

УДК 621.91.04

## АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ НАЛАДКИ ОБРАБАТЫВАЮЩЕЙ СИСТЕМЫ НА ТОЧНОСТЬ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ПАЗОВ НА ТОРЦАХ ДЕТАЛЕЙ

**В.А. ДАНИЛОВ, Р.А. КИСЕЛЕВ, О.В. ЯЛОВСКИЙ**  
(Полоцкий государственный университет)

*Рассмотрено влияние конструктивных и технологических факторов на точность формообразования пазов на торцах деталей методом непрерывного деления по схеме с параллельными осями заготовки и инструмента.*

Схемы формообразования пазов на торцах деталей с плоским зубчатым контуром по методу непрерывного деления обеспечивают, по сравнению с традиционными, повышение производительности и точности обработки благодаря исключению дискретного поворота заготовки, а также обусловленных им затрат времени и погрешности углового расположения пазов. Практическая реализация этих схем формообразования связана с обоснованием точности изготовления и установки инструмента и заготовки, выявления взаимосвязи и количественного определения погрешностей, возникающих при настройке обрабатывающей системы на получение заданных поверхностей.

Объектом исследования является схема обработки пазов при параллельных осях инструмента и заготовки по методу непрерывного деления (рис. 1). Эта универсальная схема обработки [1] основана на согласованных вращательных движениях инструмента и заготовки вокруг параллельных осей с расстоянием  $l$  между ними. В соответствии с данной схемой резцовая головка 1 и заготовка 2 совершают вращательные движения  $B_1$  и  $B_2$  вокруг своих осей, а инструмент – относительное поступательное движение врезания  $\Pi_3$  вдоль оси вращения. Схема обработки реализована на широкоуниверсальном зубошлифцифрезерном станке модели ВС50 производства Витебского станкостроительного завода «Вистан».

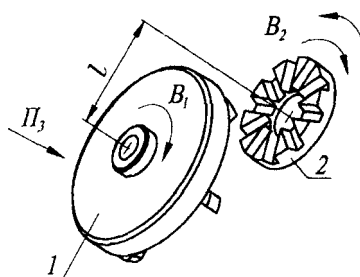


Рис. 1. Схема обработки пазов

**Цель исследования** – установление влияния на точность формообразования отдельных конструктивных и технологических факторов. К ним относятся неточность установки и изготовления инструмента, заготовки и детали, а также геометрические и кинематические погрешности станка.

Обрабатывающая система пригодна для изготовления определенного изделия, если она обеспечивает необходимое его качество, которое определяется точностью выполнения размеров, формы и расположения обработанных поверхностей. Совокупность отклонений этих параметров от заданных объединяется общим понятием «погрешность обработки».

Необходимо отметить, что при анализе схемы формообразования пазов не рассматриваются динамические, упругие и тепловые погрешности, обусловленные виброустойчивостью и жесткостью металлорежущего оборудования и инструмента, а также тепловыделением в зоне резания. Таким образом, анализируется абсолютно жесткая система с постоянным отношением частот вращения инструмента и заготовки, находящихся в термokonстантном объеме, исключающем внешние воздействия. В такой системе на погрешность обработки влияют только точность исполнения и относительного положения элементов обрабатывающей системы – инструмента, заготовки и узлов станка.

Для нее можно выделить следующие, наиболее существенные факторы, влияющие на точность формируемых поверхностей и их взаимную ориентацию.

1. Для инструмента – эксцентricность установки инструмента, диаметральное, угловое и продольное относительное смещение режущих элементов.
2. Для заготовки – торцовое и радиальное биение заготовки.
3. Для относительного положения инструмента и заготовки – погрешность настройки межосевого расстояния, непараллельность осей инструмента и заготовки.
4. Для станка – радиальное биение шпинделей заготовки и инструмента, погрешности кинематических цепей станка, непараллельность шпинделей инструмента и заготовки.

Величины погрешностей обработки можно оценить путем сравнения параметров получаемых элементов (профилей) с номинальной геометрией. В общем случае по рассматриваемой схеме обработки производится формирование поверхностей 1, 2 и 3 (рис. 2), что обуславливает возможность возникновения погрешностей по каждой из них, а также по угловому положению пазов на заготовке. Проанализируем влияние указанных факторов на точность обработки.

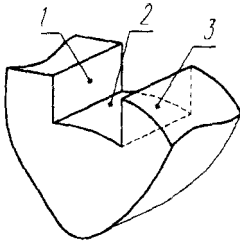


Рис. 2. Схема расположения формируемых поверхностей на заготовке

дальнейшее смещение на угол  $\Delta\varphi_k$ , который можно определить по формуле

$$\Delta\varphi_k = \frac{l}{i} \left( \arccos \left( \frac{(R \pm \Delta R_k)^2 + l^2 - r_1^2}{2l(R \pm \Delta R_k)} \right) - \arccos \left( \frac{R^2 + l^2 - r_1^2}{2Rl} \right) \right), \quad (1)$$

где  $R$  расчетное (номинальное) значение радиуса инструментальной головки, на котором должны находиться формообразующие точки режущих кромок;  $\Delta R_k$  – отклонение фактического радиуса, на котором находится формообразующая точка  $k$ -той режущей кромки, от радиуса  $R$  резцовой головки;  $i$  – отношение частот вращения инструмента и заготовки;  $l$  – параметр установки;  $r_1$  – внутренний радиус заготовки.

В соответствии с этим заготовка получит дополнительный поворот на угол

$$\Delta\alpha_k = \frac{\Delta\varphi_k}{i}. \quad (2)$$

Если резцы равномерно расположены в резцовой головке, угол между осями симметрии двух смежных пазов определяется уравнением

$$\tau = \frac{2\pi \pm \Delta\varphi_k z}{zi}. \quad (3)$$

Отклонение формы паза от теоретической обусловлено тем, что при погрешности радиуса, на котором располагается формообразующая точка, изменяется ее траектория, а следовательно и форма паза. Оценить это отклонение можно с помощью методик по определению погрешности формообразования [2], путем подстановки в уравнения математической модели фактических значений радиусов  $R$ , на которых располагаются формообразующие точки режущих кромок. Так как обработка пазов ведется режущими элементами периодически, то и погрешность по шагу расположения пазов будет характеризоваться определенной периодичностью. В случае, когда каждый паз профилируется несколькими зубьями, происходит «разбивка» пазов, исключая возникновение погрешности по шагу, но приводящая к увеличению их ширины по сравнению с ее номинальным значением.

1.2. Угловое относительное смещение режущих элементов приводит к возникновению погрешности по шагу расположения пазов. При наличии углового смещения режущий элемент не вступит в контакт с заготовкой в требуемый момент, а получит дополнительное угловое смещение  $\Delta\varphi_k$ . Величину углового смещения режущего элемента можно определить путем измерения. Так как инструмент и заготовка связаны кинематически, то заготовка соответственно повернется на угол  $\Delta\alpha_k$ , который можно определить по уравнению (2). Если в резцовой головке резцы располагаются с одинаковыми центральными углами между ними, то угол между осями симметрии двух смежных пазов определяется уравнением (3). Необходимо отметить, что это имеет место, когда каждый паз формируется только одной режущей кромкой, в иных случаях происходит «разбивка» паза.

1.3. Продольное относительное смещение режущих элементов, когда каждый паз формируется одной режущей кромкой, вызывает неравномерность глубин получаемых пазов. Если же каждый паз формируется несколькими резцами, то глубина пазов будет определяться величиной врезания резца, имеющего наибольший вылет из резцовой головки.

1.4. Эксцентricность установки режущего инструмента возникает как следствие погрешности его изготовления, а также наличия зазоров в присоединительных элементах инструмент – шпиндель станка, что проявляется в виде результирующего эксцентриситета  $e$  и радиального биения. Из-за наличия эксцентриситета  $e$  наблюдается изменение формы и положения пазов а также их ширины. Это является следствием того, что при наличии эксцентриситета изменяется радиус расположения формообразующих точек режущих кромок (рис. 3), а также возникает угловое относительное смещение режущих элементов.

В результате изменения радиусов положения формообразующих точек возникают погрешности как по расположению пазов, так и по форме их боковых сторон. Эти погрешности можно определить на основе приведенных выше рекомендаций. При этом необходимо учитывать, что значения фактических радиусов расположения формообразующих режущих кромок зависят от величины результирующей эксцентрисичности и ее ориентации относительно расположения режущих элементов.

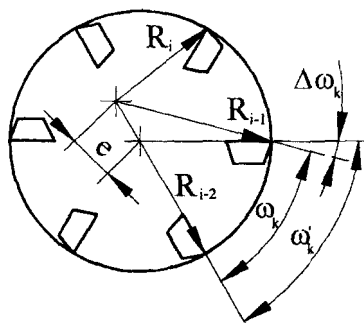


Рис. 3. Схема изменения параметров резцовой головки при наличии эксцентриситета

Погрешности фактических значений центральных углов между резцами в резцовой головке приводят к относительному угловому смещению режущих элементов, которое вызывает, как показано выше, погрешность расположения пазов. При этом значения фактических центральных углов между смежными режущими кромками  $\varphi_i$  также зависят от величины и ориентации результирующего эксцентриситета относительно резцов резцовой головки.

### 2. Погрешности из-за неточности изготовления и установки заготовки

Торцовое биение заготовки, связанное с погрешностью ее изготовления, возникает, если торцы заготовки не перпендикулярны ее геометрической оси. Когда конструктивной базой является торец, на котором требуется получить пазы, возникает погрешность по их глубине, равная торцовому биению заготовки  $\delta$ .

Торцовое и радиальное биения заготовки связаны также с перекосом заготовки при установке.

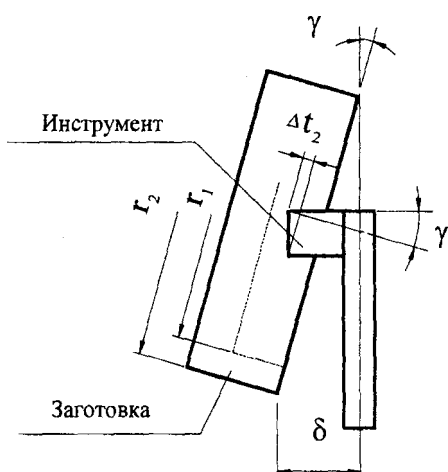


Рис. 4. Схема образования погрешности пазов при торцовом биении заготовки

Случай торцового биения заготовки, которое вызвано ее перекосом при установке, представлен на рис. 4. Оно обуславливает погрешности поверхностей 1, 2, 3 (см. рис. 2). Погрешность поверхности 2 заключается в неравномерности глубины паза по его ширине и длине, при этом наибольшая величина погрешности глубины паза по ширине составляет

$$\Delta t_2 = \frac{b\delta}{2r_2}, \tag{4}$$

где  $\delta$  – максимальное торцовое биение;  $b$  – ширина получаемого паза;  $r_2$  – радиус внешней окружности заготовки, а величина погрешности глубины паза по длине:

$$\Delta t_1 = \frac{b\delta}{2r_2\pi i} \left( \arccos \left( \frac{R^2 + l^2 - r_2^2}{2lR} \right) - \arccos \left( \frac{R^2 + l^2 - r_1^2}{2lR} \right) \right).$$

Погрешность поверхностей 1, 3 заключается в их изогнутости, поскольку угол наклона фактического положения паза к номинальному его положению  $\gamma$  изменяется на длине паза. Величина угла  $\gamma$  определяется зависимостью

$$\gamma = \arcsin \left( \frac{\delta_i}{2r_2} \right). \tag{6}$$

### 3. Погрешности из-за неточного относительного положения инструмента и заготовки

3.1. Погрешность настройки на межосевое расстояние  $l$  вызывает изменение траектории формообразующих кромок, в результате чего возникает погрешность формы боковых сторон паза. Величину этой погрешности можно определить исходя из модели формообразования [2].

3.2. Погрешности из-за непараллельности осей инструмента и заготовки имеют место, когда инструмент устанавливается с перекосом на оправке, ее геометрическая ось не совпадает с осью вращения шпинделя инструмента или заготовка установлена с перекосом. В этих случаях возникают перекосы инструмента и заготовки. Их можно привести к схеме с перекосом заготовки, когда инструмент вращается вокруг своей оси без биения, а заготовка вращается вокруг своей оси с дополнительной величиной биения,

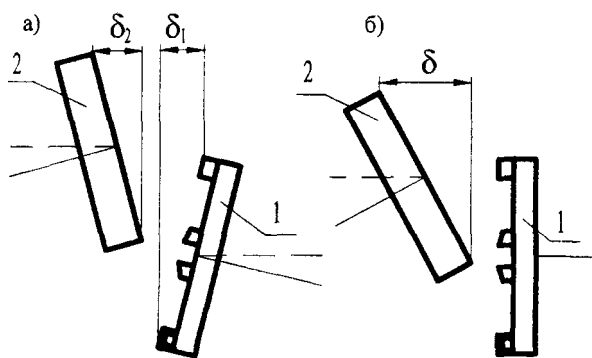


Рис. 5. Схема образования погрешности при неточном относительном положении инструмента и заготовки

равной биению инструмента. Для большинства случаев, когда передаточное число  $i \neq 1$ , положение суммарного биения заготовки изменяется по положению и значению в зависимости от взаимного положения экстремумов величин торцовых биений заготовки и инструмента. Поэтому наибольшие величины погрешностей имеют место, когда максимальные величины указанных торцовых биений лежат в одной плоскости и по одну сторону от осей заготовки и инструмента (рис. 5, а). В этом случае расчетная схема имеет вид, как показано на рис. 5, б, а величина эквивалентного биения  $\delta$  заготовки составляет

$$\delta = \frac{r_2 \delta_1}{R} \sqrt{1 - \left(\frac{\delta_2}{2r_2}\right)^2} + \delta_2 \sqrt{1 - \left(\frac{\delta_1}{2R}\right)^2}, \quad (7)$$

где  $\delta_1$  — биение инструмента;  $\delta_2$  — биение заготовки.

Рассмотренное биение  $\delta$  вызывает погрешности обработки поверхностей 1, 2, 3 по форме и положению.

#### 4. Погрешности из-за неточности станка

Радиальное биение шпинделей заготовки и инструмента имеет место из-за неточности изготовления опор исполнительных органов. В результате биения обоих шпинделей возникают погрешности обработки пазов по положению и форме.

Необходимо отметить, что кинематические погрешности цепей обката и дифференциала станка вызывают циклическое изменение передаточного числа  $i$  в процессе получения пазов, что оказывает влияние на форму поверхностей 1, 3 и положение пазов.

Непараллельность шпинделей инструмента и заготовки вызывает возникновение погрешностей формы поверхностей 1, 2, 3, а также их расположения, которые могут быть определены аналогично рассмотренному выше.

Таким образом, решена задача определения погрешности обработки пазов, если известны погрешности инструмента, заготовки и их относительного расположения. Это позволяет объективно оценить пригодность обрабатывающей системы для получения пазов заданной точности, а также конкретизировать требования к точности станка, инструмента и оснастки.

Результаты исследования использованы для проектирования специальных режущих инструментов к широкоуниверсальному станку модели ВС-50 для обработки по методу кинематического профилирования деталей с плоским зубчатым контуром.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Данилов В.А., Киселев Р.А. Прогрессивные схемы формообразования плоских прерывистых поверхностей // Машиностроение. – Мн., 2002. – Вып. 18. – С. 13 – 17.
2. Яловский О. В. Определение погрешности формообразования пазов на торцах деталей по методу непрерывного деления // Молодежная научно-техническая конференция вузов приграничных регионов славянских государств: Материалы конф., Брянск, 17 – 18 дек. 2002 г. / Под ред. О.А. Горленко. – Брянск: БГТУ, 2002. – С. 118 – 121.