

УДК621.951

В.М. Тонконогий, д-р техн. наук, Т.Г. Джугурян, д-р техн. наук,
А.М. Голобородько, Л.М. Перпери, канд.техн. наук, Одесса, Украина

СТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОБРАБОТКИ КОНИЧЕСКИХ ОТВЕРСТИЙ АБРАЗИВНО-ВЫГЛАЖИВАЮЩИМИ РАЗВЕРТКАМИ

У статті розглянуто вплив конструктивно-технологічних параметрів при структурному аналізі та математичному моделюванні процесу обробки конічних отворів та визначено завдання адаптивного управління абразивно-вигладжувальним розгортанням.

В статье рассмотрено влияние конструктивно-технологических параметров при структурном анализе и математическом моделировании процесса обработки конических отверстий и определены задачи адаптивного управления абразивно-выглаживающим развертыванием.

The article considering the impact of design and technological parameters for the structural analysis and mathematical modeling of the conical holes processing and identified the problems of abrasive smoothes deployment adaptive control.

При изготовлении шпинделей металлорежущих станков в качестве чистовой обработки конической поверхности перспективным представляется использование абразивно-выглаживающего развертывания взамен операции шлифования. В процессе абразивно-выглаживающего развертывания осуществляется не только размерная обработка со снятием припуска, но и отделочно-упрочняющая обработка без снятия припуска, направленная на улучшение качества поверхностного слоя (повышение твердости, снижение шероховатости, создание сжимающих напряжений) [1].

Процесс обработки точных конических отверстий абразивно-выглаживающим развертыванием целесообразно рассматривать не только как механизм образования новой поверхности с целью получения ее заданной размерной точности и качества, но и как сложный механизм взаимодействия инструмента с обрабатываемым материалом в условиях изменяющихся свойств элементов технологической системы резания.

Целью работы является определение влияния конструктивно-технологических параметров и факторов при структурном анализе и математическом моделировании процесса обработки конических отверстий абразивно-выглаживающим развертыванием.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

– рассмотреть конструктивно-технологические параметры и факторы, влияющие на точность и качество обрабатываемой поверхности и определить структурную модель;

– определить задачи адаптивного управления на основе диагностики состояния технологической системы обработки абразивно-выглаживающего развертывания.

Известно, что точность и качество поверхностей деталей зависит от большого количества технологических факторов обработки, конструктивных параметров рабочих элементов инструмента и типоразмеров деталей [2]. Основными технологическими факторами и параметрами обработки являются: глубина резания, подача, скорость, геометрия и конструктивные размеры рабочих элементов, усилие резания, температура, стойкость инструмента, исходная шероховатость, твердость материала и некоторые другие величины. Точность обработки во многом зависит от точности предшествующей операции, и вида термической обработки, которой подвергается обрабатываемая поверхность. Большое количество параметров, влияющих на процесс обработки абразивно-выглаживающим развертыванием, затрудняет выбор их рационального сочетания. Для управления процессом резания необходимо рассмотреть взаимовлияние этих параметров, и определить условия их стабилизации. В общем виде структурная модель процесса абразивно-выглаживающего развертывания представлена на рис. 1.

К исходным параметрам процесса абразивно-выглаживающего развертывания можно отнести марку обрабатываемого материала, требования к точности и качеству обрабатываемой поверхности. К управляемым или контролируемым параметрам относят марку инструментального материала, геометрические и конструктивные параметры режущего инструмента, режимы резания и вид смазывающе-охлаждающей технологической среды. К возмущающим систематическим параметрам процесса резания можно отнести закономерное изменение скорости резания $v = f(d)$ при $n = \text{const}$, глубины резания, подачи. К возмущающим случайным параметрам можно отнести неконтролируемые изменения физико-механических свойств детали и инструмента, величины припуска. Из перечисленных выше параметров видно, что не только большое число технологических и геометрических, конструктивных параметров, а также состояние поверхности детали определяют физико-механические явления, происходящие в зоне контакта инструмент – обрабатываемая деталь. Все эти параметры в комплексе будут оказывать влияние на выходные параметры.

К выходным параметрам процесса резания при абразивно-выглаживающей обработке можно отнести производительность, точность и качество обработки, свойства поверхностного слоя.

Процесс абразивно-выглаживающего развертывания относится к дискретно-стохастическому резанию, т.к. сьем материала осуществляется статически неопределенными режущими зёрнами абразивных брусков [3].

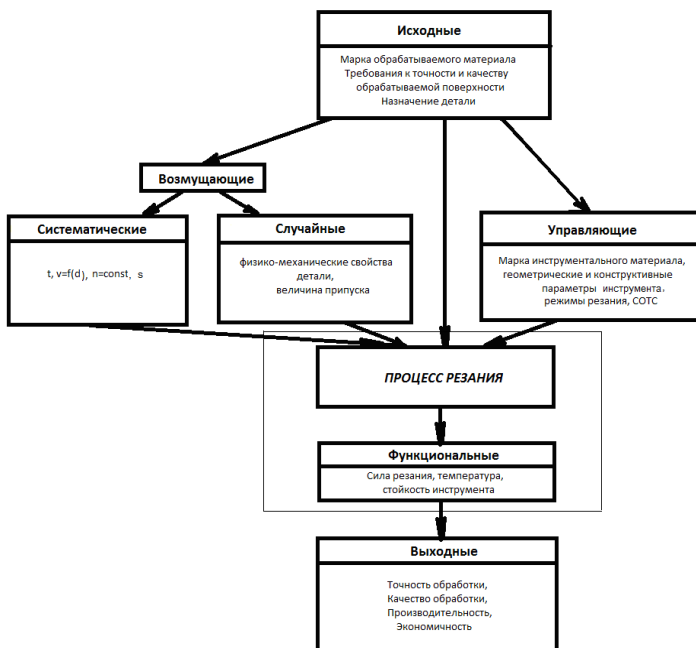


Рисунок 1 – Структурная модель процесса абразивно-выглаживающего развертывания.

Для прогнозирования выходных параметров процесса резания необходимо учитывать наряду с исходными и управляющими параметрами влияние, оказываемое возмущающими параметрами. Действие возмущающих параметров, а именно изменение скорости резания, глубины резания, подачи, физико-механических свойств детали и инструмента, величины припуска приводит к изменению параметров, характеризующих состояние технологической системы (силы резания, крутящий момент, интенсивность износа инструмента). Контроль процесса резания можно производить с помощью корректировки составляющих режима резания для стабилизации силовых характеристик (крутящего момента) или интенсивности изнашивания инструмента.

Таким образом, в соответствии со структурной моделью процесса абразивно-выглаживающего развертывания задачу повышения точности и

качества обработки можно рассматривать, как задачу организации адаптивного управления при обработке на станке.

Задача адаптивного управления включает в себя активный контроль состояния абразивно-выглаживающей развертки и корректирование режимов обработки по результатам диагностики. Диагностика предельных состояний технологической системы может осуществляться на основе контроля режущего инструмента датчиками крутящего момента и мощности.

Контроль в системе производится по нагрузке привода шпинделя путем сравнения фактической силы тока с величиной, введенной в память ЭВМ в ходе обучения. Обучение системы адаптивного управления осуществляется на основе математической модели, связывающей предельное значение крутящего момента привода главного движения с величинами удельных давлений рабочих элементов на обрабатываемую поверхность.

При абразивно-выглаживающем развертывании существуют предельные нагрузки на рабочие элементы, выше которых вести обработку не рекомендуется из-за их интенсивного износа, возможных поломок и засаливания рабочей поверхности абразивных элементов. С другой стороны, недостаточные нагрузки на абразивные элементы снижают эффективность съема припуска при обработке. Поэтому как для абразивных, так и для направляющих элементов существуют рекомендуемые диапазоны удельных давлений на обрабатываемую поверхность, при которых обеспечивается эффективное абразивно-выглаживающее развертывание.

При абразивном развертывании, как и при хонинговании, удельное давление брусков на обрабатываемую поверхность, как правило, находится в пределах 0,2 – 1,5 МПа [4]. Однако, в отличие от хонингования при абразивном развертывании нагрузка на рабочей поверхности абразивного элемента распределяется неравномерно. Наиболее нагруженным при развертывании является начальный и конечный участки рабочего элемента, положение которого определяется осевым смещением l_s переднего торца абразивного элемента 5 относительно вершины опорного направляющего элемента 3 (рис. 2). Это связано с тем, что при контакте направляющих элементов с обрабатываемой поверхностью именно этот участок первым вступает во взаимодействие с обрабатываемой поверхностью. Поэтому для эффективной размерной обработки давление на этом участке абразивного элемента не должно превышать предельной величины из рекомендуемых значений, то есть должно выполняться следующее условие:

$$p_{p,s} \leq p_{pmax} ,$$

где $p_{p,s}$ – текущее давление на переднем участке абразивного элемента длиной l_s при контакте развертки с обрабатываемым отверстием, МПа;

$P_{P\max}$ – предельно допустимое давление на переднем участке абразивного элемента длиной l_s .

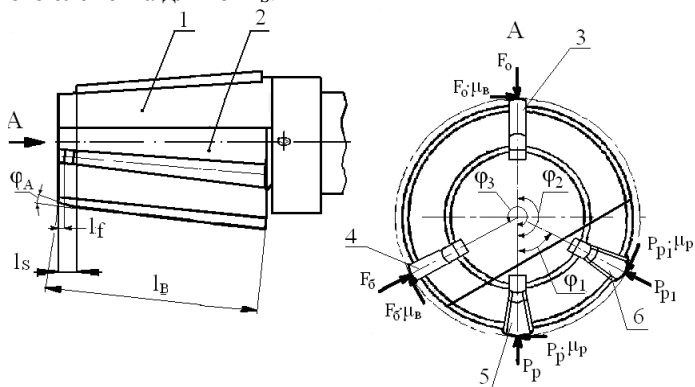


Рисунок 2 – Схема абразивно-выглаживающей развертки:

1 – корпус, 2 – плавающая пластина, 3, 4 – направляющие элементы, 5, 6 – абразивные элементы; l_f – длина заходной фаски абразивного элемента, ϕ_a – угол наклона в плане заходной фаски, l_s – осевое смещение вершины абразивного элемента относительно вершины направляющего элемента, l_B – длина основной рабочей поверхности абразивных элементов, установленных в продольном пазу

В момент времени, когда вершины всех направляющих элементов вошли в обрабатываемое отверстие, наблюдается максимальное значение крутящего момента $M_{P\max}$ привода главного движения, значение которого должно удовлетворять условию:

$$M_{P\max} \leq M_{ПР},$$

где $M_{P\max}$ – максимальное значение крутящего момента, Н·м;
 $M_{ПР}$ – предельное значение крутящего момента, Н·м.

Значение предельного момента привода главного движения $M_{ПР}$ можно определить, как:

$$M_{ПР} = M_{ХР} + 0,5d_{\max} [\mu_P (P_{P\max} + P_{P1\max}) + \mu_B (F_0 + F_6)],$$

где $M_{ХР}$ – момент холостого хода главного движения, Н·м;
 $P_{P\max}$, $P_{P1\max}$ – максимально допустимые радиальные составляющие сил, действующих на абразивные элементы 5, 6 в процессе обработки, Н;
 F_0 , F_6 – радиальные составляющие сил, действующих на направляющие элементы 3, 4 в процессе обработки, Н;
 d_{\max} – максимальный диаметр конической развертки, м;

μ_p, μ_b – коэффициенты трения между абразивными элементами 5, 6, направляющими элементами 3, 4 и поверхностью отверстия соответственно.

Значения составляющих сил резания $P_{p_{\max}}, P_{p1_{\max}}$, находят из условия статического равновесия инструмента. При этом необходимо учитывать, что при введении предельного значения крутящего момента для адаптивной системы значение составляющей силы резания $P_{p_{\max}}$ находят с учетом конической поверхности инструмента:

$$P_{p_{\max}} = 2\pi \cdot \cos^2 \alpha \cdot \int_{y_{\min}}^{y_{\max}} P_{p_{\max}} y dy ;$$
$$y_{\min} = 0,5d_{\min} / \cos \alpha, \quad y_{\max} = 0,5d_{\max} / \cos \alpha,$$

где α – угол конуса,

d_{\min}, d_{\max} – минимальный и максимальный диаметры конической развертки.

Использование математических моделей дает возможность выполнения коррекции погрешностей обработки, необходимой для повышения точности и качества обработки, а также предотвращения поломок инструмента.

Диагностика состояния инструмента предусматривает выполнение следующих этапов:

- 1) ввод исходных данных;
- 2) обработка данных по принятой математической модели;
- 3) расчет основных параметров процесса (радиальных составляющих сил резания и крутящих моментов);
- 4) расчет погрешностей обработки (по величине износа) и сравнение их с заданными параметрами точности;
- 5) принятие технических решений при невыполнении условия $M_{p_{\max}} \leq M_{пр}$, возврат к исходным данным и отладка программы;
- 6) проверка обеспечения заданной точности по скорректированным параметрам процесса.

Использование моделирования возможно на этапе проектирования технологических процессов в режиме прогноза точности и качества обработки.

Список использованных источников: 1. Джугурян Т.Г. Абразивно-выглаживающий инструмент для обработки точных конических отверстий / Джугурян Т.Г., Линчевский П.А. и др. – Резание и инструмент в технологических системах: НТУ “ХПИ”. – 2008. – Вып. 75. – С.103 – 106. 2. Джугурян Т.Г. Комбинированная обработка точных координированных отверстий. – Одесса: АО БАХВА, 2003. – 108 с. 3. Старков В.К. Физика и оптимизация резания материалов / М.: Машиностроение, 2009. – 640 с. 4. Абразивная и алмазная обработка материалов / Справочник под общей ред. А.Н. Резникова – М.: Машиностроение, 1977. – 390 с.

Поступила в редколлегию 27.06.2013