

7. Расчет параметров инструмента с винтовой поверхностью и его изготовление.

Рассмотрен способ изготовления цилиндрических заготовок с пересекающимися насечками на внутренней стороне при помощи пластического деформирования. Рассчитаны зависимости размеров инструмента от требуемых размеров детали. Описан метод настройки станка при изготовлении зубчатых колес по методу обката на резьбофрезерном станке. Произведена автоматизация расчетов.

Ключевые слова: цилиндрическая заготовка, матрица, пуансон, расчет диаметров.

Существует ряд деталей, имеющих форму цилиндра, на внутренних поверхностях которых выполнены углубления в виде наклонных разнонаправленных винтовых канавок.

Наиболее производительным способом получения винтовых канавок является обжатие заготовки на пуансон с винтовыми выступами. Схема получения канавок приведена на рис. 1.

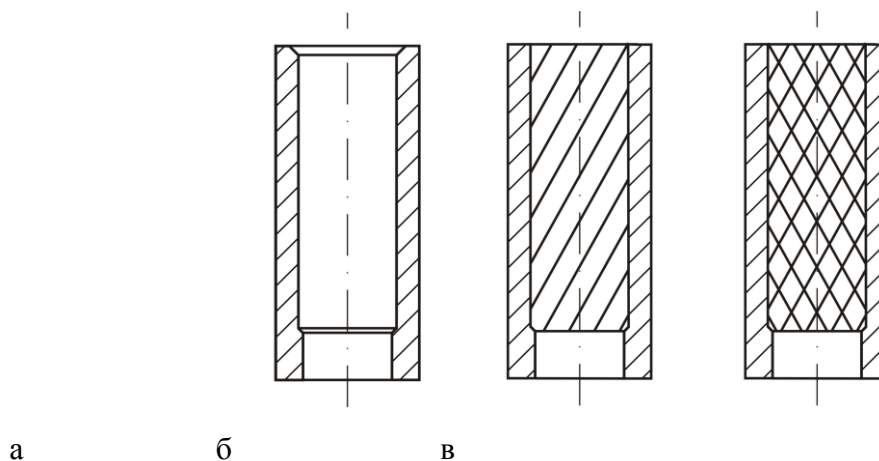


Рис. 1. Схема получения канавок. а – заготовка; б – заготовка после первой операции; в – заготовка после второй операции.

Конструкции приведенных на рис. 1 деталей отличаются достаточно большим разнообразием размеров, числом заходов и глубиной винтовых канавок. Поэтому для получения детали необходимо рассчитывать исполнительные размеры винтовых пуансонов и матриц для получения сетки углублений.

Рассмотрим порядок расчета размеров инструмента. Обычно технология обработки заготовок состоит из трех операций: получения винтовых канавок одного направления, получения канавок противоположного направления и калибровки детали для уточнения внутреннего и наружного диаметров, а также получения прямолинейности образующих цилиндров.

Для получения необходимых размеров полая цилиндрическая заготовка проходит обработку пластическим деформированием в три операции. Процесс будем рассматривать в обратном порядке, т.к. в качестве исходных данных имеем конструкторский чертеж детали.

На третьей операции происходит калибровка – окончательное получение требуемых размеров. Размеры матрицы и пуансона совпадают с внешним и внутренним диаметром детали с учетом того, что инструмент новый и размеры будут изменяться в сторону износа [1]:

$$\begin{aligned} d_{Пк\text{ал}}^{\text{max}} &= D_{д3}^{\text{min}} + TD_{д3}; \\ d_{Пк\text{ал}}^{\text{min}} &= D_{д3}^{\text{min}}, \end{aligned} \quad (1)$$

где $d_{Пк\text{ал}}^{\text{max}}$ и $d_{Пк\text{ал}}^{\text{min}}$ – максимальный и минимальный диаметры калибрующего пуансона соответственно; $D_{д3}^{\text{min}}$ – минимальный внутренний диаметр детали; $TD_{д3}$ – допуск на внутренний диаметр детали,

$$\begin{aligned} D_{Мк\text{ал}}^{\text{max}} &= d_{д3}^{\text{min}} + Td_{д3}; \\ D_{Мк\text{ал}}^{\text{min}} &= d_{д3}^{\text{min}}, \end{aligned} \quad (2)$$

где $D_{Мк\text{ал}}^{\text{max}}$ и $D_{Мк\text{ал}}^{\text{min}}$ – максимальный и минимальный диаметры калибрующей матрицы соответственно; $d_{д3}^{\text{min}}$ – минимальный наружный диаметр детали; $Td_{д3}$ – допуск на наружный диаметр детали.

Толщина стенки детали будет равна половине разности внешнего и внутреннего диаметров:

$$\begin{aligned} t_3^{\text{min}} &= (d_{д3}^{\text{min}} - (D_{д3}^{\text{min}} + TD_{д3}))/2; \\ t_3^{\text{max}} &= ((d_{д3}^{\text{min}} + Td_{д3}) - D_{д3}^{\text{min}})/2, \end{aligned} \quad (3)$$

где t_3^{min} и t_3^{max} – минимальная и максимальная толщина стенки детали.

Для обеспечения входа калибрующего пуансона в отверстие заготовки между ними должен существовать зазор (рис. 2). Принимаем величину этого зазора равной 1 %

от диаметра пуансона. Для обеспечения процесса деформирования внешний диаметр заготовки $d_{дет2}$ должен быть больше диаметра калибрующей матрицы. Разницу между этими диаметрами также принимаем равной 1 %:

$$\begin{aligned}
 z_1^{\min} &= d_{д2}^{\min} - D_{МК}^{\max}; \\
 d_{д2}^{\min} &= D_{МК}^{\max} + z_1^{\min}; \\
 d_{д2}^{\min} &= D_{МК}^{\max} + 0,01 \cdot D_{МК}^{\max}; \\
 d_{д3}^{\min} &= 1,01 \cdot D_{МК}^{\max},
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

где z_1^{\min} – минимальный натяг между калибрующей матрицей и наружным диаметром заготовки на третьей операции; $d_{д2}^{\min}$ – минимальный наружный диаметр заготовки на третьей операции,

$$\begin{aligned}
 z_2^{\min} &= D_{д2}^{\min} - d_{ПК}^{\max}; \\
 D_{д2}^{\min} &= d_{ПК}^{\max} + z_2^{\min}; \\
 D_{д2}^{\min} &= d_{ПК}^{\max} + 0,01 \cdot d_{ПК}^{\max}; \\
 D_{д3}^{\min} &= 1,01 \cdot d_{ПК}^{\max},
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

где z_2^{\min} – минимальный зазор между калибрующим пуансоном и внутренним диаметром заготовки на третьей операции; $D_{д2}^{\min}$ – минимальный внутренний диаметр заготовки на третьей операции.

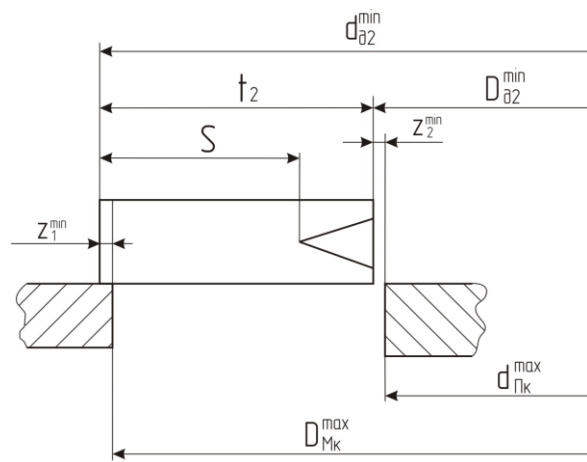


Рис. 2. Расчетная схема для третьей операции.

Допуски на $d_{д2}$ и $D_{д2}$ назначаем $T d_{д2}$ и $T D_{д2}$ соответственно.

Толщину стенки заготовки рассчитываем как половину разности внешнего и внутреннего диаметров заготовки по формуле:

$$\begin{aligned} t_2^{\min} &= (d_{д2}^{\min} - (D_{д2}^{\min} + TD_{д2}))/2; \\ t_2^{\max} &= ((d_{д2}^{\min} + Td_{д2}) - D_{д2}^{\min})/2, \end{aligned} \quad (6)$$

где t_2^{\min} и t_2^{\max} – минимальная и максимальная толщина стенки заготовки на третьей операции.

Диаметр пуансона 2 имеет те же значения, что и диаметр заготовки на третьей операции с учетом отклонений значений диаметра заготовки после второй операции:

$$\begin{aligned} d_{П2}^{\max} &= D_{д2}^{\min} + TD_{д2}; \\ d_{П2}^{\min} &= D_{д2}^{\min}, \end{aligned} \quad (7)$$

где $d_{П2}^{\max}$ и $d_{П2}^{\min}$ – максимальный и минимальный диаметры пуансона на второй операции соответственно.

Диаметр матрицы на второй операции рассчитаем исходя из того, что для получения минимального значения размера перемычки S минимальное значение матрицы должно равняться сумме величины максимального диаметра пуансона и двум минимальным размерам величины перемычки:

$$D_{М2}^{\min} = d_{П2}^{\max} + 2S^{\min}, \quad (8)$$

где $D_{М2}^{\min}$ – минимальный диаметр матрицы на второй операции; S^{\min} – минимальная величина перемычки,

$$D_{М2}^{\max} = D_{М2}^{\min} + Td_{д2}, \quad (9)$$

где $D_{М2}^{\max}$ – максимальный диаметр матрицы на второй операции.

На второй операции происходит формирование второй серии ответных впадин от зубьев пуансона (рис. 3). Внутренний диаметр заготовки $D_{дет1}$ должен быть на 1 % больше диаметра пуансона $d_{П2}$ для обеспечения необходимого зазора.

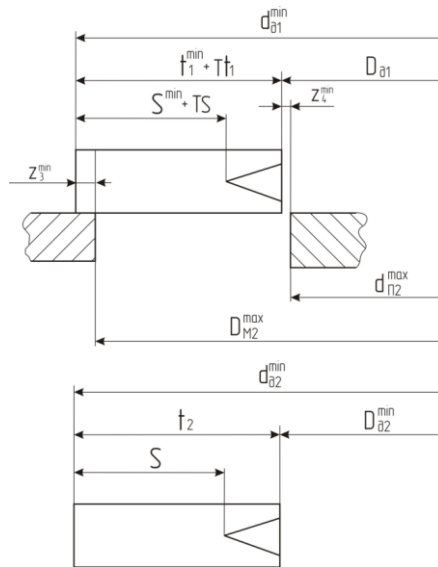


Рис. 3. Расчетная схема для второй операции

$$D_{д1}^{\min} = 1,01 \cdot d_{п2}^{\max}, \quad (10)$$

где $D_{д1}^{\min}$ – минимальный внутренний диаметр заготовки на второй операции.

Допуски на $d_{д1}$ и $D_{д1}$ назначаем $Td_{д1}$ и $TD_{д1}$ соответственно:

$$D_{д1}^{\max} = D_{д1}^{\min} + TD_{д1}, \quad (11)$$

где $D_{д1}^{\max}$ – максимальный внутренний диаметр заготовки на второй операции.

Чтобы получить ответные риски на внутренней поверхности заготовки от зубьев пуансона, внешний диаметр заготовки должен перекрывать диаметр матрицы 2 на величину высоты зуба. Эту величину можно учесть, взяв величину толщины стенки заготовки:

$$d_{д1}^{\min} = D_{д1}^{\max} + 2t_1^{\min}, \quad (12)$$

где $d_{д1}^{\min}$ – минимальный наружный диаметр заготовки на второй операции; t_1^{\min} – минимальное значение толщины стенки заготовки на второй операции.

Диаметр пуансона 1 имеет те же значения, что и диаметр заготовки на второй операции с учетом отклонений значений диаметра заготовки после первой операции:

$$\begin{aligned} d_{п1}^{\max} &= D_{д1}^{\min} + TD_{д1}; \\ d_{п1}^{\min} &= D_{д1}^{\min}, \end{aligned} \quad (13)$$

где $d_{П1}^{\max}$ и $d_{П1}^{\min}$ – максимальный и минимальный диаметры пуансона на первой операции соответственно.

Диаметр матрицы на первой операции рассчитаем так же как и на второй:

$$D_{M1}^{\min} = d_{П1}^{\max} + 2S^{\min}, \quad (14)$$

где D_{M1}^{\min} – минимальный диаметр матрицы на первой операции; S^{\min} – минимальная величина перемычки,

$$D_{M1}^{\max} = D_{M1}^{\min} + Td_{д1}, \quad (15)$$

где D_{M1}^{\max} – максимальный диаметр матрицы на первой операции.

На первой операции происходит формирование первой серии ответных впадин от зубьев пуансона. Внутренний диаметр заготовки $D_{заг}$ должен быть на 1 % больше диаметра пуансона $d_{П2}$ для обеспечения необходимого зазора:

$$D_{заг}^{\min} = 1,01 \cdot d_{П1}^{\max}, \quad (16)$$

где $D_{заг}^{\min}$ – минимальный внутренний диаметр заготовки на первой операции.

Допуски на $d_{заг}$ и $D_{заг}$ назначаем $Td_{заг}$ и $TD_{заг}$ соответственно:

$$D_{заг}^{\max} = D_{заг}^{\min} + TD_{заг}, \quad (17)$$

где $D_{заг}^{\max}$ – максимальный внутренний диаметр заготовки на второй операции.

Рассчитаем внешний диаметр заготовки на первой операции аналогично расчету второй операции:

$$d_{заг}^{\min} = D_{заг}^{\max} + 2t_{заг}^{\min}, \quad (18)$$

где $d_{заг}^{\min}$ – минимальный наружный диаметр заготовки на первой операции; $t_{заг}^{\min}$ – минимальное значение толщины стенки заготовки на первой операции.

Наиболее универсальный метод нарезания зубчатых колес, применяемый практически во всех типах производства, – обработка инструментами червячного типа. При фрезеровании зубчатого колеса методом обката профиль зубьев образуется червячной фрезой с исходным контуром производящей зубчатой рейки. Червячная фреза является червяком, нитки винта разделены продольными стружечными канавками на отдельные зубья с прямолинейным профилем, у которых в результате затылования образуются задние и передние углы, необходимые для обработки резанием.

Эвольвентный профиль зубьев колеса образуется прямолинейными режущими кромками фрезы в процессе их взаимного обката [2].

При зубофрезеровании червячная фреза образует с обрабатываемой заготовкой винтовое станочное зацепление. Изготовление зубчатых колес при помощи червячных фрез может вестись на станках с механическими связями, а так же на станках с ЧПУ.

Для расчета направления спиральной канавки, определения передаточного отношения сменных шестерен и направления вращения инструмента и обрабатываемой заготовки воспользуемся формулой

$$\frac{A}{B} \cdot \frac{C}{D} = \frac{4,0425 \cdot \sin \alpha}{m_n \cdot g}, \quad (19)$$

где A, B, C, D – числа зубьев сменных колес дифференциала, α – угол подъема винтовой линии, m_n – нормальный модуль, g – число заходов фрезы.

Далее традиционная методика расчета требует произвести вычисления правой части формулы (1). Результат округляется таким образом, чтобы получить трехзначное число, затем оно раскладывается на множители, и уже из них из списка колес подбирают требуемую комбинацию. Метод весьма трудоемок и характеризуется невысокой точностью.

Для автоматизации вычислений была создана программа, осуществляющая перебор всех возможных сочетаний зубчатых колес в дифференциале. Точность вычисления задается при запуске программы, как правило, она на два порядка выше, чем при обычном способе расчетов [3].

На рисунке 3 показана упрощенная схема. Из нее исключены проверка повтора зубчатых колес, выход из цикла при ошибке, а так же присвоение переменной полученного значения погрешности.

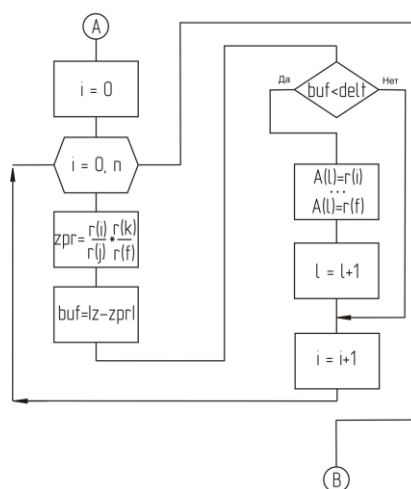


Рис. 4. Схема алгоритма основного цикла программы.

В программе четыре цикла, так как происходит последовательный подбор числа зубьев для каждого колеса. На рисунке 4 показан внутренний цикл. В первом блоке происходит обнуление счетчика перед входом в цикл. Во втором запускается сам цикл, он будет выполняться от 0 до n – общего числа колес. В третьем – получаем значение левой части формулы (19). В четвертом в буфер помещается модуль разницы между полученным передаточным отношением и требуемым. В пятом происходит сравнение числа в буфере и значения погрешности, если значение меньше, то массиву переменных присваивается значение данной комбинации. Далее происходит переключение счетчиков и возврат в цикл.

Число зубьев каждого зубчатого колеса, их количество, а также допустимое межосевое расстояние, ограничивающее возможность установки колес, может быть установлено в файле, который использует данная программа. Это делает ее более универсальной. По умолчанию в файле хранятся значения для исследуемого станка.

Список литературы:

1. **Коганов И.А., Станкеев А.А.** Расчет припусков на механическую обработку: учеб. пособие. 2-е изд., перераб. и доп. Тула: Коммунар, 1973. 192 с.
2. **Ямников А.С.** Основы технологии машиностроения/Учебник под ред. Ямникова А.С. Тула, Изд-во ТулГУ, 2006, 269 с. ил.
3. **Волков Д.П.** Автоматизация расчета дифференциала станка / Вестник ТулГУ. Автоматизация: проблемы, идеи, решения. В 2х частях. Часть 2. Тула: Изд-во ТулГУ, 2009. С. 83-86.