

## РАСЧЕТ ГРАНИЦ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ СВЕРЛЕНИИ ОТВЕРСТИЙ НА СТАНКАХ С ЧПУ

**Беляков Н.В., к.т.н., доц., Селезнёв С.К., маг.**  
Витебский государственный технологический университет,  
г. Витебск, Республика Беларусь

**Реферат.** Предложена методика моделирования границ переходных процессов при сверлении, минимальных величин врезаний и выходов, длин рабочих ходов, координат начальных и конечных положений сверл в зависимости от условий врезания, выхода и геометрических параметров их режущих частей.

**Ключевые слова:** сверление, сверло, переходный процесс, режущий инструмент, система координат, длина врезания, длина выхода, рабочий ход, САМ-система, ЧПУ, управляющая программа, подготовка производства, машиностроение.

При сверлении важнейшее значение имеет учет границ переходных процессов (врезания и выхода инструмента). Во время переходных процессов динамически меняются составляющие силы резания, наблюдается нестабильность упругих деформаций технологической системы, что может приводить к затуплению, перегреву и поломке инструмента. Поэтому производители сверл в каталогах инструментов и онлайн-калькуляторах режимов резания рекомендуют их различные значения для переходных процессов и устойчивого резания.

Для снижения негативных последствий переходных процессов при сверлении предлагаются способы регистрации начала такого процесса при выходе сверла из отверстия по: снижению осевой силы; увеличению крутящего момента; перемещению в направлении оси сверла слоя металла, расположенного под режущей кромкой и др. Предлагаемые решения требуют использования специальных конструктивных решений, повышающих стоимость изготовления деталей.

В современном машиностроении широкое распространение получили станки с ЧПУ. При их программировании возможно предусмотреть изменение режимов резания в любой момент времени и траектории движения инструмента и заготовки. Однако современные САМ-системы, а также онлайн-калькуляторы не позволяют учесть все разнообразие форм режущих частей современных сверл, и в автоматическом режиме определять длины врезаний, устойчивого резания и выходов инструментов для задания различных щадящих режимов резания.

Поэтому целью работы является разработка моделей расчета для минимальных величин врезания и выходов сверл для программирования сверления отверстий на станках с ЧПУ.

При формировании моделей установлено, что в практике использования наиболее широкое применение находят варианты врезания (выхода) осевого инструмента по плоскости (перпендикулярной или наклонной) или цилиндрической поверхности (наружной и внутренней, симметрично или со смещением). Прочие варианты могут быть к ним приведены.

Величины врезания и выхода сверл предлагается определять с помощью моделей:

$$L_{ep} = L_{нос} + L_{ep1} \pm L_{ep2}; L_{вых} = L_{вых1} + L_{пер} \pm L_{вых2},$$

где  $L_{ep1}$  – длина врезания инструмента, обусловленная геометрией его режущей части инструмента;  $L_{ep2}$  – длина врезания, обусловленная геометрией заготовки;  $L_{вых1} = L_{ep1}$  – длина выхода инструмента, обусловленная геометрией его режущей части;  $L_{пер}$  – длина перебега (принимается 2...3 мм);  $L_{вых2}$  – длина выхода инструмента, обусловленная геометрией заготовки.

В результате анализа каталогов фирм производителей осевых инструментов проведена классификация их режущих частей. Так установлено, что все многообразие режущих частей сверл можно свести к 8 вариантам:

- спиральное, шнековое, эжекторное с одноплоскостной заточкой;
- спиральное с двухплоскостной заточкой;
- спиральное с закруглёнными режущими кромками;
- спиральное конструкции В. И. Жирова;
- спиральное с прорезной перемычкой;

- спиральное со стачиванием перемычки;
- ружейное;
- кольцевое, со сменными пластинками.

Для расчета величин врезания инструментов  $L_{\text{вп1}}$ , обусловленных геометрией его режущих частей составлены соответствующие расчетные схемы, позволяющие сформировать математические модели для их определения (рис. 1).

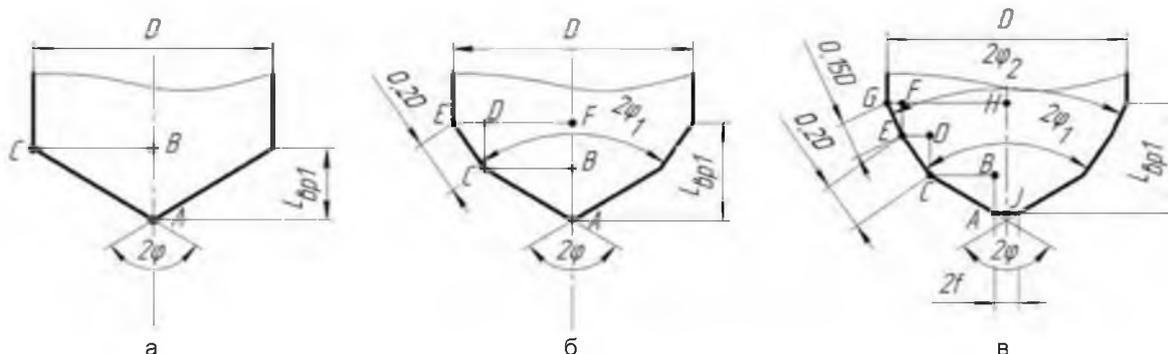


Рисунок 1 – Примеры расчетных схем для определения  $L_{\text{вп1}}$  некоторых видов сверл:  
 а – спиральное, шнековое, эжекторное с одноплоскостной заточкой;  
 б – спиральное с двухплоскостной заточкой; в – спиральное конструкции В. И. Жирова

Согласно рисунку 1 а из  $\triangle ABC$ :

$$L_{\text{вп1}} = AB = \frac{BC}{\text{tg}\varphi} = \frac{D}{2\text{tg}\varphi}$$

Согласно рисунку 1 б из треугольников  $\triangle ABC$  и  $\triangle CDE$ :

$$\begin{aligned} L_{\text{вп1}} = AF = AB + CD &= \frac{EF - DF}{\text{tg}\varphi} = \frac{\frac{D}{2} - 0,2 \cdot \frac{D}{2} \cdot \sin\varphi_1}{\text{tg}\varphi} + 0,2D \cdot \cos\varphi_1 = \\ &= \frac{D(1 - 0,2 \sin\varphi_1)}{2\text{tg}\varphi} + 0,2D \cdot \cos\varphi_1 \end{aligned}$$

Согласно рисунку 1 в из треугольников  $\triangle ABC$ ,  $\triangle CDE$  и  $\triangle EFG$ :

$$\begin{aligned} L_{\text{вп1}} = JH = AB + CD + EF &= \frac{HG - FG - DE}{\text{tg}\varphi} + EG \cdot \cos\varphi_2 + EC \cdot \cos\varphi_2 = \\ &= (GH - AJ - 0,2 \cdot GH \cdot 2 \cdot \sin\varphi_1 - 0,15 \cdot GH \cdot 2 \cdot \sin\varphi_2) \cdot \text{ctg}\varphi + 0,2 \cdot GH \cdot 2 \cdot \sin\varphi_1 \cdot \text{ctg}\varphi_1 + \\ &+ 0,15 \cdot GH \cdot 2 \cdot \sin\varphi_2 \cdot \text{ctg}\varphi_2 = \left( \frac{D}{2} - f - 0,2D \cdot \sin\varphi_1 - 0,15D \cdot \sin\varphi_2 \right) \cdot \\ &\cdot \text{ctg}\varphi + 0,2D \cdot \sin\varphi_1 \cdot \text{ctg}\varphi_1 + 0,15D \cdot \sin\varphi_2 \cdot \text{ctg}\varphi_2 \end{aligned}$$

Для определения длины входа (выхода), обусловленной геометрией заготовки  $L_{\text{вп2}}$ , а также таких параметров размерной настройки, как расстояния между системой координат заготовки и точкой начала врезания инструмента  $L_{\text{вп1}}$ , расстояния между системой координат заготовки и точкой начала выхода инструмента  $L_{\text{выл}}$ , координат начального и конечного положений сверла в системе координат заготовки (в начальной точке траектории при врезании  $Z_{\text{вп1}}$ , в конечной точке траектории при врезании  $Z_{\text{вп2}}$ , начальной точки траектории при выходе  $Z_{\text{выл1}}$  и конечной точке траектории при выходе  $Z_{\text{выл2}}$ ) были составлены соответствующие расчетные схемы (рис. 2). Установлено, что принципиальное отличие для сверления при расчетах имеют варианты с наличием горизонтальной режущей кромки перемычки и без неё. На схемах тройной штриховой линией обозначены в общем виде формы режущих частей инструментов.

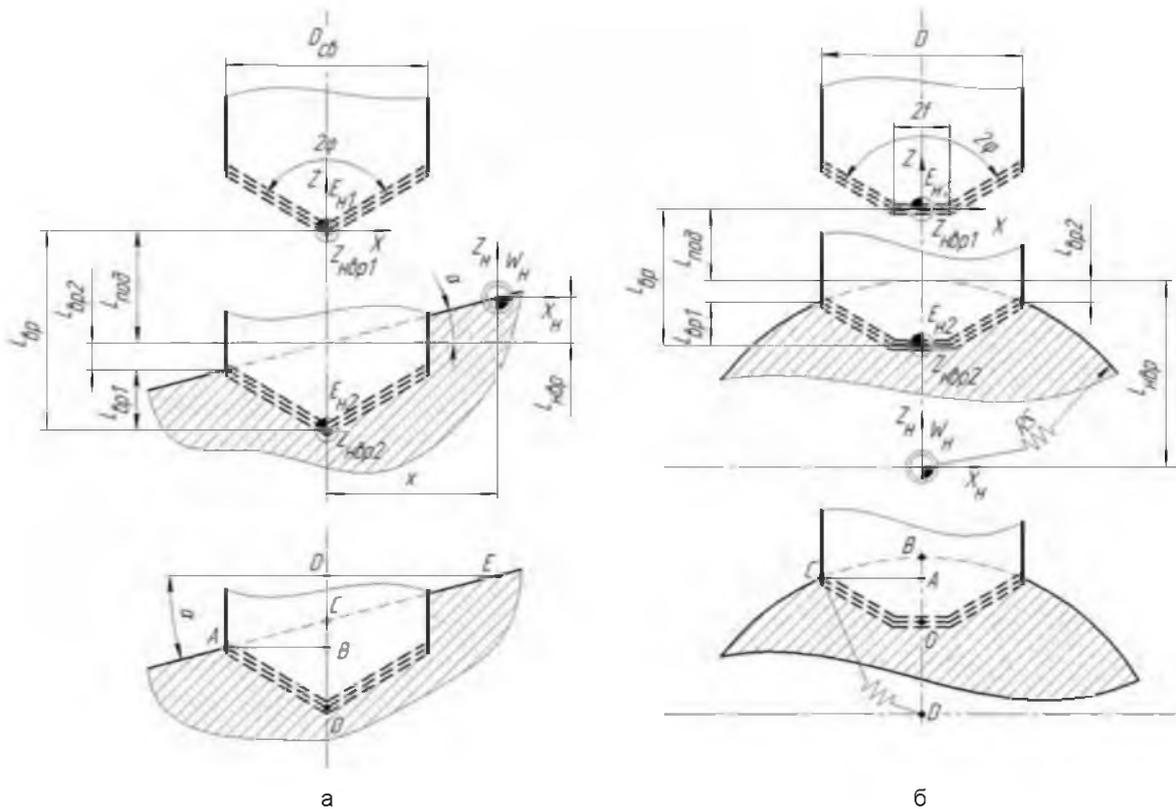


Рисунок 2 – Примеры расчетных схем для определения параметров размерной настройки при врезании сверл: а – врезание под углом, б – врезание по цилиндру симметрично

Согласно рисунку 2 а из  $\triangle CED$ ,  $\triangle ABO$  и  $\triangle ABC$ :

$$L_{\text{вер1}} = CD = \frac{ED}{\text{ctg}\alpha} = \frac{x}{\text{ctg}\alpha}, L_{\text{вер2}} = BC = \frac{D}{2} \text{tg}\alpha.$$

Тогда

$$L_{\text{вер}} = L_{\text{нод}} + L_{\text{вер1}} + L_{\text{вер2}} = L_{\text{нод}} + L_{\text{вер1}} + \frac{D}{2} \text{tg}\alpha,$$

$$Z_{\text{вер1}} = -L_{\text{вер1}} + L_{\text{нод}} = -\frac{x}{\text{ctg}\alpha} + L_{\text{нод}}, Z_{\text{вер2}} = -L_{\text{вер2}} - L_{\text{вер1}} = -\frac{x}{\text{ctg}\alpha} - \frac{D}{2} \text{tg}\alpha - L_{\text{вер1}}.$$

Согласно рисунку 2 б из  $\triangle ACD$  и  $\triangle ABC$ :

$$L_{\text{вер}} = DB = RS, L_{\text{вер2}} = AB = BD - AD = BD - \sqrt{BD^2 - AC^2} = RS - \sqrt{RS^2 - \left(\frac{D}{2}\right)^2}.$$

Тогда

$$L_{\text{вер}} = L_{\text{нод}} + L_{\text{вер1}} + L_{\text{вер2}} = L_{\text{нод}} + L_{\text{вер1}} + \frac{D}{2} \text{tg}\alpha,$$

$$Z_{\text{вер1}} = L_{\text{вер1}} + L_{\text{нод}} = RS + L_{\text{нод}}, Z_{\text{вер2}} = L_{\text{вер2}} - L_{\text{вер1}} = RS - \left[ RS - \sqrt{RS^2 - \left(\frac{D}{2}\right)^2} \right] - L_{\text{вер1}}.$$