

Рис. 4. Зависимость динамического коэффициента демпфирования от внутреннего давления в шине

С увеличением давления и уменьшением нагрузки на шину коэффициенты демпфирования линейных деформаций уменьшаются. Коэффициент демпфирования угловой деформации увеличивается с увеличением давления в шине и радиальной нагрузки  $C_z$ .

Приведенные графики свидетельствуют о том, что коэффициенты демпфирования не остаются постоянными при изменении нагрузки на колесо и, следовательно, в практических расчетах это следует учитывать.

Параметры упругих характеристик пневматических шин существенно нелинейны и не постоянны при изменении радиальной нагрузки.

#### Литература

1. Мальков, С. В. Определение координат точки приложения боковой силы, действующей на хлопкоуборочную машину в процессе движения : тр. САИМЭ / С. В. Мальков, Б. Б. Уразалиев. – Ташкент, 1989. – С. 121–125.
2. Мальков, С. В. Оценка нагрузки на водителя хлопкоуборочной машины в рабочем режиме / С. В. Мальков, Б. Б. Уразалиев // Механизация хлопководства. – 1990. – № 4. – С. 14–15.
3. Мальков, С. В. О диссипативных силах взаимодействия уборочных аппаратов с кастами хлопчатника / С. В. Мальков, Б. Б. Уразалиев // Механизация хлопководства. – 1990. – № 99. – С. 8.
4. Мальков, С. В. К задаче исследования устойчивости движения колесной системы прямым методом Ляпунова : всесоюз. конф. / С. В. Мальков, Б. Б. Уразалиев. – Ташкент, 1990.

### ВЛИЯНИЕ ИНВЕРСИИ ГЛАВНОГО ДВИЖЕНИЯ НА ПОГРЕШНОСТЬ ОБРАБОТКИ ПРИ РАСТАЧИВАНИИ ГЛУБОКИХ ОТВЕРСТИЙ

К. А. Саховский

Учреждение образования «Белорусский государственный университет  
транспорта», г. Гомель

Научный руководитель М. П. Кульгейко

Методология разработки технологических процессов предусматривает определенные подходы к составлению маршрута изготовления детали, базирующиеся на некоторых принципах технологического проектирования. Основные технологические

принципы проектирования процессов механической обработки изложены в учебной и справочной литературе, например, в [1], [2]. Наиболее полное описание принципов и правил разработки технологических процессов представлено в работе [3]. Здесь же сформулирован так называемый «принцип технологической инверсии». Принцип «инверсия» используется в различных областях не только инженерной, но и другой творческой деятельности. Он широко применяется в теории решения изобретательских задач [4]. Прием инверсия, или «обратная аналогия», означает выполнить что-нибудь наоборот.

В машиностроении принцип технологической инверсии предполагает инверсию различных технологических факторов и параметров. Сущность принципа заключается в обращении (изменении) функций, рабочих движений, последовательности переходов, геометрии и расположения элементов технологической системы и т. п. [3]. Например, главное движение: вращение заготовки или инструмента; движение подачи: перемещение инструмента или детали; фрезерование: встречное или попутное; обработка гильзы: от наружной поверхности или от отверстия; положение инструмента: горизонтальное или вертикальное и т. д. Задача технолога при разработке техпроцесса состоит в оценке соотношения преимуществ и недостатков инверсионных вариантов и выборе наиболее рационального из них.

Целью данной работы является анализ влияния инверсии главного движения на погрешности формы и расположения при растачивании отверстий.

Растачивание гильзы цилиндра может быть реализовано при вращении инструмента – расточной оправки (рис. 1) или при вращении заготовки (рис. 2). При обработке отверстия большой длины вследствие прогиба оправки ось инструмента отклоняется от горизонтального положения оси обрабатываемого отверстия. В результате отклонения траектории движения оправки кромка резца постепенно занимает положение на окружности большего диаметра относительно заданной оси отверстия.

При обработке по первому варианту, т. е. с главным движением – вращением оправки (рис. 1), возникает погрешность расположения отверстия – отклонение от соосности относительно базовой поверхности. То есть ось обрабатываемого отверстия отклоняется, в частности, относительно оси наружной поверхности. При растачивании с изменением (увеличением) вылета оправки в начальный момент можно считать технологическую систему практически достаточно жесткой, т. е.  $r_1' = r_1'' = \frac{d_1}{2}$ .

Далее в результате прогиба оправки под действием сил тяжести  $G$  ось главного движения отклоняется от заданного направления и возникает теоретическая погрешность – отклонение от соосности:

$$\Delta_e^G = f(G) = |r_2' - r_2''|, \quad (1)$$

где  $r_2'$  и  $r_2''$  – минимальное и максимальное расчетное расстояние от образующей растачиваемого отверстия до базовой оси в результате прогиба оправки под действием сил тяжести.

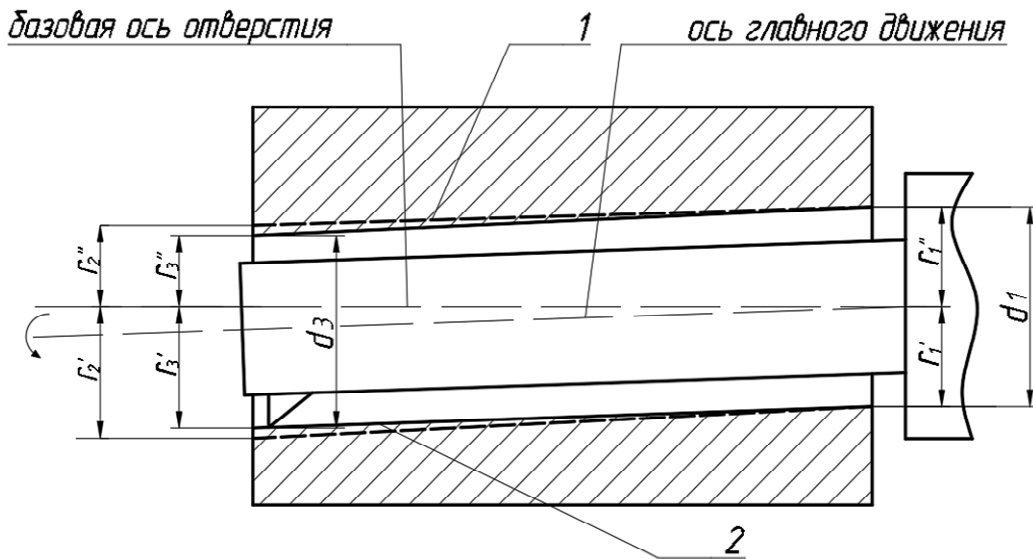


Рис. 1. Схема растачивания при вращении инструмента:  
 1 – теоретическая траектория режущей кромки с учетом веса оправки;  
 2 – действительная траектория режущей кромки под действием сил тяжести  
 и сил резания

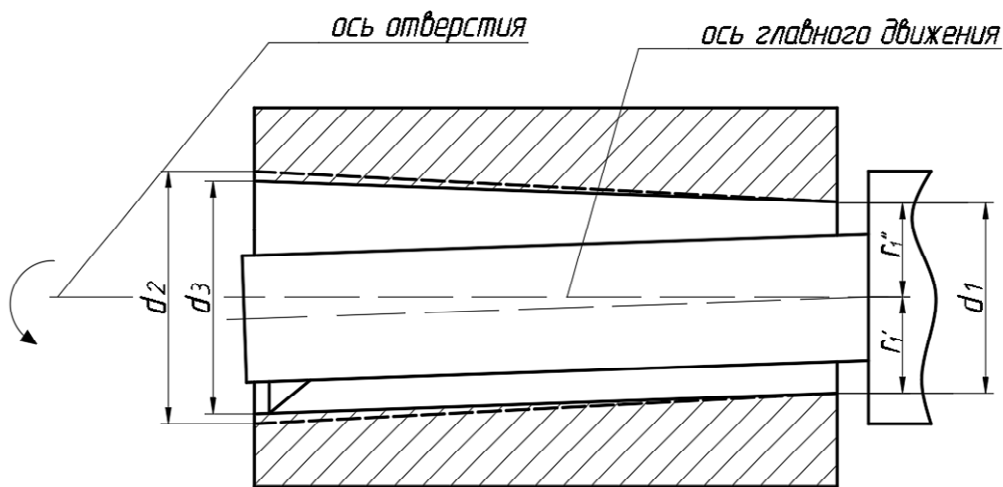


Рис. 2. Схема растачивания при вращении детали

При этом диаметр отверстия сохраняется, т. е.  $d_2 = r_2' + r_2'' = d_1$ . Но так как на инструмент действует сила резания  $P$ , то ее радиальная составляющая  $P_y$  вызывает деформацию оправки по направлению к оси отверстия. В результате кроме отклонения оси отверстия, возникает погрешность формы отверстия в продольном сечении. Следовательно, несоосность отверстия как функция сил тяжести и сил резания будет:

$$\Delta e = f(G, P) = |r_3' - r_3''|, \quad (2)$$

где  $r_3'$  и  $r_3''$  – действительное минимальное и максимальное расстояние от образую-

щей расточенного отверстия до базовой оси в результате деформации оправки под действием сил тяжести и усилия резания.

Отклонение профиля продольного сечения выразится в виде конусообразности в зависимости от величины силы резания и составит:

$$\Delta_K = f(P) = |r_1' + r_1''| - |r_3' + r_3''| = |d_1 - d_3|, \quad (3)$$

где  $d_3$  – диаметр обработанного отверстия на выходе инструмента.

При обработке по второму варианту, т. е. с главным движением – вращением детали (рис. 2), погрешность расположения оси отверстия практически равна нулю, так как ось главного движения и ось отверстия совпадают. В этом случае возникает только погрешность формы отверстия – конусообразность. Теоретически погрешность формы от прогиба оправки под действием силы тяжести будет:

$$\Delta_K^G = f(G) = |d_2 - d_1|, \quad (4)$$

где  $d_2$  – расчетный диаметр обрабатываемого отверстия на выходе инструмента при деформации оправки под действием сил тяжести.

Результирующая погрешность формы:

$$\Delta_K = f(G, P) = |d_3 - d_1|, \quad (5)$$

где  $d_3$  – действительный диаметр обработанного отверстия.

Величина прогиба оправки от действия сил тяжести и деформации под действием сил резания определяется по формуле механики материалов [5]. Так, прогиб оправки длиной  $l = 500$  мм, диаметром  $d = 50$  мм от действия силы тяжести составляет 15 мкм. Результирующая величина прогиба при обработке с глубиной резания  $t = 0,1$  мм и подачей  $s = 0,1$  мм/об составляет 6 мкм. Очевидно, что такие значения в определенных условиях могут быть значимыми и должны учитываться при построении маршрута и операций технологического процесса обработки точных отверстий.

Таким образом, инверсия главного движения при растачивании приводит к возникновению различных погрешностей формы и расположения оси обрабатываемых отверстий. Величина таких погрешностей может быть сопоставима с заданной точностью обработки, а следовательно, должна учитываться при разработке технологических операций. Дальнейшие исследования предполагают более подробный численный анализ точностных параметров обработки.

#### Л и т е р а т у р а

1. Технология машиностроения : учеб. пособие для вузов / М. Ф. Пашкевич [и др.] ; под ред. М. Ф. Пашкевича. – Минск : Новое знание, 2008. – 478 с.
3. Технология машиностроения : в 2 кн. Кн. 1. Основы технологии машиностроения / Э. Л. Жуков [и др.] ; под ред. С. Л. Мурашкина. – М. : Высш. шк., 2003. – 278 с.
4. Цыплаков, О. Г. Теоретические основы проектирования технологических процессов механической обработки деталей общего и специального машиностроения. – Л. : Ленингр. мех. ин-т, 1970. – 289 с.
5. Альтшуллер, Г. С. Найти идею. Введения в ТРИЗ – теория решения изобретательских задач / Г. С. Альтшуллер – М. : Альпина Паблишер, 2010. – 392 с.
6. Старовойтов, Э. И. Механика материалов : учебник / Э. И. Старовойтов. – Гомель : БелГУТ, 2011. – 380 с.