

УДК 621.774.72

Обухов А. Н.  
Тарасов А. Ф.  
Паламарчук В. А.  
Серда В. Г.  
Горбач Е. В.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ТАНГЕНЦИАЛЬНОЙ ОБКАТКИ ТРУБ

Тангенциальная обкатка инструментом трения представляет собой деформирование предварительно нагретого до ковочной температуры конца трубчатой заготовки профилированным инструментом, поступательно движущимся в направлении, перпендикулярном к оси вращения заготовки [1, 2]. По авторскому свидетельству СССР 285882, которое легло в основу технологического процесса тангенциальной обкатки, «рабочая поверхность инструмента образована сопряжением последовательно расположенных участков поверхностей тел вращения и задаётся сечениями, перпендикулярными направлению перемещения инструмента, профиль которых определяется углом между касательными к образующей обкатываемой поверхности и осью вращения инструмента» [3]. По этой схеме при взаимодействии вращающейся заготовки с инструментом переменного профиля происходит постепенное деформирование конца заготовки до заданной формы. Таким образом, рабочую поверхность инструмента можно разделить на две части: формирующая часть, представляющая собой часть линейчатой поверхности, образованной касательными, проведенными к образующей обкатываемой поверхности, и калибрующая часть, образованная сопряжением последовательно расположенных участков поверхностей тел вращения (рис. 1).

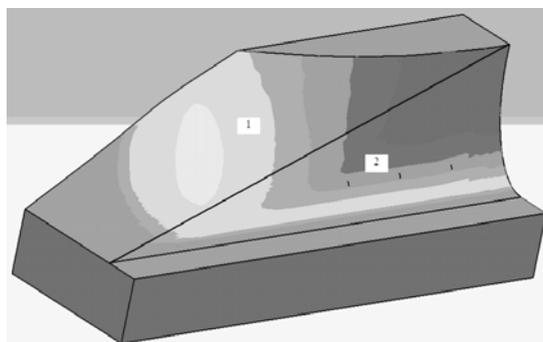


Рис. 1. Инструмент трения:

1 – формирующая часть рабочей поверхности; 2 – калибрующая часть рабочей поверхности

Известные методы проектирования рабочей поверхности инструмента для тангенциальной обкатки труб [4–6], в сущности, основаны на этом же дискретном процессе построения сечений, определяемых касательными, проведенными к образующей обкатываемой поверхности. При проектировании предварительно вычисляют, по тому или иному алгоритму, и формируют массивы координат точек пересечения рабочей поверхности с гранями инструмента. Затем эти точки наносят на модель инструмента и плавно их соединяют.

Другим направлением проектирования рабочей поверхности инструментов трения для тангенциальной обкатки является использование CAD-систем. В работе [7] данная задача решена на основе использования системы поверхностного проектирования Delcam PowerSHAPE. В процессе решения на плоскости строилась система касательных к образующей днища заданного к получению изделия. Затем касательные размещались в пространстве в соответствии с требованиями технологического процесса, и по ним создавалась линейчатая поверхность рабочего профиля инструмента. Дискретный характер построения сечений при этом не меняется.

Таким образом, оба метода проектирования имеют один существенный недостаток: рабочая поверхность инструмента трения может иметь непрогнозируемые отклонения от ожидаемых размеров, порожденные неточностью расчетов и нанесения размеров в первом случае и непредсказуемостью алгоритма построения поверхности в системе Delcam PowerSHAPE во втором.

Необходимо оценить величину таких отклонений. Задача может быть решена путем построения точных аналитических зависимостей для описания рассматриваемых поверхностей.

Целью данной работы является разработка метода оценки величины отклонения спроектированной инженерными методами поверхности инструмента трения от её идеального образа.

Построим аналитические зависимости для описания формующей части рабочей поверхности инструмента трения для обкатки эллиптического днища. Искомая поверхность должна быть линейчатой, причём её должны составлять касательные к образующей заданной к обработке заготовке (рис. 2).

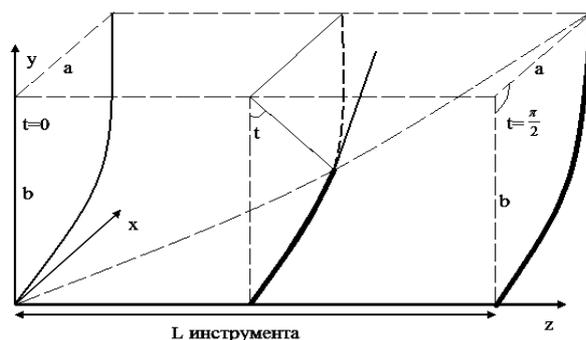


Рис. 2. Расчетная схема для построения аналитических зависимостей

Уравнение образующей в параметрическом виде:

$$x = a \cdot \sin t; \quad y = b(1 - \cos t). \quad (1)$$

Запишем уравнение касательной:

$$Y - y = y'_x (X - x). \quad (2)$$

Найдем производную  $y'_x$ :

$$y'_x = \frac{y'_t}{x'_t} = \frac{b \cdot \sin t}{a \cdot \cos t}. \quad (3)$$

Подставим выражение (3) в (2) и после преобразований получим:

$$Y = b(1 - \cos t) + \frac{b}{a} \operatorname{tg} t (X - a \sin t). \quad (4)$$

При этом координата  $z$  изменяется по закону:

$$z = a \cdot t; \quad t = \frac{z}{a}, \quad 0 \leq t \leq \frac{p}{2}.$$

Уравнение (4) и будет искомым уравнением формующей части рабочей поверхности инструмента для обкатки эллиптического днища.

При  $a = b = R$  можно получить уравнение формующей части рабочей поверхности инструмента для обкатки сферического днища радиуса  $R$ :

$$Y = R(1 - \cos t) + \operatorname{tg} t (X - R \sin t). \quad (5)$$

$$z = a \cdot t; \quad t = \frac{z}{a}, \quad 0 \leq t \leq \frac{p}{2}.$$

Калибрующая часть рабочей поверхности инструмента для обкатки представляет собой часть цилиндрической поверхности:

– в случае эллиптического цилиндра:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{(y-b)^2}{b^2} = 1; \quad (6)$$

– в случае кругового цилиндра:

$$x^2 + (y-b)^2 = R^2. \quad (7)$$

Найдем линию пересечения поверхности (4) с цилиндром (6). Совместно решив эти уравнения, получим уравнение линии:

$$\begin{aligned} x &= a \cdot \sin t; \\ y &= b(1 - \cos t); \\ z &= \frac{2L}{p}t. \end{aligned} \quad (8)$$

В случае сферического днища, совместно решив уравнения (5) и (7), получим уравнение части дуги винтовой линии:

$$\begin{aligned} x &= R \cdot \sin t; \\ y &= R(1 - \cos t); \\ z &= \frac{2L}{p}t. \end{aligned} \quad (9)$$

Таким образом, мы показали, что линия, разделяющая формующую и калибрующую части рабочей поверхности (рис. 1), является частью дуги винтовой линии.

Проблема контроля точности аппроксимации связана с необходимостью получения информации из САД-системы после построения рабочих поверхностей инструмента на основе использования ее программного интерфейса. Рассмотрим структуру программной системы (рис. 3), которая интегрирована с САД-системой и реализует предложенный расчётный алгоритм построения поверхностей.

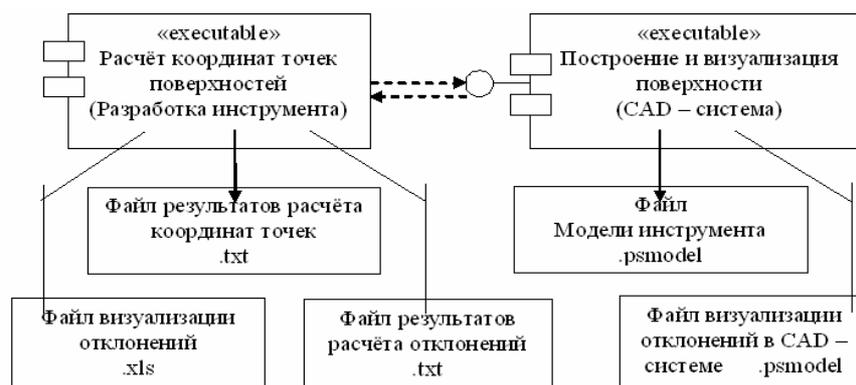


Рис. 3. Диаграмма компонентов интегрированной программной системы контроля точности аппроксимации расчётной поверхности в САД-системе

В процессе расчёта по модели определяются координаты формующей и калибрующей части рабочей поверхности инструмента в цикле по сечениям вдоль его продольной оси  $Z$  с шагом  $h$  и с шагом  $k$  по оси  $X$ . Массив координат точек, полученный в результате расчёта, записывается в файл для хранения. Затем в САД-системе производится построение поверхностей инструмента. При этом возможны два варианта построения: непосредственно по точкам или с промежуточной аппроксимацией кривых по сечениям вдоль оси  $Z$ .

После построения рабочих поверхностей инструмента в САД-системе строится дополнительная система плоскостей, перпендикулярных оси  $Z$  с шагом  $h$ . Пересечение этих плоскостей с рабочими позволяет получить линии пересечения. На полученных линиях пересечения определяются координаты точек с шагом  $k$  по оси  $X$ , который совпадает с аналогичным шагом при расчётах по аналитическим зависимостям. Результаты сравнения координат записываются в текстовый файл или файл Excel для визуализации и анализа результатов. Выполнен анализ точности построения в системе Delcam PowerSHAPE рабочих поверхностей инструмента для тангенциальной обкатки эллиптических и сферических днищ

### ВЫВОДЫ

Разработана точная математическая модель построения формующей и калибрующей частей рабочей поверхности инструмента для обкатки деталей с различным профилем сечения на торце трубы, а также получено уравнение линии их сопряжения.

Разработана структура программного комплекса и алгоритм построения формующей и калибрующей частей рабочей поверхности инструмента трения, который за счёт интеграции с САД-системой обеспечивают автоматизацию создания 3d-модели инструмента. При этом использование данной программной системы и САД-системы позволяет не только визуализировать результаты расчёта, но и выполнять контроль точности аппроксимации при построении поверхностей.

При проектировании в системе Delcam PowerSHAPE рабочей поверхности инструмента для тангенциальной обкатки эллиптических днищ наблюдаются значительные отклонения действительных геометрических размеров от расчетных (до 12 % от диаметра заготовки), что требует дополнительных действий при твёрдотельном моделировании. При проектировании рабочей поверхности инструмента для тангенциальной обкатки сферических днищ геометрические размеры получаемой поверхности близки к расчетным.

Работа выполнена в рамках договора о сотрудничестве с фирмой DELCAM plc. (лицензия 2165 от 17 марта 2009 года).

### ЛИТЕРАТУРА

1. Капорович В. Г. Обкатка в производстве металлоизделий / В. Г. Капорович. – М. : Машиностроение, 1973. – 168 с.
2. Капорович В. Г. Производство деталей из труб обкаткой / В. Г. Капорович. – М. : Машиностроение, 1978. – 136 с.
3. А. с. 285882(СССР) МКИ В21D 3/06. Инструмент для обкатки трубчатых заготовок / Капорович В. Г.; опубл. 1967 г.
4. Производство изделий машиностроения горячей обкаткой : монография / Под ред. В. С. Рыжикова, В. К. Удовенко. – Краматорск : ДГМА, 2006. – 284 с.
5. Капорович В. Г. Автоматизация проектирования инструмента для тангенциальной обкатки сферических и эллипсоидных днищ на трубчатых заготовках / В. Г. Капорович, Л. Н. Кузьменко // Кузнечно-штамповочное производство. – 1987. – № 6. – С. 29–31.
6. Середа В. Г. Проектирование рабочей поверхности инструмента для тангенциальной обкатки труб с использованием ЭВМ / В. Г. Середа, В. А. Паламарчук, Е. В. Горбач // Обработка материалов давлением. – Краматорск : ДГМА, 2010. – 2010. – № 3 (24). – С. 180–184.
7. Особенности проектирования инструмента для тангенциальной обкатки трубчатых заготовок в среде Delcam PowerSHAPE / А. Ф. Тарасов, В. А. Паламарчук, Е. В. Горбач, М. Л. Корнева // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків, 2010. – № 57. – С. 75–79.

Обухов А. Н. – канд. техн. наук, доц. кафедры ВМ ДГМА;  
Тарасов А. Ф. – д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой ИТ ДГМА;  
Середа В. Г. – канд. техн. наук, доц. кафедры МТО ДГМА;  
Паламарчук В. А. – канд. техн. наук, доц. кафедры ВМ ДГМА;  
Горбач Е. С. – ассистент кафедры ВМ ДГМА.

ДГМА – Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск.

E-mail: [vm@dgma.donetsk.ua](mailto:vm@dgma.donetsk.ua)