

ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ КРУГЛОЙ ПРОТЯЖКИ

О.П. Куприянова, Е.А. Копейкин

Егорьевский технологический институт (филиал)
Федерального государственного бюджетного образовательного
учреждения высшего профессионального образования
Московский государственный технологический университет «СТАНКИН»
ул. Профсоюзная, 34, Егорьевск, Московская область, Россия, 140300

Рассмотрена методика расчета оптимальных конструктивных параметров круглой протяжки с учетом многообразия конструктивных, технологических и эксплуатационных ограничений.

Ключевые слова: протягивание, параметры инструмента, оптимизация, область ограничений.

Выбор оптимальных конструктивных параметров режущего инструмента при его проектировании, позволяющих обеспечивать высокие технологические и эксплуатационные показатели, является актуальной задачей в современном машиностроении.

Основными конструктивными параметрами круглой протяжки являются: подъем на зуб s , шаг t , глубина стружечной канавки (высота зуба) h , число зубьев в группе (секции) z_c . Параметры s , t и h взаимосвязаны. Так, с увеличением t и h становится возможным установить большее значение s , и наоборот.

Наибольшие трудности при проектировании протяжек вызывает назначение оптимальной величины подъема на зуб протяжки, поскольку этот конструктивный параметр протяжки во многом определяет качество обработки, производительность процесса, стойкость инструмента, стоимость обработки.

Чем больше подъем на зуб, тем короче будет протяжка, меньше ее стоимость и выше производительность операции протягивания. Вместе с тем чрезмерно толстая стружка снижает стойкость и может вызвать обрыв протяжки или остановку протяжного станка из-за очень большой величины усилия, необходимого для продвижения протяжки.

Минимальные значения s_{\min} не должны быть соизмеримы с радиусом скругления режущих кромок (у заточенных протяжек $\rho = 0,008 \div 0,01$ мм [1]) и допуском на диаметры зубьев инструмента. В противном случае возможен повышенный износ протяжки, будет затруднено ее изготовление. Это условие записывается следующим неравенством:

$$s \geq s_{\min\rho}.$$

Максимальные значения s_{\max} следует ограничивать стойкостью и прочностью инструмента, объемом стружечной канавки, который должен быть достаточным для размещения стружки. Последнему условию при наибольшей длине протягивания L соответствует неравенство [2]:

$$\frac{\pi h^2}{4sL} \geq K_{\min},$$

где K_{\min} — заданный минимально допустимый коэффициент заполнения стружечной канавки.

Объем стружечной канавки возрастает с увеличением высоты зуба. Однако чрезмерно глубокая стружечная канавка уменьшает площадь поперечного сечения тела протяжки. Это снижает прочность и жесткость протяжного инструмента, что особенно важно при изготовлении протяжек небольшого диаметра. Необходимую жесткость протяжки по впадине зуба обеспечивает условие [2]:

$$h \leq (0,2 \div 0,23)D,$$

где D — диаметр протягиваемого отверстия (мм).

Форма стружечной канавки, которая не должна препятствовать свободному образованию и перемещению стружки при завивании ее в виток, обеспечивается определенным соотношением высоты и шага зубьев [3; 4]:

$$t \leq 2,5h.$$

Наибольшую толщину срезаемого слоя (подъем на зуб) s_{\max} , согласно рекомендациям [2], следует ограничивать при обработке сталей в 0,06 мм для протяжек одинарного резания и в 0,4 мм для протяжек группового резания.

Подъем на зуб следует ограничивать по условия обеспечения требуемой шероховатости протянутой поверхности [4; 5]:

$$s \leq 0,16 \frac{\Gamma K^{0,32}}{\Gamma O^{0,15} v^{0,125}},$$

где ΓK — группа качества обработанной поверхности [4,5]; ΓO — группа обрабатываемости материала заготовки в зависимости от марки и твердости.

Другим лимитирующим фактором величины подъема на зуб является осевая сила резания (сила резания). Сила резания P при протягивании зависит от материала детали, ее размеров и параметров протяжки — s , t , z_c . Она не должна превышать допустимого тягового усилия станка Q и должна гарантировать необходимую прочность инструмента в опасных сечениях на хвостовике и канавке первого зуба. Этим условиям соответствуют следующие ограничения-неравенства:

$$P \leq Q,$$

$$P \leq [\sigma_x] F_x,$$

$$P \leq \pi [\sigma_1] (r_1 - h)^2,$$

где F_x — площадь опасного сечения хвостовика (мм²); r_1 — радиус первого зуба, равный половине диаметра отверстия, предварительно обработанного под протягивание, мм; $[\sigma_x]$, $[\sigma_1]$ — допустимые напряжения соответственно материала хвостовика и рабочей части протяжки, МПа.

Для предотвращения перегрузки протяжного станка допустимое тяговое усилие Q следует принимать меньше максимально допустимого значения Q_{\max} по паспорту станка:

$$Q = K_o Q_{\max},$$

где K_o — коэффициент, зависящий от состояния оборудования, устанавливается равным [6]: $K_o = 0,9$ — для нового станка; $K_o = 0,8$ — для станка в хорошем состоянии; $K_o = 0,7$ — для изношенного станка.

Силу резания рекомендуется определять по выражению [5]

$$P = q_0 b_i z_{\max} K_p,$$

где q_0 — сила резания, приходящаяся на один миллиметр длины режущей кромки (Н/мм); b_i — периметр резания одним зубом (мм); z_{\max} — наибольшее число зубьев одновременно находящихся в работе; K_p — поправочный коэффициент на силу резания для измененных условий обработки.

Сила резания зависит от числа одновременно работающих зубьев. Число одновременно работающих зубьев не является величиной постоянной и периодически разнится на единицу:

$$z_{\max} = z_{\min} + 1,$$

где z_{\max} , z_{\min} — соответственно максимальное и минимальное число зубьев, одновременно участвующих в работе.

Повышение z_{\max} снижает колебание усилия резания и, следовательно, улучшает равномерность протягивания (плавность работы инструмента), и качество обработанного отверстия. Однако при этом возможно ухудшение эффективности подачи СОТС и существенное осложнение при чрезмерно малом шаге изготовления инструмента. Увеличенный шаг уменьшает число одновременно работающих зубьев, повышает эффективность применения СОТС и число переточек, но может привести к недостаточной устойчивости детали, базируемой на зубьях протяжки, и к снижению равномерности протягивания.

Эти условия записываются следующими ограничениями-неравенствами:

$$\begin{aligned} \frac{l_1}{t} &\geq [z_{\min}], \\ \frac{l_2}{t} &\leq [z_{\max}], \\ t_{\min} &\leq t \leq t_{\max}, \end{aligned}$$

где l_1 , l_2 — соответственно минимальная и максимальная длина заданного диапазона размеров протягиваемого отверстия; $[z_{\min}]$, $[z_{\max}]$ — допустимые минимальное и максимальное число одновременно работающих зубьев соответственно; t_{\min} , t_{\max} — соответственно минимальный и максимальный допустимые шаги зубьев протяжки.

Устойчивое базирование детали на зубьях протяжки имеется при $[z_{\min}] \geq 3$. Максимальное число одновременно работающих зубьев не рекомендуется принимать более восьми. Поскольку при расчетах учитывается только целое число зубьев, одновременно участвующих в работе, рекомендуется принимать $[z_{\max}] = 8,9$. Минимальный и максимальный шаги зубьев рекомендуется принимать 4 и 32 мм соответственно [2].

Существенным лимитирующим фактором величины подъема на зуб является условие обеспечения равной стойкости T зубьев чистовой и черновой части:

$s \geq \sqrt[y]{\frac{C_m}{Tv^x}}$. Значения постоянной величины C_m и показателей степени x и y приведены в работе [5].

Скорость главного движения резания v следует ограничивать наибольшим и наименьшим значениями в соответствии с паспортными данными протяжного оборудования: $v_{\min} \leq v \leq v_{\max}$ и в зависимости от требуемой группы качества обработанной поверхности:

$$v \leq \frac{\Gamma K^{0,5}}{\Gamma O^{0,0155} \Gamma O^{2,4}}$$

Для решения задачи оптимизации конструкции протяжки согласно принятому критерию необходимо сформировать область допустимых значений параметров инструмента:

$$\begin{cases} x_{1\min} \leq x_1 \leq x_{1\max} \\ x_{2\min} \leq x_2 \leq x_{2\max} \\ \dots\dots\dots \\ x_{n\min} \leq x_n \leq x_{n\max} \end{cases}$$

Здесь $x_{1\min}, x_{2\min}, x_{n\min}; x_{1\max}, x_{2\max}, x_{n\max}$ — минимальные и максимальные допустимые значения параметров проектируемой протяжки соответственно.

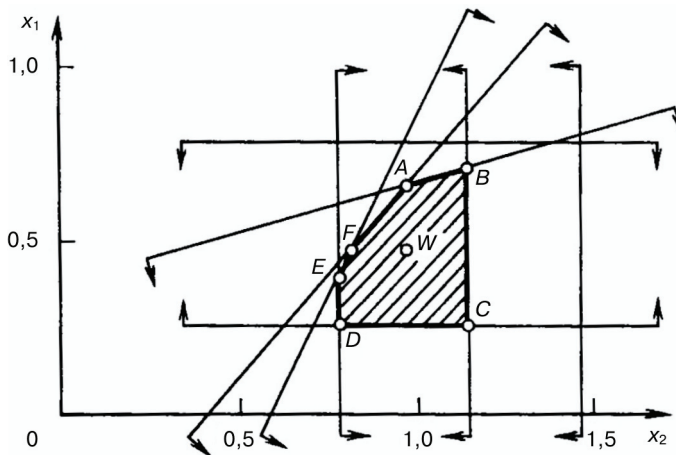


Рис. Геометрическая интерпретация разработанной методики расчета

На рисунке приведена геометрическая интерпретация разработанной методики расчета, преобразованная относительно двух основных параметров — s и t . На рисунке все ограничения-неравенства изображены прямыми линиями со стрелками на концах, указывающими направление области решения соответствующего неравенства. Многоугольник ABCDEF является областью решения системы. Любая точка внутри и на границе многоугольника решений дает допустимые параметры x_1 ($x_1 = \lg(100s)$) и x_2 ($x_2 = \lg t$), а следовательно, и значения s и t , удовлетворяющие установленным ограничениям. Оптимальному сочетанию s и t соответствует одна из вершин многоугольника решений.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] *Маргулис Д.К.* Протяжки переменного резания. — Москва: Свердловск: Машгиз, 1962.
- [2] Протяжки для обработки отверстий / Д.К. Маргулис, М.М. Тверской, В.Н. Ашихмин и др. — М.: Машиностроение, 1986.
- [3] *Маргулис Д.К.* Высокопроизводительное протягивание. — М.: Машгиз, 1965.
- [4] Общемашиностроительные нормативы режимов резания: Справочник. В 2 т. Т. 2 / А.Д. Локтев, И.Ф. Гушин, Б.Н. Балашов и др. — М.: Машиностроение, 1991.
- [5] Единые нормативные материалы по расчету режимов резания и конструктивных элементов различных типов протяжного инструмента. — М.: ВНИИТЭМР, 1986.

OPTIMIZATION OF DESIGN PARAMETERS OF ROUND BROACHING

O.P. Kupriyanova, E.A. Kopeykin

Egorievsk technological institute

Profsoyuznaya str., 34, Egorievsk, Moscow region, Russia, 140300

The method of calculating the optimal design parameters of a circular broach given the diversity of design, technological and operational limitations.

Key words: drawing, tool settings, optimization, and domain constraints.