

3. Винокуров В.А., Куркин С.А., Николаев Г.А. Сварные конструкции. Механика разрушения и критерии работоспособности. М.: Машиностроение, 1996. 576 с.
4. Михайлов В.А., Порхунев С.Г. К вопросу об особенностях проектирования и моделирования сварных конструкций корпусных деталей станков. // Известия МГТУ «МАМИ». М., МГТУ «МАМИ», № 1 (9), 2010, с. 126-132.
5. Образцов И.Ф., Савельев Л.М., Хазанов Х.С. Метод конечных элементов в задачах строительной механики летательных аппаратов. М.: Высшая школа, 1985. 392 с.
6. Порхунев С.Г., Михайлов В.А. Модуль Генерации Суперэлементов (MGS 2010) Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2010617856, от 30.11.2010г.
7. Анкин А.В., Кузьминский Д.Л. Разработка программного обеспечения для расчета пространственной размерной цепи. // Известия МГТУ «МАМИ», 2011.
8. Чигарев А.В., Кравчук А.С., Смалюк А.Ф. ANSYS для инженеров: Справочное пособие. М.: Машиностроение-1, 2004. 512 с.
9. Kohnke P. ANSYS Theory Reference, Eleventh Edition. ANSYS, Inc., 1999.

Теоретические исследования зависимости геометрических параметров области контакта инструмента и заготовки от способа установки инструмента при обработке выглаживанием

д.т.н. проф. Кузнецов В.А., к.т.н. доц. Васильев В.А., Беженарь Э.Н., Заболотная И.В.,
Сазонов Д.А., Смирнов А.В.
Университет машиностроения.
8 (495) 223-05-23, доб. 1219, 1214, vak@mami.ru

Аннотация. В статье описаны теоретические исследования зависимостей геометрических параметров области контакта инструмента и обрабатываемой заготовки от способа установки инструмента при обработке выглаживанием. В качестве инструмента рассматривались токарные пластины стандартной геометрии (SNMG). Моделирование контактного взаимодействия выполнялось в программной среде КОМПАС 3Д. Представлены и проанализированы полученные в результате теоретических исследований зависимости.

Ключевые слова: обработка выглаживанием, область контакта, моделирование, геометрические параметры.

Статические характеристики процесса обработки выглаживанием, а именно углы установки многогранных неперетачиваемых пластин (МНП) и заданный технологический натяг оказывают значительное влияние на геометрические и физико-механические параметры качества поверхности обработанных выглаживанием деталей. Влияние это выражается в зависимости динамических характеристик процесса обработки (силы, давления, трения) от способа установки МНП.

Способ установки МНП определяет геометрические параметры области контакта инструмента и детали. Важность таких геометрических параметров контактной области, как площадь, длина и ширина была обоснована в работах многих исследователей метода обработки выглаживанием. В частности, В.А. Кузнецовым и Э.И. Зубковым были установлены определенные закономерности влияния способа установки МНП на площадь и конфигурацию контактной области и проведены экспериментальные исследования зависимостей качества обработанных выглаживанием деталей от рассматриваемых статических характеристик.

Детальное описание метода отделочной и упрочняющей обработки деталей выглаживанием с применением в качестве инструмента МНП приведено в публикациях, указанных в списке литературных источников к данной статье [2, 3].

Методика моделирования контактного взаимодействия инструмента с заготовкой в среде трехмерного твердотельного моделирования КОМПАС 3Д уже была подробно описана в

соответствующей публикации [4]. Данная методика позволяет получать данные о площади контактной области, ее конфигурации и размерах, которые можно впоследствии использовать как при проведении теоретических и экспериментальных исследований, так и при проектировании технологических процессов обработки деталей методами поверхностно-пластического деформирования.

В.А. Кузнецовым и Э.И. Зубковым был проведен анализ и морфологический синтез установки обрабатываемого элемента, выполненного в виде МНП, который позволил получить морфологическую таблицу возможных способов установки МНП (рисунок 1), насчитывающую двадцать семь возможных способов установки.

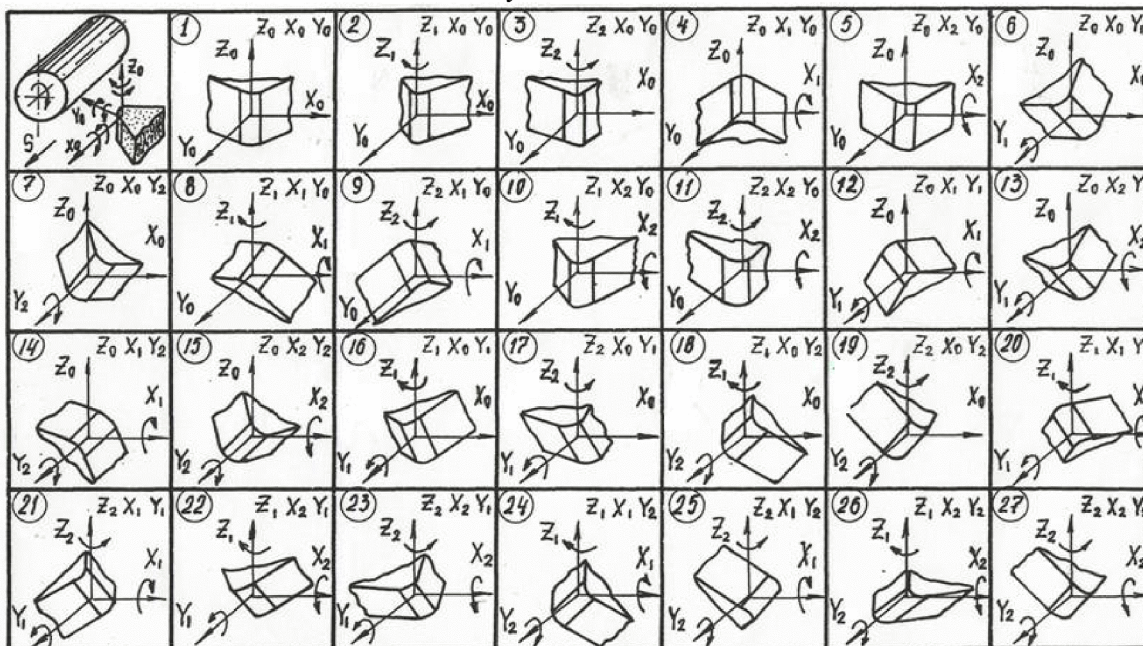


Рисунок 1 – Морфологическая таблица возможных способов установки МНП

Зубковым в его диссертационной работе были исследованы схемы установки МНП, обеспечивающие обработку выглаживанием, а именно схемы № 1, 2, 3, 6 и 7. Были теоретически исследованы влияние способа установки МНП (в соответствии с данными схемами) на геометрию контактной области; и экспериментально – на получаемую шероховатость обработанной поверхности, а также на глубину и степень упрочнения поверхностного слоя обработанной детали.

Для теоретических исследований посредством моделирования контактного взаимодействия обрабатываемой детали и МНП в программной среде трехмерного твердотельного моделирования КОМПАС 3Д были выбраны способы установки инструмента по схемам № 1, 2 и 6 из числа тех, что были рассмотрены в работе Э.И. Зубкова. Так как в данной работе зависимости динамических характеристик процесса обработки выглаживанием, а именно сила выглаживания P , давление $p_{вд}$, коэффициент трения f от углов поворота инструмента для способов установки МНП по схемам № 1, 2, 3, 6 и 7 не были исследованы.

Кроме того, для теоретических и экспериментальных исследований в данной работе были выбраны ранее не изученные схемы № 16, 17, 18, 19, которые также обеспечивают обработку деталей выглаживанием. Данные схемы представляют собой усложненный способ установки МНП, так как предполагают поворот инструмента вокруг двух осей одновременно.

Схема № 1, обозначаемая $Z_0X_0Y_0$, характеризует изменение способа обработки с токарной на обработку выглаживанием, которое производится без поворотов МНП вокруг осей, а только за счет подъема токарной пластины выше оси обрабатываемой заготовки на величину, равную половине толщины МНП.

Данная схема является базовой, поскольку все остальные двадцать шесть способов установки инструмента получаются путем поворота МНП вокруг одной или нескольких осей в данном базовом положении. Изменение геометрии области контакта детали с инструментом

производится за счет увеличения либо уменьшения технологического натяга (глубины внедрения МНП). Зависимость площади области контакта от величины технологического натяга имеет зависимость, близкую к прямо пропорциональной.

Схема № 2, обозначаемая $Z_1X_0Y_0$, получается из предыдущей схемы посредством поворота инструмента вокруг вертикальной оси Z в направлении подачи. В работе Э.И. Зубкова помимо данной схемы установки инструмента была исследована схема № 3, которая отличается направлением поворота МНП вокруг оси Z против направления подачи. Поскольку для статического моделирования контактного взаимодействия инструмента и обрабатываемой заготовки, при котором определяются только геометрические параметры контактной области (площадь контакта S , ширина пятна контакта a , длина пята контакта b), направление подачи не учитывается, для теоретических исследований была выбрана схема № 2. Геометрические параметры контактной области для схемы № 3 будут идентичными.

Схема № 6, обозначаемая $Z_0X_0Y_1$, получается из способа, выполняемого по схеме № 1, посредством поворота инструмента вокруг горизонтальной оси Y в направлении, противоположном направлению подачи инструмента. Схема № 7, рассмотренная в работе Зубкова, отличающаяся противоположным направлением поворота, будет иметь аналогичные геометрические параметры контактной области инструмента и заготовки.

Схема № 16, обозначаемая $Z_1X_0Y_1$, получается из способа, выполняемого по схеме № 1, посредством поворота инструмента вокруг вертикальной оси Z в направлении подачи и вокруг горизонтальной оси Y в направлении, противоположном направлению подачи инструмента. Эта схема не была исследована ранее ни теоретически, ни экспериментально.

Три схемы 17, 18 и 19 (рисунок 1), отличающиеся от данной направлениями поворота МНП вокруг осей Z и Y , имеют идентичные геометрические параметры области контакта (площадь контакта S , ширину пятна контакта a и длину пята контакта b). Так как в процессе обработки положение контактной области МНП и заготовки относительно направления подачи инструмента оказывает значительное влияние на динамические характеристики процесса обработки, а следовательно, и на качество обработанной поверхности, то поэтому в данной работе эти схемы будут подвергнуты только экспериментальным исследованиям.

В результате моделирования контактного взаимодействия заготовки и МНП, установленной по схеме № 6, были получены зависимости геометрических параметров контактной области от величины угла поворота МНП: площади области контакта S (рисунок 2), а также ширины a и длины пята контакта b (рисунок 3) от угла ψ .

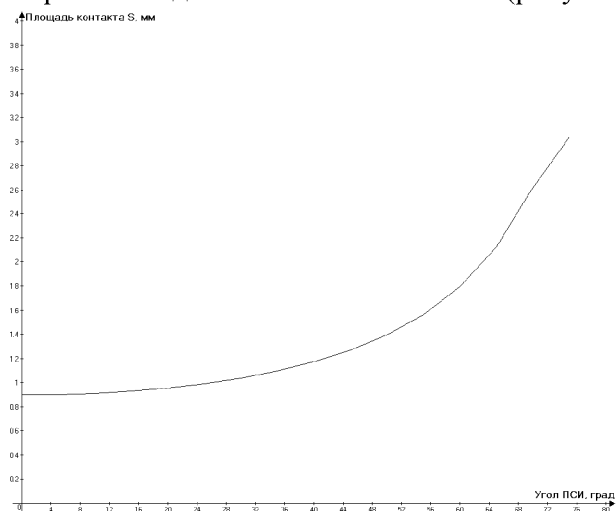


Рисунок 2 – Зависимость площади контактной области S [мм²] от угла ψ поворота МНП для схемы № 6 ($Z_0X_0Y_1$)

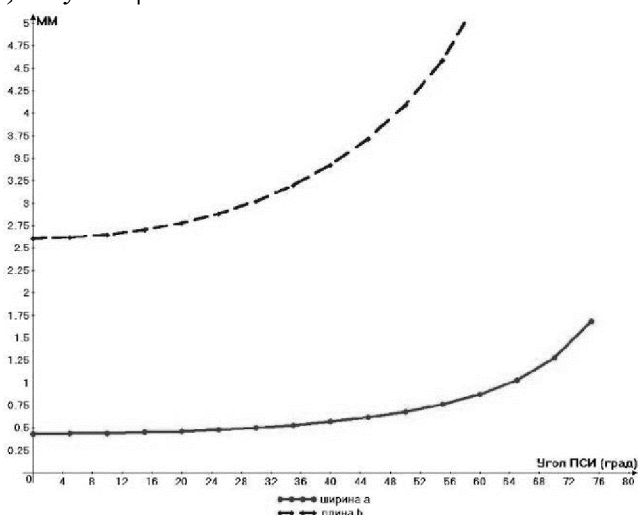


Рисунок 3 – Зависимость ширины a и длины b контактной области от угла ψ поворота МНП вокруг оси Y для схемы № 6 ($Z_0X_0Y_1$)

Как видно из графиков, приведенных на рисунках 2 и 3, все три зависимости геометрических параметров области контакта инструмента с обрабатываемой заготовкой при установ-

ке МНП по схеме № 6 ($Z_0X_0Y_1$) от величины угла ψ поворота токарной пластины вокруг горизонтальной оси Y имеют вид ветви параболы с малым углом наклона относительно оси абсцисс. То есть при условно малой величине угла поворота МНП от 0 до 15 градусов величины площади контактной области, ее длины и ширины изменяются незначительно в сторону увеличения. При больших углах поворота инструмента от 15 до 40 градусов все три значения геометрических параметров возрастают гораздо более интенсивно. Если угол поворота МНП еще более увеличивать в интервале от 40 до 74 градусов, то происходит резкое увеличение значений всех трех геометрических параметров контактной области примерно в три раза.

Следовательно, можно предположить, что изменения величины угла поворота МНП при установке по рассматриваемой схеме ($Z_0X_0Y_1$) в интервале от 0 до 15 градусов не приведут к каким-либо значительным изменениям динамических параметров процесса выглаживания, а следовательно, не произойдет выраженных изменений геометрических параметров качества поверхности обработанной детали. В интервале величины угла поворота МНП от 15 до 40 градусов увеличение площади, длины и ширины области контакта происходят более выражено и плавно. На данном интервале не происходит таких резких изменений зависимости, как на интервале от 40 до 75. Поэтому интервал изменения угла поворота МНП вокруг горизонтальной оси Y от 15 до 40 градусов позволяет более прогнозируемо влиять на геометрические параметры контактной области и тем самым на динамические параметры процесса обработки (силу, контактное давление, коэффициент трения). Что, в свою очередь, позволяет управлять качеством поверхности обработанной выглаживанием заготовки.

В ходе моделирования контактного взаимодействия заготовки и МНП, установленной по схеме № 2, были получены зависимости геометрических параметров контактной области МНП: площади области контакта S (рисунок 4) и ширины пятна контакта a (рисунок 5) от угла ϕ .

Если величина угла поворота ϕ МНП вокруг вертикальной оси Z находится в диапазоне от 0 до 35 градусов, то в контакте с поверхностью обрабатываемой заготовки находится только переходная цилиндрическая поверхность пластины с постоянным радиусом скругления. Поэтому в данном диапазоне изменения угла ϕ не происходят изменения ни одного из геометрических параметров области контакта. При повороте МНП на угол $\phi = 35$ градусам в контакт с поверхностью заготовки входит плоская боковая поверхность пластины и увеличивается площадь и ширина контактной области. В интервале величин угла поворота ϕ от 35 до 45 градусов происходит дальнейшее интенсивное увеличение площади и ширины области контакта при неизменной длине. При повороте МНП вокруг оси Z на угол равный 45 градусам в контакт входит вся боковая плоская поверхность и два ребра МНП, что приводит к невозможности осуществления процесса выглаживания.

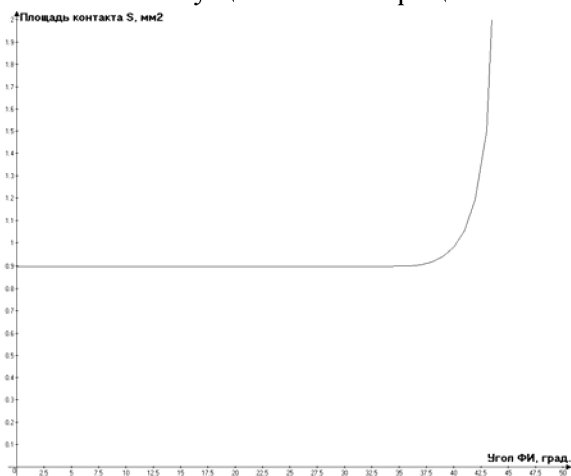


Рисунок 4 – Зависимость площади контактной области S от угла ϕ поворота МНП для схемы № 2 ($Z_1X_0Y_0$)

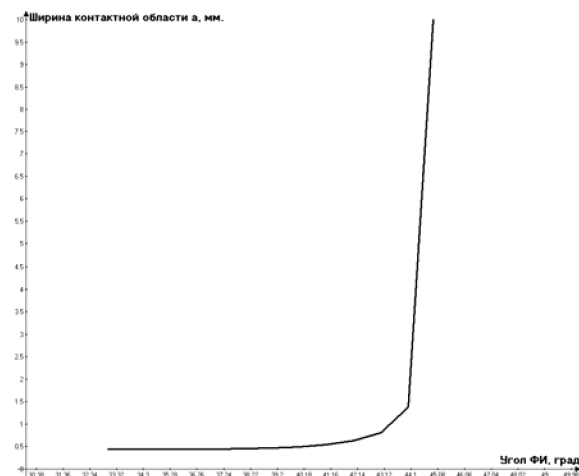


Рисунок 5 – Зависимость ширины контактной области a от угла ϕ поворота МНП для схемы № 2 ($Z_1X_0Y_0$)

Как видно из графиков, изображенных на рисунках 4 и 5, при установке МНП по схеме

№ 2 целесообразно изменять величину угла поворота инструмента вокруг оси Z в пределах от 35 до 44 градусов. До достижения величины угла поворота $\varphi = 35$ градусов изменений геометрии контактной области не происходит, а при повороте на угол $\varphi = 45$ градусов процесс выглаживания прекращается.

Моделирование контактного взаимодействия заготовки и МНП, установленной по схеме № 16, выполняется с учетом того, что данный способ установки МНП реализуется посредством поворота инструмента вокруг вертикальной оси Z на угол φ и вокруг горизонтальной оси Y на угол ψ одновременно.

При моделировании контактного взаимодействия инструмента и заготовки с установкой МНП по схемам № 2 и № 6 были определены оптимальные диапазоны изменения углов φ и ψ . Поскольку величина угла ψ поворота МНП вокруг оси Y может варьироваться в более широких пределах, для моделирования взаимодействия заготовки и МНП, установленной по данной схеме, были выбраны определенные величины угла φ поворота инструмента вокруг оси Z , которые оставались постоянными при варьировании угла ψ в широком диапазоне от 0 до 60 градусов.

Проанализировав графики, представленные на рисунках 6 и 7, можно сделать вывод, что установка МНП в соответствии с данной схемой позволяет достичь более плавного, стабильного и значительного (примерно на 20 %) изменения геометрических параметров контактной области в широком интервале величин угла ψ поворота МНП вокруг горизонтальной оси Y (примерно от 10 до 60 градусов). Угол φ поворота пластины вокруг вертикальной оси Z допустимо изменять в тех же пределах от 35 до 44 градусов, что и при установке по схеме № 6 ($Z_1X_0Y_0$). Причем изменение величины угла φ не меняет характер зависимости площади и ширины контактной области от изменения величины угла ψ , а только сдвигает график вверх от его базового положения (при углах $\varphi = 0...34$ градусов) при увеличении угла φ . Необходимо заметить, что длина области контактного взаимодействия остается практически неизменной и аналогичной той, что образуется при установке МНП по схеме № 6 ($Z_0X_0Y_1$).

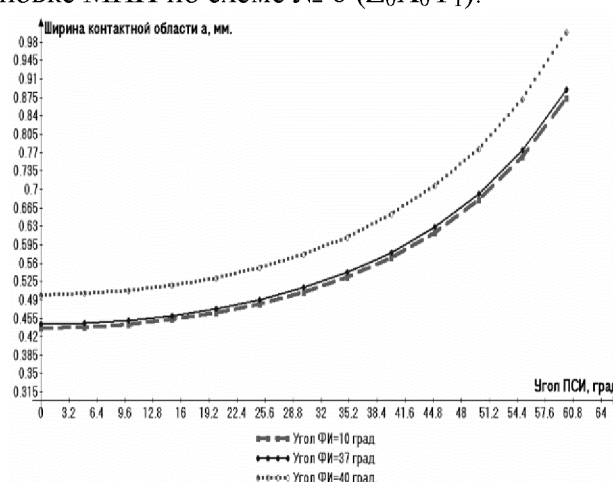
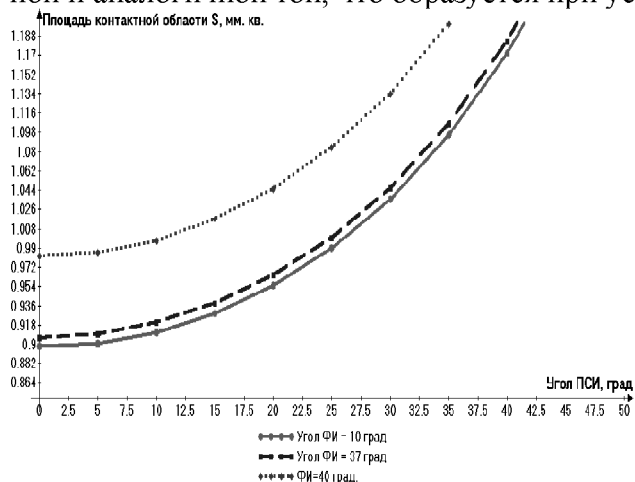


Рисунок 6 – Зависимость площади контактной области S от углов поворота МНП для схемы № 16 ($Z_1X_0Y_1$)

Рисунок 7 – Зависимость ширины контактной области a от углов поворота МНП для схемы № 16 ($Z_1X_0Y_1$)

Заключение

Полученные в ходе описанных в данной статье теоретических исследований зависимости геометрических параметров области контакта заготовки и МНП могут использоваться для следующих практических задач:

- определения интервалов варьирования величин углов поворота МНП при планировании экспериментальных исследований влияния способов установки МНП на геометрические и физико-механические параметры качества поверхности обработанных выглаживанием заготовок или деталей;
- теоретических исследований динамических характеристик процесса выглаживания, таких как сила, удельное давление и коэффициент трения, а также температуры и тепловых

процессов в зоне обработки выглаживанием. Так как данные параметры в значительной степени определяются площадью и конфигурацией области контактного взаимодействия заготовки и МНП.

Определенные в результате данных теоретических исследований показатели величин площади и конфигурации контактной области хорошо соотносятся с показателями, полученными опытным путем в работах Э.И. Зубкова, а также с данными, полученными авторами данной публикации в результате пластического деформирования заготовки при непосредственном внедрении в нее МНП и последующего изучения получившейся контактной площади под микроскопом.

Литература

1. Кузнецов А.М., Перекатов Ю.А., Кузнецов В.А. Основы системного анализа и структурного синтеза методов изготовления деталей. // Комплект: инструмент, технология, оборудование. 2007, № 10. с. 78-84.
2. Кузнецов В.А., Шестакин П.В., Смирнов А.В., Сазонов Д.А. Выглаживание деталей многогранными неперетачиваемыми пластинами. / Автомобильная промышленность, 2010, № 10, с. 24-26.
3. Кузнецов В.А., Шестакин П.В. Повышение эффективности выглаживания и комбинированной обработки за счет изменения способа установки инструмента. // Известия МГТУ «МАМИ». Научный рецензируемый журнал. 2007, № 2. с. 174-177.
4. Кузнецов В.А., Сазонов Д.А., Смирнов А.В. Моделирование контакта инструмента с деталью при обработке выглаживанием в программной среде Компас 3Д. // Известия МГТУ «МАМИ». Научный рецензируемый журнал. 2011, № 2. с. 144-149.

Формообразование при обработке тел вращения наружными протяжками

д.т.н. проф. Кузнецов В.А., Юшин Д.И., Хомякова Н.В., Кривонос Р.А.
 Университет машиностроения
 +7 (495) 223-05-23 доб.1214,1387, vak@mami.ru

Аннотация. В статье рассмотрено формообразование при обработке тел вращения методом наружного протягивания.

Ключевые слова: обработка тел вращения, наружное протягивание, формообразование

В настоящее время ведущие отечественные и зарубежные станкоинструментальные фирмы активно разрабатывают технологическое оборудование и обрабатывающие инструменты для реализации технологии протягивания тел вращения. На данный момент одним из нерешённых и малоизученных вопросов является формообразование детали при протягивании тел вращения.

Общеизвестными являются несколько видов протягивания тел вращения. Один из способов – протягивание плоской протяжкой с подъемом на зуб – рассмотрен в работе [1]. В ней отведено несколько глав на исследование огранки обработанной детали и способы её уменьшения. Основной вывод, который сделан в данной работе, состоит в том, что при протягивании тел вращения получить теоретически правильную окружность в поперечном сечении обрабатываемой детали невозможно. Формообразование, как показано на рисунке 1, при таком способе протягивания происходит по спирали, и форма обработанной детали в поперечном сечении получается овальной с максимальным отклонением от теоретически правильной окружности на величину δ , характеризующей огранку поверхности.

Также в работе [1] приводятся графики зависимости величины огранки δ от радиуса r и подачи S_0 (рисунок 2).

Для уменьшения величины огранки предлагается вводить калибрующие зубья. Причём, так как режимы резания не меняются, траектория движения калибрующих зубьев совпадает с траекторией движения режущих зубьев, а значит, количество калибрующих зубьев зависит от