

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ УПРУГИХ ДЕФОРМАЦИЙ ЗАГОТОВКИ ПРИ ШЛИЦЕФРЕЗЕРОВАНИИ

К.А. Шалыгин, А.А. Жолобов

*Белорусско-Российский университет, Могилев*

При прогнозировании точности формообразования в технологических системах является актуальной задача определения прогибов заготовок под действием сил резания. Особую важность эта задача приобретает при обработке сложных заготовок с фасонными поверхностями, например, при фрезеровании прямобочных шлицев червячной фрезой. В данной технологической системе наряду с относительной сложностью формообразования методом обката существует значительное ослабление заготовки, обусловленное глубиной обработкой шлицевой поверхности. Возрастающая при этом податливость заготовки приводит к возникновению погрешностей поверхности. Одним из путей их компенсации является назначение рациональных режимов обработки, позволяющих ограничивать погрешности в пределах допусков выдерживаемых размеров. С этой целью необходимо определить зависимости, связывающие прогибы заготовки с режимами обработки. Расчет величин сил резания производился по методике, представленной в работе [1].

Установка заготовки в шлицефрезерном станке осуществляется в центрах передней и задней бабок. При этом прогиб заготовки под действием сил резания в точках их приложения определяется, как для балки переменного сечения, установленной на двух опорах, по формулам [2]

$$\Delta_{3X} = \frac{P_x \cdot L_0^2 \cdot (L - L_0)^2}{3 \cdot E \cdot I \cdot I_0 \cdot L^2} (II_0 + I_0(L - L_0)), \quad (1)$$

$$\Delta_{3Y} = \frac{P_y \cdot L_0^2 \cdot (L - L_0)^2}{3 \cdot E \cdot I \cdot I_0 \cdot L^2} (II_0 + I_0(L - L_0)), \quad (2)$$

где  $L$  – длина вала;  $L_0$  – длина шлицевого участка вала;  $I$  – осевой момент инерции круглого профиля вала;  $I_0$  – осевой момент инерции шлицевого участка вала;  $E$  – модуль упругости.

Схема деформации заготовки, закрепленной в центрах под действием сил резания  $P_x$  и  $P_y$ , представлена на рис. 1. Осевой момент инерции круглого профиля вала рассчитывается по известным формулам исходя из диаметра профиля. В случае фрезерования шлицев на ступенчатом валу

осевой момент инерции круглого профиля определяется из расчета приведенного диаметра ступеней [3].

$$d_{np} = \sqrt{\frac{\sum_1^n d_i \cdot I_i}{\sum_1^n I_i}}, \quad (3)$$

где  $n$  – число ступеней вала;  $d_i, I_i$  – диаметр и момент инерции  $i$ -того участка вала.

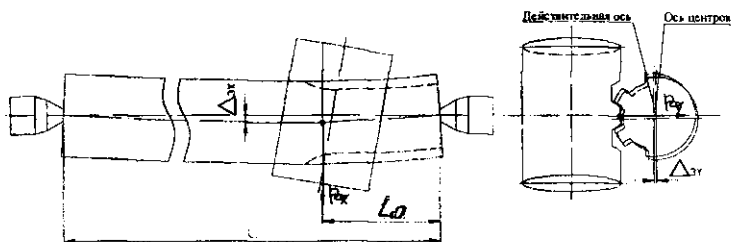


Рис. 1. Схема деформации заготовки

При обзоре исследований моментов инерций периодических профилей [4] установлено, что в настоящее время отсутствуют сведения о величинах моментов инерции стандартных прямобочных шлицевых профилей. Для их расчета была использована методика [2].

Значение осевого момента инерции шлицевого профиля определяются путем суммирования осевых моментов инерции составляющих его отдельных элементарных фигур – треугольников, прямоугольников и сегментов. Простейшим элементом, характеризующим профиль шлицевого сечения, является сектор, ограниченный одним выступом и одной впадиной (рис. 2). Для определения осевых моментов инерции элементарного сектора он раскладывается на элементарные фигуры: равнобедренный треугольник, прямоугольник и сегмент. Для каждой фигуры, условно ориентированной вдоль координатных осей определяются осевые моменты инерции [2]. Осевые и центробежный момент инерции элементарного сектора определяется как сумма осевых и центробежных моментов инерции фигур, его составляющих.

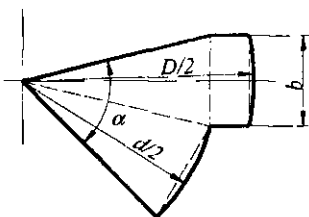


Рис. 2. Элементарный сектор шлицевого профиля

Угол сектора определяется по формуле

$$\alpha = \frac{2\pi}{z}, \quad (3)$$

где  $z$  – число зубьев шлицевого вала.

Используя методику [1], для каждого номинального размера шлицевого профиля из ГОСТ 1139-80 был определен осевой момент инерции сечений. Сравнивая рассчитанные значения осевого момента инерции шлицевого профиля со значениями момента инерции профиля, соответствующего круглой заготовке, установлено, что с геометрической точки зрения формирование шлицев ослабляет сечение примерно на 30 – 40 % для различных шлицевых профилей. Это приводит к различному характеру прогибов обрабатываемой заготовки на участках до и после обработки. После установления значений моментов инерции шлицевых профилей было проведено исследование прогибов шлицевых валов при фрезеровании шлицевой поверхности по всей длине вала. При этом для каждого стандартного шлицевого профиля были выбраны режимы резания, на основании которых рассчитаны величины силовых факторов, действующих на заготовку. Расчет деформаций заготовки производился по представленным формулам.

Установлено, что при обработке шлицевой поверхности наименьшие деформации заготовки наблюдаются у профилей с большим числом шлицев. В этом отношении наиболее оптимальными являются шлицевые профили тяжелой серии с числом шлицев не менее десяти.

Фрезерование шлицев за два рабочих хода позволяет уменьшить деформации заготовки пропорционально разделению припуска между рабочими ходами, а также устранить эксцентриситет максимума кривой прогибов заготовки (рис. 3).

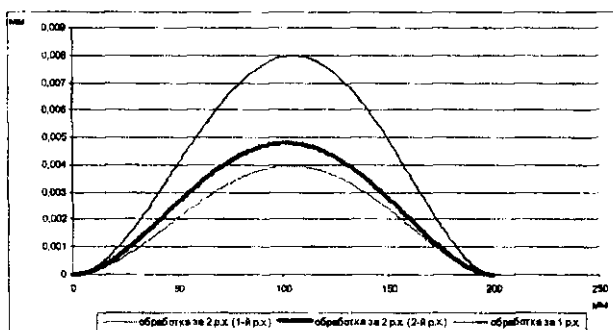


Рис. 3. График прогибов заготовки при шлицефрезеровании за один и два рабочих хода (р. х.)

Применение представленных зависимостей может осуществляться как для определения только прогибов заготовок и деталей, имеющих шлицевую поверхность, так и в комплексе автоматизированного прогнозирования точности шлицефрезерования червячной фрезой наряду с учетом упругих деформаций и смещений остальных элементов технологической системы.

### Литература

1. Шалыжин, К.А. Прогнозирование погрешностей шлицевого вала на основе моделирования и анализа деформаций в технологической системе / К.А. Шалыжин, А.А. Жолобов // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы международной науч.-техн. конф., Могилев, 19 – 20 апреля 2007 г. В 3-х ч. Ч. 1 / М-во образования Респ. Беларусь [и др.]; редкол.: И.С. Сазонов [и др.]. – Могилев: ГУ ВПО «Белорусско-Российский университет». – 2007. – С. 102 – 103.

2. Феодосьев, В.И. Сопротивление материалов / В.И. Феодосьев. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1979.

3. Лизюгуб, В.А. Влияние проектных параметров узлов токарного станка и режима резания на точность обработки / В.А. Лизюгуб // СТІН. – 2007. – № 3. – С. 8 – 10.

4. Трофимов, Б.Ф. Расчет моментов инерции сечения шлицевых валов с эвольвентным профилем зубьев / Б.Ф. Трофимов // Вестник машиностроения. – 2004. – № 8. – С. 23 – 25.