_0 = \Delta P - A; \quad M_{uz} = A \cdot (l - a) - \Delta P \cdot l,$$

Влияние внешней нагрузки, приложенной к балке, определяется из уравнения

$$Y(x) = \frac{1}{3!} \int_0^x (x - t)^3 \cdot q(t) dt,$$

где t – расстояние от начала координат до нагрузки.

Для случая сосредоточенной силы, рассматриваемой в задаче

$$Y(x) = \frac{\Delta P \cdot (x - t^3)}{3!}.$$

Тогда уравнение изогнутой оси балки примет вид

$$y = \frac{[A \cdot (l - a) - \Delta P \cdot l]x^2}{2! E \cdot J} - \frac{(\Delta P - A) \cdot x^3}{3! E \cdot J} - \frac{A \cdot [x - (l - a)]^3}{3! E \cdot J}. \quad (1)$$

Реакция A определяется из условий на опоре. При зазоре между сверлом и втулкой 2Δ при $x=l-a$ $y=\Delta$. Тогда

$$\Delta = \frac{[A \cdot (l - a) - \Delta P \cdot l](l - a)^2}{2 \cdot E \cdot J} - \frac{(\Delta P - A) \cdot (l - a)^3}{3 \cdot E \cdot J}.$$

Отсюда

$$A = \Delta P \cdot \left[1 + \frac{3 \cdot a}{2 \cdot (l - a)} \right] - \frac{3 \cdot E \cdot J \cdot \Delta}{(l - a)^3}. \quad (2)$$

Подставляя уравнение (2) в (1) и обозначив

$$k = \frac{\Delta P}{12 \cdot E \cdot J} \cdot \frac{2 \cdot l + a}{l - a} - \frac{\Delta}{2 \cdot (l - a)^3}, \quad (3)$$

После преобразования (3) получим

$$y = \frac{\Delta P}{6 \cdot E \cdot J} \cdot x^2 \cdot (3 \cdot l - x) - k \cdot x^2 \cdot [3 \cdot (l - a) - x] - k \cdot [x - (l - a)]^3 \quad (4)$$

Первые два члена уравнения (4) определяют изогнутую ось балки на первом участке, а полное уравнение — на втором участке.

Обозначим: e — величина прогиба вершины сверла или начальное смещение оси отверстия на входном торце детали.

Приняв в выражении (4) $x=l$ и $y=e$: получим

$$e = \frac{\Delta P \cdot l^3}{3 \cdot E \cdot J} - k \cdot [(l - a)^3 + l^2 \cdot (2 \cdot l - 3 \cdot a) - l] \quad (5)$$

Формула (5) выражает начальное смещение вершины сверла при работе с кондукторной втулкой.

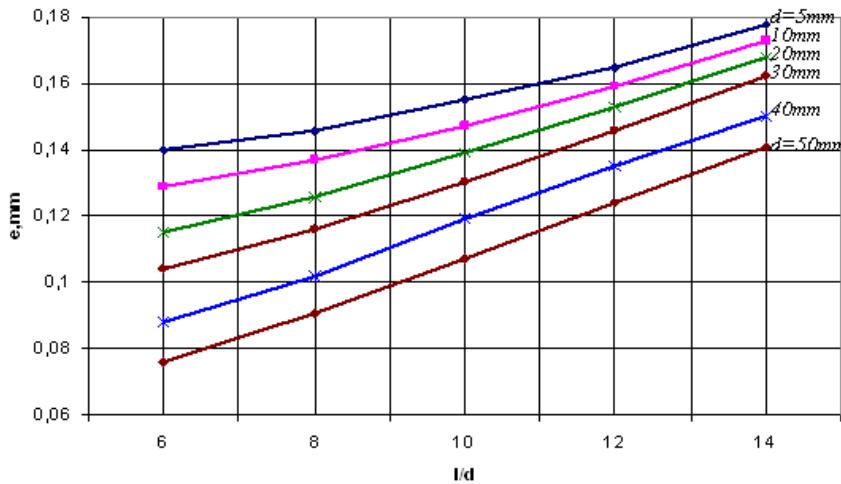


Рис. 3. Влияние отношения длины рабочей части сверла l к диаметру d на начальное смещение оси отверстия при сверлении в кондукторной втулке

На основе полученной зависимости (5) были рассчитаны величины начального смещения оси отверстия в зависимости от отношения длины l рабочей части сверла к диаметру сверла d (для $l/d = 6; 8; 10; 12; 14$). Результаты расчетов графически представлены на рисунке 3 для сверл, диаметр которых равен 5, 10, 20, 30, 40 и 50 мм.

Из графика, представленного на рисунке 3 видно, что с увеличением отношения длины рабочей части сверла к диаметру сверла l/d величина начального смещения оси отверстия возрастает, что объясняется понижением жесткости инструмента с увеличением его вылета. При этом необходимо отметить, что чем больше диаметр сверла, тем меньше смещение оси отверстия. Это также объясняется жесткостью инструмента (чем больше диаметр сверла, тем больше его жесткость). Зависимость, по которой происходит изменение начального смещения оси e от отношения l/d , описывается закономерностью, близкой к линейной.

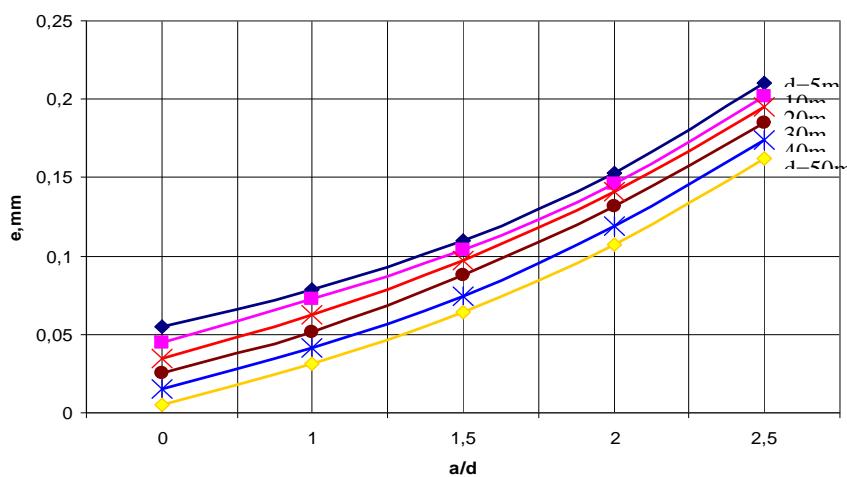


Рис. 4. Влияние отношения расстояния a от правого торца кондукторной втулки до торцевой поверхности детали к диаметру сверла d на начальное смещение оси отверстия e

По выше приведенной зависимости (5) были также рассчитаны величины начального смещения оси отверстия в зависимости от отношения расстояния a от правого торца кондукторной втулки до торцевой поверхности детали к диаметру сверла d . Результаты расчетов графически представлены на рисунке 4 для сверл диаметром 5, 10, 20, 30, 40 и 50мм.

Из графика, представленного на рисунке 4 видно, что с увеличением отношения расстояния от торца кондукторной втулки до торца детали к диаметру сверла a/d величина начального смещения оси e возрастает. Это объясняется тем, что с увеличением длины консоли a (рабочей части сверла, выступающей за кондукторную втулку) увеличивается вылет инструмента, и, следовательно, уменьшается его жесткость, что и приводит к увеличению величины начального смещения оси отверстия.

Были также рассчитаны величины начального смещения оси отверстия в зависимости от отношения величины радиального зазора Δ (см. рис.1) между кондукторной втулкой и сверлом к диаметру сверла d (отношение Δ/d изменялась от 0 до 0,01). Результаты расчетов графически представлены на рисунке 5 для сверл диаметром 5, 10, 20, 30, 40 и 50мм. Расчеты для разных диаметров сверл позволяют также проследить влияние диаметра инструмента на смещение оси отверстия.

Из графика, представленного на рисунке 5, видно, что с увеличением зазора в

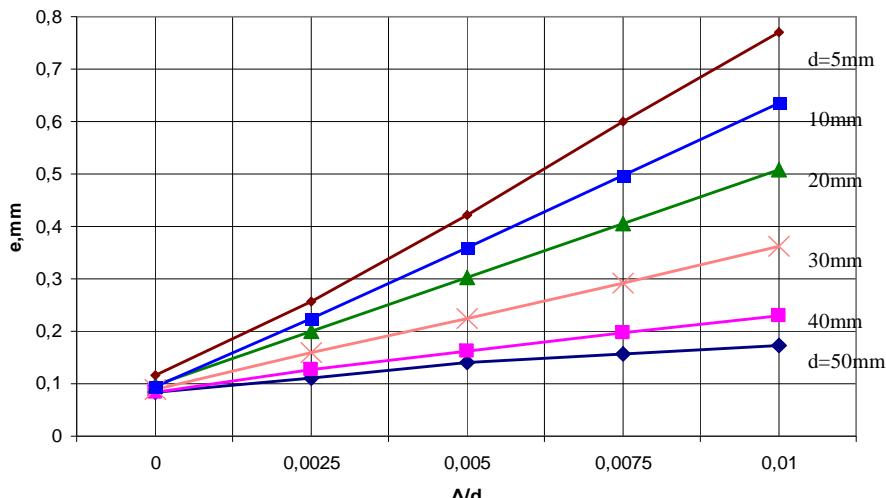


Рис. 5. Влияние зазора в кондукторной втулке Δ
на начальное смещение оси отверстия e

кондукторной втулке величина начального смещение оси отверстия возрастает. Влияние величины зазора в кондукторной втулке на начальное смещение оси отверстия выражается зависимостью, приближающейся к линейной.

Следует также отметить, что для жесткого сверла (например, для максимального диаметра $d=50\text{мм}$) угол наклона кривой – небольшой, и вследствие этого разница значений начального смещения оси отверстия Δe при крайних значениях отношения Δ/d ($\Delta/d=0\text{ мм}$ и $\Delta/d=0,01\text{ мм}$) также невелика ($\Delta e=e_2-e_1=0,08\text{ мм}$). По мере уменьшения диаметра сверла, и как следствие, снижения жесткости системы, эта разница увеличивается и для нежесткого сверла (например, для минимального диаметра $d=5\text{ мм}$) принимает максимальное значение ($\Delta e=0,67\text{ мм}$).

Выводы

На величину начального смещения оси отверстия влияют, главным образом, такие факторы: длина рабочей части сверла, радиальный зазор между кондукторной втулкой и сверлом, расстояние от кондукторной втулки до обрабатываемой детали. В связи с этим было исследовано влияние этих факторов на величину начального смещения оси отверстия.

Результаты расчетов показали, что начальное смещение оси отверстия в значительной степени зависит от расстояния от правого торца кондукторной втулки до торца обрабатываемой поверхности, от радиального зазора между инструментом и кондукторной втулкой и от величины рабочей части сверла. С увеличением указанных величин начальное отклонение сверла от оси шпинделя станка возрастает. С увеличением же диаметра сверления начальное смещение оси сверла уменьшается, что связано с повышением жесткости сверла.

Список литературы: 1. Холмогорцев Ю.П. Оптимизация процессов обработки отверстий М.- Машиностроение 1984 – 184 с. 2. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т. 2. Под ред. А.М. Дальского. - М.: Машиностроение -1, 2001. - 944 с. 3. Сопротивление материалов/ Под ред. Писаренко Г.С. – 5-е изд. – К: Вища шк. Головное изд-во, 1986. – 775с.

Сдано в редакцию 26.01.2009