

МОДЕЛИРОВАНИЕ СЪЕМА МЕТАЛЛА В ПРОЦЕССЕ ВНУТРИШЛИФОВАЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ПРЕРЫВИСТЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

А.В. Акинцева

Анализ технологических особенностей внутреннего шлифования показал, что в автомобильной и станкостроительной отраслях большинство операций внутреннего шлифования связаны с обработкой прерывистых поверхностей, включая шлицевые и шпоночные отверстия, а также внутренние поверхности, имеющие различные пазы, канавки и отверстия. Шлифование таких отверстий вызывает наибольшие затруднения в связи с высокой нестабильностью процесса, повышенными колебаниями силы резания и упругих деформаций технологической системы, что приводит к снижению точности обработки. С целью учета специфики внутреннего шлифования прерывистых поверхностей при проектировании оптимальных циклов шлифования предложены модели процесса съема металла и расчета погрешностей обработки, позволяющие рассчитывать изменения текущих значений силы резания, фактически снятого припуска, радиусов обрабатываемого отверстия и др. параметров. Разработанная модель съема металла процесса внутреннего шлифования позволяет учитывать переменные условия обработки партии деталей (исходное радиальное биение заготовки, разброс припуска на обработку, затупление зерен шлифовального круга и др.). На основе модели съема металла разработана методика проектирования оптимальных циклов в многомерном пространстве управляющих параметров и технологических ограничений целевой функции.

Ключевые слова: внутреннее шлифование, съем металла, прерывистые поверхности, точность.

Большая часть заготовок, подвергаемых внутреннему шлифованию, имеют прерывистые поверхности в виде шпоночных и шлицевых отверстий, а также отверстий с наличием различных канавок и отверстий. Шлифование отверстий с прерывистой поверхностью вызывает наибольшие затруднения из-за изменений условий резания, связанных с резким уменьшением площади контакта в зоне резания, что приводит к дополнительным периодическим колебаниям силы резания, упругих деформаций технологической системы и появлению дополнительных погрешностей обработки. Причем в процессе шлифования шлицевых и шпоночных отверстий пе-

риодически происходит полное прерывание контакта круга с заготовкой. При этом сила резания и упругие деформации технологической системы снижаются до нуля за время поворота заготовки на ширину паза.

Когда режущая кромка круга проходит поверхность паза, происходит динамический удар круга о заготовку, что вызывает снижение стойкости круга, увеличенное колебание силы резания и возникновение еще больших погрешностей обработки. Но наибольшие погрешности возникают при шлифовании прерывистой поверхности отверстия в зоне реверсирования круга, когда возникает дополнительное колебание силы резания из-за: перебега круга [1], снижения продольной подачи до нуля и ее возрастания до заданного значения в точке реверса, наличия поперечной подачи в точке реверсирования в начальном сечении отверстия.

Таким образом, при моделировании процесса внутреннего шлифования и расчете диаметальной и осевой погрешности обработки необходимо обязательно учитывать эффекты прерывистого шлифования в зонах реверсирования (когда высота рабочей поверхности круга и подачи являются переменной величиной) и в среднем сечении отверстия (когда рабочая высота круга полностью находится в отверстии). Также отметим, что внутришлифовальная обработка заготовок происходит в постоянно меняющихся условиях обработки партии деталей (колебание припуска и исходной точности обрабатываемой поверхности в партии заготовок). Поэтому для обеспечения достоверности результатов моделирования процесса внутреннего шлифования необходимо учитывать переменные условия обработки.

Моделирование съема металла в крайних сечениях отверстия по сравнению со съемом припуска в среднем сечении является сложной задачей, т.к. требует учета большого ряда особенностей обработки начального и конечного сечения, которые оказывают значительное влияние на стабильность процесса (многоэтапность, изменения вероятностного контакта с заготовкой и жесткости технологической системы). Поэтому сначала рассмотрим процесс съема металла с прерывистой обрабатываемой поверхности в среднем сечении на примере автоматического цикла шлифования для абсолютно круглой заготовки, которая описана тремя одинаковыми радиусами под номерами 1, 3, 4 и одним максимальным радиусом под номером 2, отображающим наличие шпоночного паза. Съем металла начинается с момента касания заготовки в точке один, в которой зафиксирован радиус под номером один. На рис. а представлен график изменения фактически снятого припуска на i -м ходе z -й ступени для абсолютно круглого среднего сечения, имеющего шпоночный паз. Наличие прерывистой поверхности приводит к тому, что площадь контакта круга с заготовкой уменьшается. В результате силы резания упругие деформации технологической системы и фактически снятый припуск изменяют свои значения до нуля за время

поворота заготовки на ширину паза, при этом возникает большая вероятность появления дополнительных погрешностей обработки.

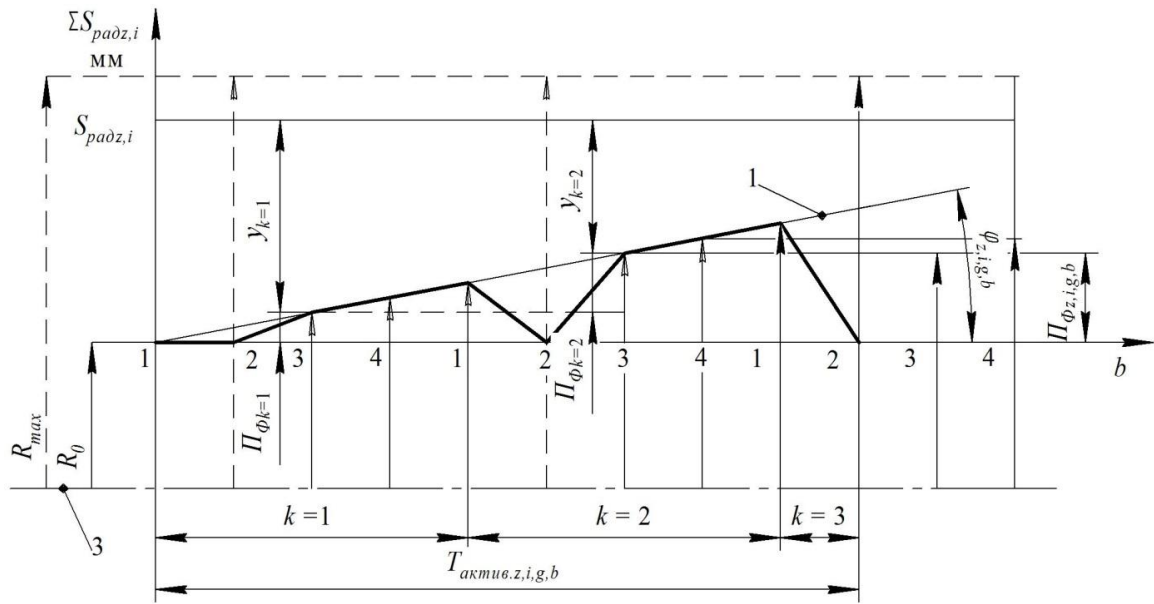
Отметим, что в процессе съема металла отверстие заготовки накапливает некруглость по следующим причинам:

– съем металла осуществляется за k -е количество раз, равное количеству рабочих участков (рис. б). Длина последнего рабочего участка является наименьшей по сравнению с предшествующими участками, т.к. количество рабочих участков является нецелым числом (в противоположном случае в обрабатываемом отверстии круг нарежет «резьбу»). Поэтому количество радиусов, обрабатываемых последним неполным рабочим участком, меньше, чем у предшествующего полного рабочего участка. Это приводит к образованию некруглости сечения заготовки;

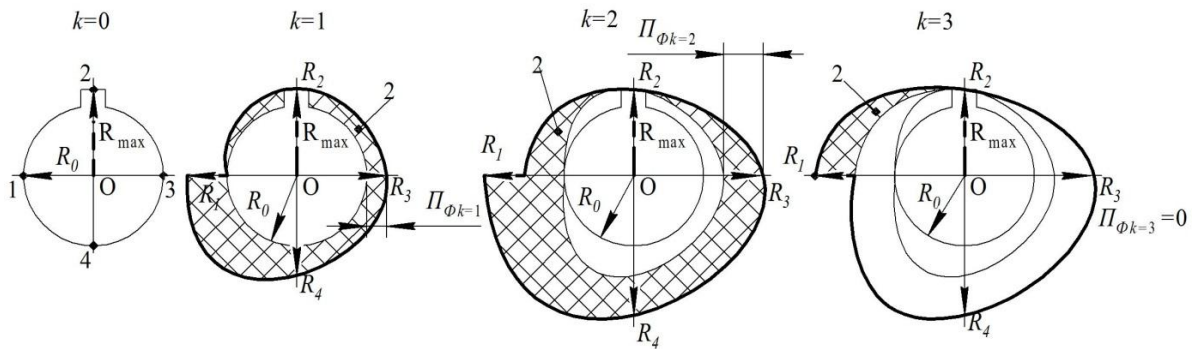
– траекторией снятия припуска при обработке абсолютно круглой заготовки на i -м ходе z -й ступени является спираль Архимеда [2–3]. В данном случае величина некруглости зависит от величины фактически снятого припуска на предшествующем обороте (рабочем участке). Чем больше был снят припуск за последний оборот заготовки, тем больше наследственный эллипс имеет поступившая заготовка (рис. в).

Помимо накопленной некруглости в процессе обработки отверстия заготовок в партии изначально имеют разное исходное радиальное биение. Поэтому для учета исходной и накопленной некруглости заготовки форма сечения обрабатываемой поверхности принимается в виде эллипса. Каждое сечение описывается массивом радиус-векторов, изменяющихся от R_{min} до R_{max} . Текущие значения радиусов рассчитываются для каждого сечения в течение всего цикла обработки [4–5].

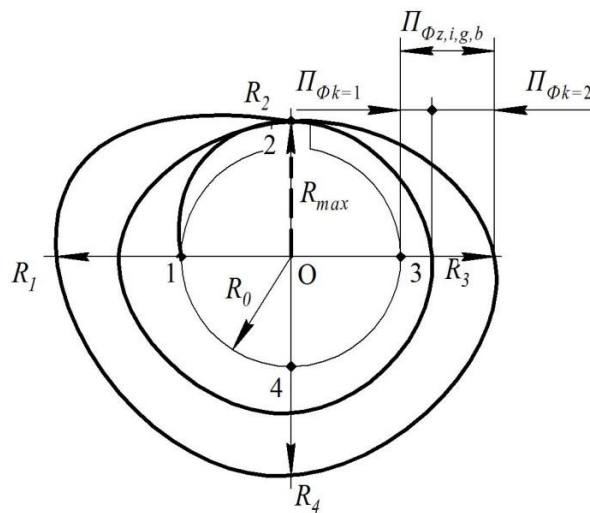
Часть прерывистых поверхностей отверстия заготовки являются сквозными (например, шпоночные или шлицевые пазы), т.е. находятся в зоне реверсирования в крайних сечениях, в которых возникают дополнительные значительные колебания силы резания, вызванные изменением зоны контакта круга с заготовкой, наличием врезной радиальной подачи. Дополнительные колебания силы резания приводят к изменениям упругой деформации технологической системы, активной высоты круга, величины фактически снятого припуска и др. параметров. В результате при обработке прерывистых поверхностей, расположенных в крайних сечениях (в зоне реверсирования), увеличивается вероятность возникновения дополнительной осевой и диаметральной погрешности обработки. Отметим, что при взаимодействии режущей кромки круга с поверхностью паза происходит динамический удар, который приводит к снижению стойкости круга, изменению силы резания, упругой деформации технологической системы, фактически снятого припуска. В результате возникает еще большая вероятность возникновения погрешности обработки.



а)



б)



в)

а) график съема металла с круглой заготовки с прерывистой поверхностью на i -м ходе z -й ступени; б) этапы обработки заготовки с прерывистой поверхностью на i -м ходе z -й ступени; в) траектория снятия припуска при обработке заготовки с прерывистой поверхностью на i -м ходе z -й ступени; 1 – режущая кромка круга; 2 – слой снимаемого металла; 3 – ось отверстия

Большая часть нормативно-справочной литературы содержит рекомендации по выбору режимов резания для внутреннего шлифования и практически не учитывает ни наличия прерывистой поверхности, ни колебания припуска и исходного радиального биения при обработке партии заготовок [6–7]. Поэтому параметры режимов резания, полученные по данной литературе, являются по сути своей «ориентировочными» и требуют адаптации под конкретные условия обработки. Все это приводит к увеличению дополнительных затрат на производстве и снижению производительности, т.к. назначенные режимы обработки изначально занижаются с целью выполнения требований чертежа по точности и качеству. В результате современные станки с ЧПУ используются на 30...40 % от своей мощности, и зачастую их производительность ниже, чем на универсальных станках, особенно при малых партиях деталей.

Для решения данной проблемы нами предложена методика проектирования оптимальных циклов внутреннего шлифования, представленная в данных статьях [8]. Данная методика основана на математической модели внутреннего шлифования прерывистых поверхностей любой сложности при переменных условиях обработки. В модели съема металла профиль и прерывистость поверхности учитываются массивом радиусов отверстия, которые изменяются при съеме припуска на каждом обороте заготовки. Модель съема отражает изменения радиальной составляющей силы резания, активной высоты круга, угла поворота и упругой деформации режущей кромки круга, при этом позволяя рассчитывать величину фактически снятого припуска на b -м радиусе g -го сечения на i -м ходе z -й ступени.

В результате становится возможным осуществлять расчет погрешности обработки по расчетным значениям радиусов на любом этапе цикла шлифования для любых переменных условий обработки, связанных с колебанием припуска и исходного радиального биения отверстий в партии заготовок, характеристики и размеров круга, диаметра и длины обрабатываемого отверстия, жесткости технологической системы и других технологических параметров [9].

Выводы

1) внутреннее шлифование прерывистых поверхностей является самой распространенной операцией в машиностроении (за исключением шарикоподшипниковой отрасли). Поэтому проектирование оптимальных циклов обработки для таких операций является важной и актуальной задачей современного автоматизированного машиностроительного производства;

2) прерывистость поверхности отверстия является мощным технологическим фактором, оказывающим значительное влияние на производительность операции и стабильность процесса съема припуска из-за возникновения значительных колебаний силы резания, упругой деформации технологической системы, точности обработки и др. параметров;

3) разработанная математическая модель съема металла [4–5] позволяет:

– учитывать особенности шлифования прерывистых поверхностей любой сложности, конфигурации конструктивных элементов и переменных условий обработки;

– рассчитывать изменения силы резания, активной высоты круга, упругой деформации и угла поворота режущей кромки круга, фактически снятого припуска на b -м радиусе g -го сечения на i -м ходе z -й ступени, в том числе при обработке крайних сечений в зонах реверсирования, где стабильность процесса нарушается дополнительными колебаниями силы резания, вызванными изменением зоны контакта круга с заготовкой, наличием врезной радиальной подачи;

4) разработанная модель расчета диаметальной и осевой погрешностей при внутришлифовальной обработке отверстий учитывает специфику шлифования внутренних прерывистых поверхностей в зонах реверсирования и в середине отверстия [9];

5) на основе полученных моделей разработана методика проектирования оптимальных циклов внутреннего шлифования [8], учитывающая ограничения процесса шлифования, связанные с внутренним шлифованием прерывистых поверхностей.

Библиографический список

1. Сайкин, С.С. Определение величины перебега круга при внутреннем шлифовании / С.С. Сайкин, П.М. Салов, Т.Г. Виноградова // «Инновации в образовательном процессе»: сб. трудов. – Чебоксары: ЧПИ (ф) МГОУ, 2010. – № 8. – С. 85–87.

2. Переверзев, П.П. Моделирование и оптимизация управляющих программ в автоматизированном машиностроительном производстве / П.П. Переверзев // Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроение». – 2012. – № 12 (271). – С. 152–157.

3. Переверзев, П.П. Моделирование технологических ограничений при оптимизации автоматических циклов шлифования / П.П. Переверзев // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Машиностроение». – 2012. – № 12 (271). – С. 165–168.

4. Переверзев, П.П. Моделирование процесса съема металла при внутреннем шлифовании с учетом особенностей кинематики резания / П.П. Переверзев, А.В. Акинцева // СТИН. – 2016. – № 4. – С. 23–28.

5. Переверзев, П.П. Аналитическое моделирование взаимосвязи силы резания при внутреннем шлифовании с основными технологическими параметрами / П.П. Переверзев, А.В. Попова // Металлообработка. – 2013. – № 3. – С. 24–30.

6. Режимы резанья на работы, выполняемые на шлифовальных и доводочных станках с ручным управлением и полуавтоматах: справочник. – Челябинск: Изд-во АТКОСО, 2007. – 384 с.

7. Справочник технолога машиностроителя: справочник: в 2 т. / под ред. А.Н. Малова, – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1972. – 568 с.

8. Переверзев, П.П. Моделирование и оптимизация циклов внутреннего шлифования в условиях автоматизированного машиностроительного производ-

ства / П.П. Переверзев, А.В. Акинцева // Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроение». – 2016. – № 3. – С. 44–53.

9. Переверзев, П.П. Моделирование ограничений по точности обработки при проектировании оптимальных циклов внутреннего шлифования / П.П. Переверзев, А.В. Акинцева // Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроение». – 2016. – № 2. – С. 61–71.

[К содержанию](#)