

ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ФРЕЗЕРОВАНИЯ ЛЫСОК НА ТОНКОСТЕННЫХ ЗАГОТОВКАХ ИЗ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Павел Олегович Огороков⁽¹⁾, Игорь Андреевич Полуэктов⁽²⁾

Магистр 1 года⁽¹⁾, студент 4 курса⁽²⁾,
кафедра «Технологии машиностроения»

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: В.В. Марецкая,
кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии машиностроения»

Ключевые слова: обработка пазов и лысок (groove and flat machining); фрезерование алюминиевых заготовок (milling of aluminum workpieces); тонкостенная заготовка (thin-wall workpiece); моделирование (modelling).

Аннотация: Рассмотрены силы резания и силы закрепления, оказывающие воздействие на тонкостенную заготовку при фрезеровании лысок, с использованием различных схем фрезерования и установки заготовок. Предложены модели для анализа отклонений размеров и формы обрабатываемых поверхностей, возникающих под воздействием рассматриваемых сил.

Введение

При изготовлении деталей клапанов, насосов, топливной аппаратуры, гидравлических систем летательных аппаратов возникает задача обработки пазов и лысок на тонкостенных элементах заготовок с учетом технических требований, предъявляемых к детали. На рис.1 в качестве примера тонкостенной детали с лысками и пазами, показан диффузор насоса вертолета.

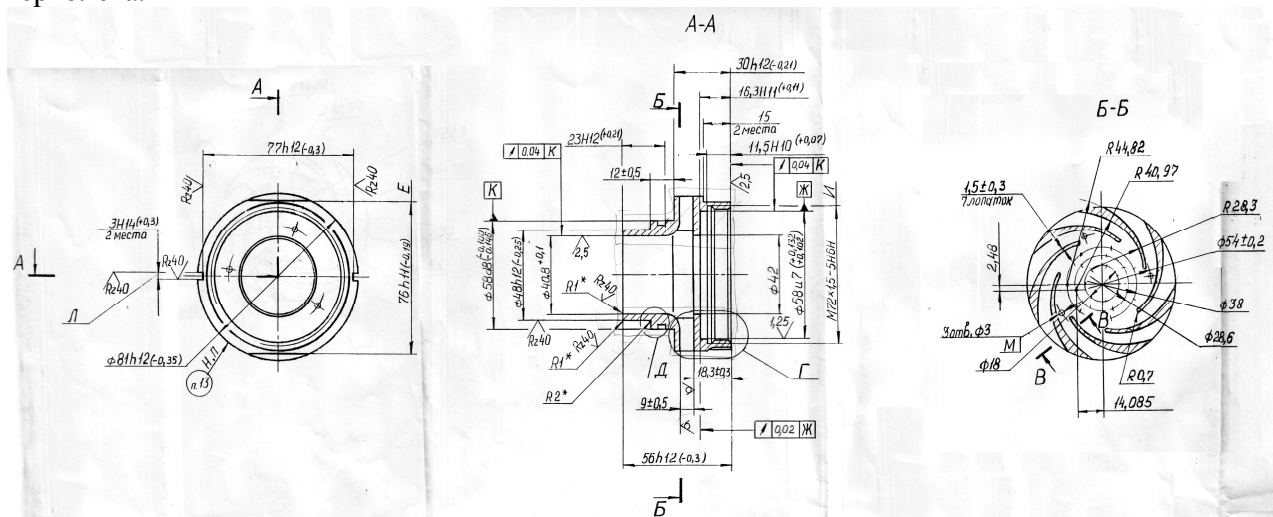


Рис.1. Диффузор насоса вертолета

На точность механической обработки влияет ряд технологических факторов. В частности, в процессе обработки под воздействием сил резания и закрепления могут возникать значительные деформации, что приводит к погрешностям размеров и формы поверхностей тонкостенной заготовки.

В рамках научно-исследовательской работы были выявлены факторы, влияющие на характер воздействия сил резания и закрепления:

- 1) Жесткость заготовки;

- 2) Выбор схемы фрезерования (вид фрезы, тип станка, направление фрезерования);
- 3) Выбор режимов обработки и формы режущих пластин;
- 4) Выбор схемы установки заготовки.

В качестве образца рассматривали упрощенную тонкостенную деталь с лысками, эскиз которой приведен ниже на рис.2.

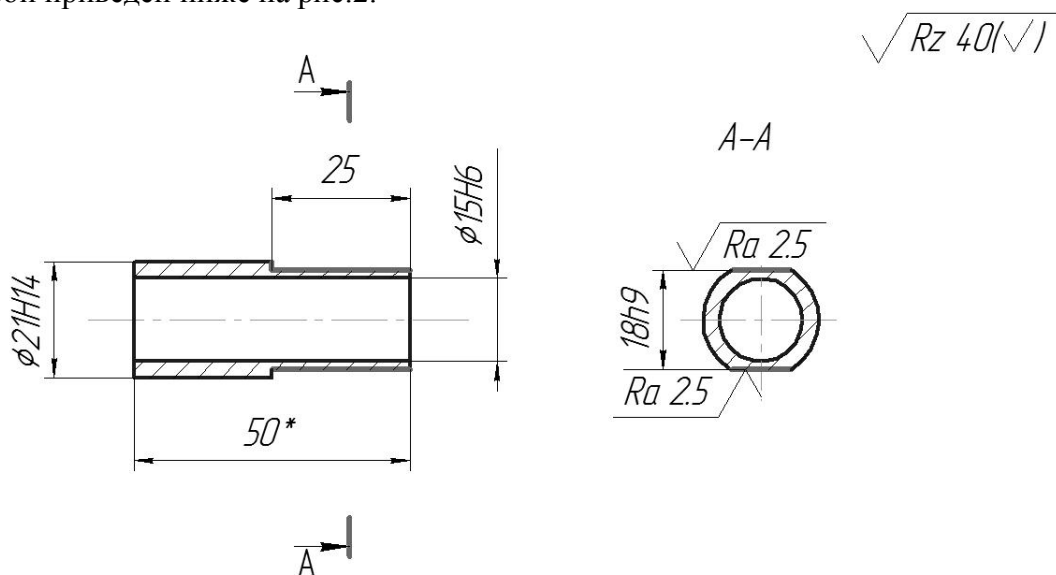


Рис.2. Эскиз детали

Для рассмотрения различных сочетаний факторов и выбора наиболее подходящих целесообразно использовать компьютерное моделирование.

Моделирование процесса фрезерования лысок

Для расчётов будем использовать программный продукт Solid Works, который включает в себя модули для 3D-моделирования и расчётов (программа использует метод конечных элементов).

Рассмотрим вариант обработки лысок торцевой фрезой на вертикально-фрезерном станке после выполнения отверстия (вид фрезерования - несимметричное попутное [1]).

На величину и направления составляющих силы резания оказывают влияние режимы резания и форма режущей пластины.

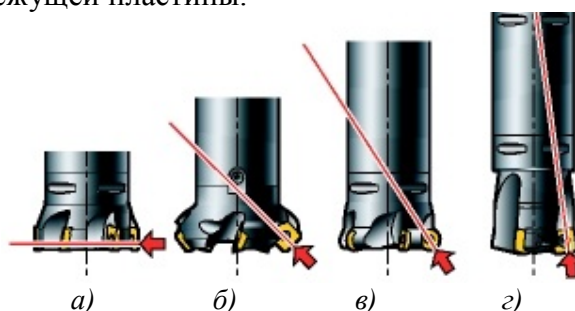


Рис3. Направления силы резания: а) - фрезы с $\phi=90^\circ$; б) - фрезы с $\phi=45^\circ$; в) - фрезы с круглыми пластинами; г) - фрезы $\phi=30^\circ$

Как видно из рис.3, с уменьшением главного угла в плане направление действия осевой составляющей силы резания изменяется. При обработке тонкостенных заготовок следует выбирать пластины с углом в плане 90° . В таком случае основное влияние на заготовку будет оказывать только радиальная составляющая силы резания.

В ходе изучения различных источников [2 – 5] по расчету режимов резания была выявлена проблема, связанная с нехваткой экспериментальных данных по обработке деталей рассматриваемого типа из алюминия. Результаты анализа методов определения силы резания представлены в таблице.

Влияние силы закрепления зависит от схемы установки заготовки. Для фрезерования лысок на исследуемой детали могут быть применены следующие схемы.

На рис.4 представлена схема установки заготовки в цанговый патрон с упором в торец. Сила закрепления P_3 в этом случае равна:

$$P_3 = \frac{2kM}{nDf} = \frac{2k \frac{PD}{2}}{nDf} = \frac{kP}{nf} = \frac{1,2 \cdot 862H}{6 \cdot 0,2} = 862H,$$

где k – коэффициент запаса сил зажима; P – сила резания; n – количество лепестков цанги; f – коэффициент трения (сталь-алюминий).

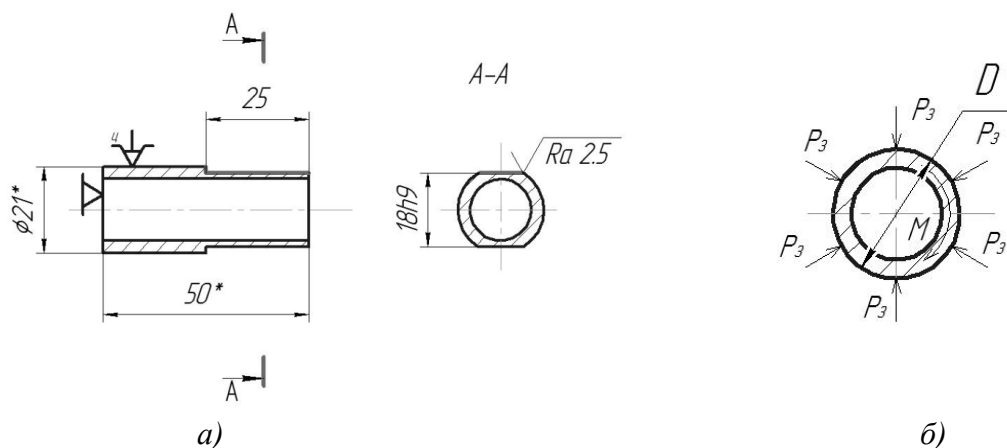


Рис.4. Установка заготовки в цанговый патрон с упором в торец:

а) - схема установки; б) – расчетная схема для сил закрепления

На рис.5 представлена схема установки заготовки в призме с зажимом. Сила закрепления P_3 в этом случае равна:

$$P_3 = \frac{2kM}{\left(\frac{f_{3M}D}{2} + \frac{f_{on}D}{2 \sin \frac{\alpha}{2}} \right)} = \frac{2k \frac{PD}{2}}{\frac{fD}{2} \left(1 + \frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} \right)} = \frac{kP}{f \left(1 + \frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} \right)} = \frac{1,2 \cdot 862H}{1,4 \cdot 0,2} = 3694H,$$

где k – коэффициент запаса сил зажима; P – сила резания; f – коэффициент трения (сталь-алюминий); α – угол призмы.

Таблица 1. Обзор методов расчета сил резания

Расчетная формула	Необходимые исходные данные	Недостающие экспериментальные данные
$P_z = \frac{10C_p t^x s_z^y B^n z}{D^q n^w} K_{Mp} \quad [2]$	t – глубина фрезерования s_z – подача на один зуб B – ширина фрезерования z – число зубьев фрезы D – диаметр фрезы n – частота вращения фрезы	Значения коэффициента C_p и показателей степеней в формуле для фрезерования алюминиевых сплавов.
$P_z = \frac{1020 \cdot 60 N_z}{v} = \frac{1020 \cdot 60 C_N \cdot 10^{-5} T^m D^{(q_N - q_v)} S_Z^{(y_N + y_v)} t^{(x_N + x_v)} B^{(u_N + u_v)} Z_N^{(z_N + P_v)} K_{N\phi} K_{N1}}{C_v PK_{v\phi} PK_{vH}} \quad [3]$	t – глубина фрезерования S_z – подача на один зуб B – ширина фрезерования Z – число зубьев фрезы D – диаметр фрезы ϕ – главный угол в плане	Значения постоянных для определения формализованного поправочного коэффициента на мощность резания $K_{N\phi}$ для фрезерования алюминиевых сплавов.
$P_z = P_{Z_T} K_{P_H} K_{P_\phi} K_{P_B} K_{P_z} \quad [4]$	t – глубина фрезерования S_z – подача на один зуб B – ширина фрезерования Z – число зубьев фрезы D – диаметр фрезы ϕ – главный угол в плане P_{Z_T} – нормативное значение силы	–
$P_z = \frac{1020 \cdot 60 N_z}{v} = \frac{1020 a_p a_e f_z z K_c}{10^3 \pi D \eta} \quad [5]$	a_p – глубина фрезерования a_e – ширина фрезерования f_z – подача на один зуб z – число зубьев фрезы D – диаметр фрезы η – КПД станка K_c – удельная сила резания для материала	–

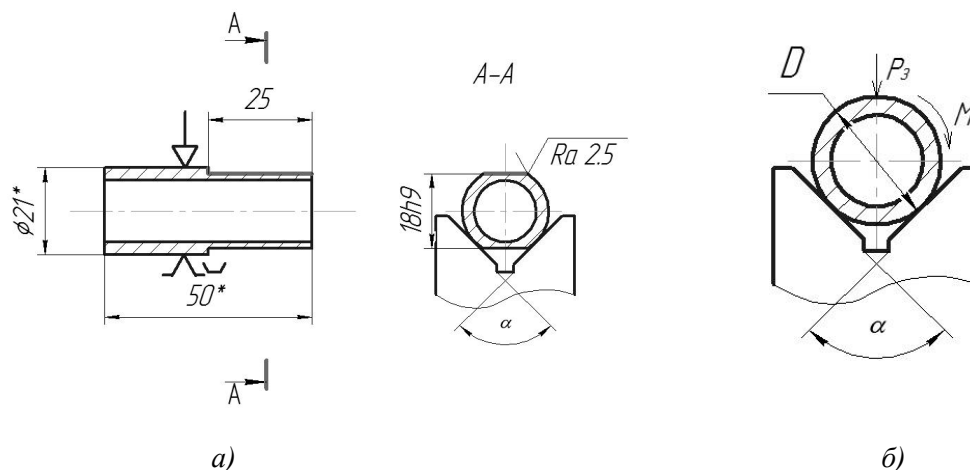


Рис.5. Установка заготовки в призме с зажимом:

а) - схема установки; б) – расчетная схема для сил закрепления

На рис.6 представлена схема установки заготовки в гидропластмассовой оправке. давление закрепления P_k в этом случае считается:

$$p_k = \frac{2kM}{\pi d^2 l_k f} = \frac{2k \frac{Pd}{2}}{\pi d^2 l_k f} = \frac{kP}{\pi d l_k f} = \frac{1,2 \cdot 862 H}{3,14 \cdot 0,015 \cdot 0,04 \cdot 0,2} = 2,74 H / \text{мм}^2,$$

где k – коэффициент запаса сил зажима; P – сила резания; f – коэффициент трения (сталь-алюминий); d – диаметр отверстия; l_k – длина контакта.

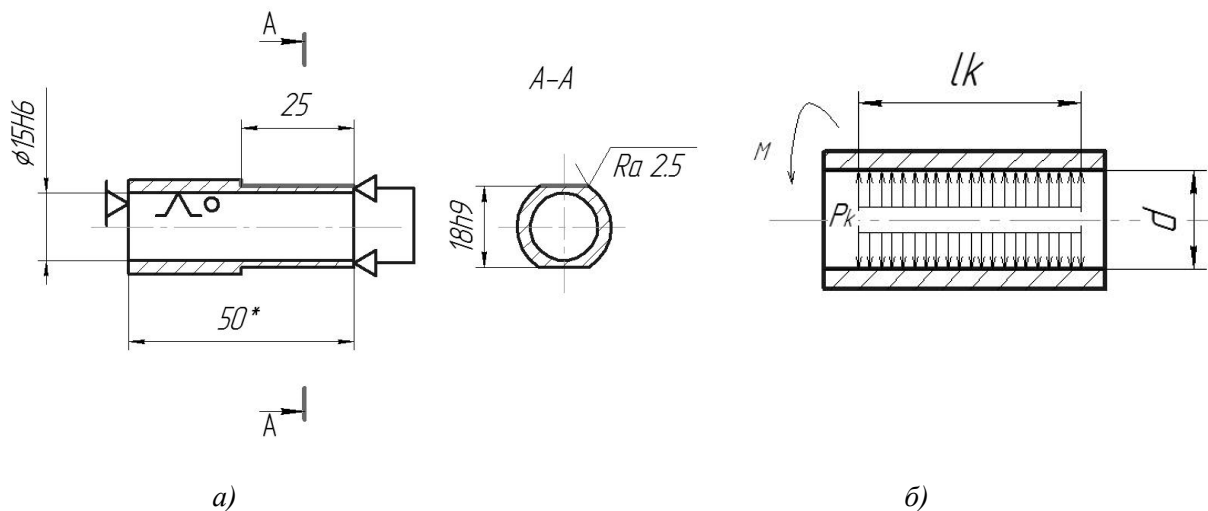


Рис.6. Установка заготовки в гидропластмассовой оправке:

а) - схема установки; б) – расчетная схема для давления закрепления

На рис.7 представлена схема установки заготовки в разжимной оправке с упором в торец. Давление закрепления P в этом случае считается:

$$p = \frac{12kM}{\pi f (D^3 - d^3)} = \frac{12k \frac{PD}{2}}{\pi f (D^3 - d^3)} = \frac{12 \cdot 1,2 \cdot 862 \frac{21}{2}}{3,14 \cdot 0,2 \cdot (21^3 - 15^3)} = 35,3 H / \text{мм}^2,$$

где k – коэффициент запаса сил зажима; P – сила резания; f – коэффициент трения (сталь-алюминий); d – диаметр отверстия; D – диаметр заготовки.

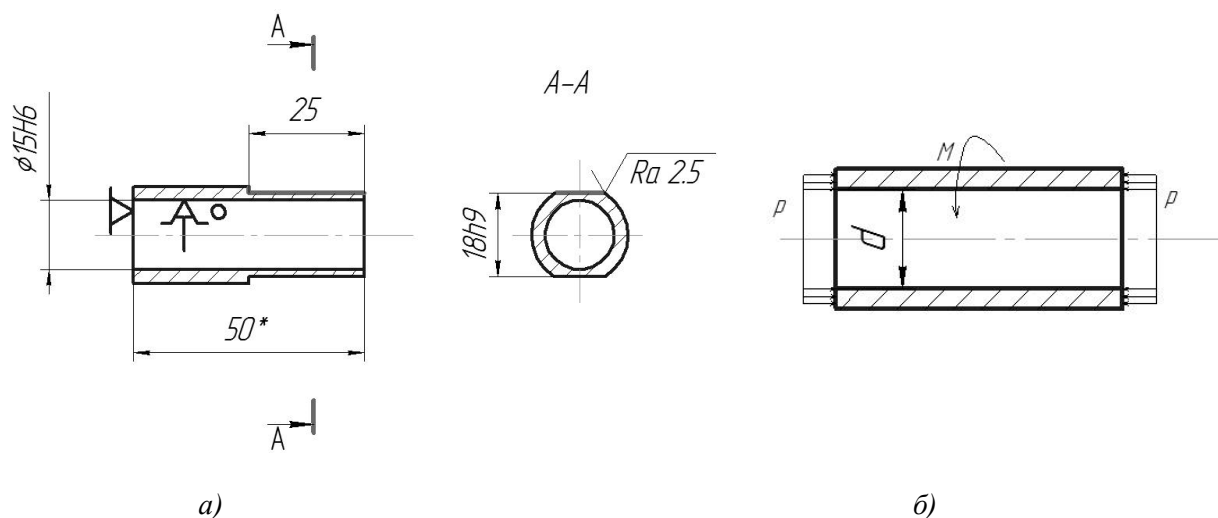


Рис.7. Установка заготовки в разжимной оправке с упором в торец:
а) - схема установки; б) – расчетная схема для давления закрепления

Используя данные о силах резания и закрепления, смоделируем каждый из вариантов обработки с различным закреплением, варьируя толщину заготовки (1 мм, 2 мм, 3 мм).

Моделирование каждой схемы производится в несколько этапов:

1. Создание расчётной 3D-модели;
2. Наложение фиксаций (связей);
3. Приложение силовых факторов;
4. Создание сетки конечных элементов;
5. Расчёт.

Для анализа создадим четыре модели, соответствующие представленным выше схемам установки. Также для каждой из схем создадим конфигурации разной толщины.

Обязательным условием расчёта является наложение фиксации. В роли фиксации при фрезеровании выступает приспособление, которое фиксирует заготовку по поверхностям в зависимости от схемы установки, причем в процессе реальной обработки возможны перемещения в местах контакта приспособления с заготовкой, а при моделировании фиксации выбранные поверхности (или их части) полностью фиксируются в одном или нескольких направлениях, что не соответствует действительности.

Результаты моделирования деформации заготовки под действием сил закрепления и резания приведены на рис.8 – 11.

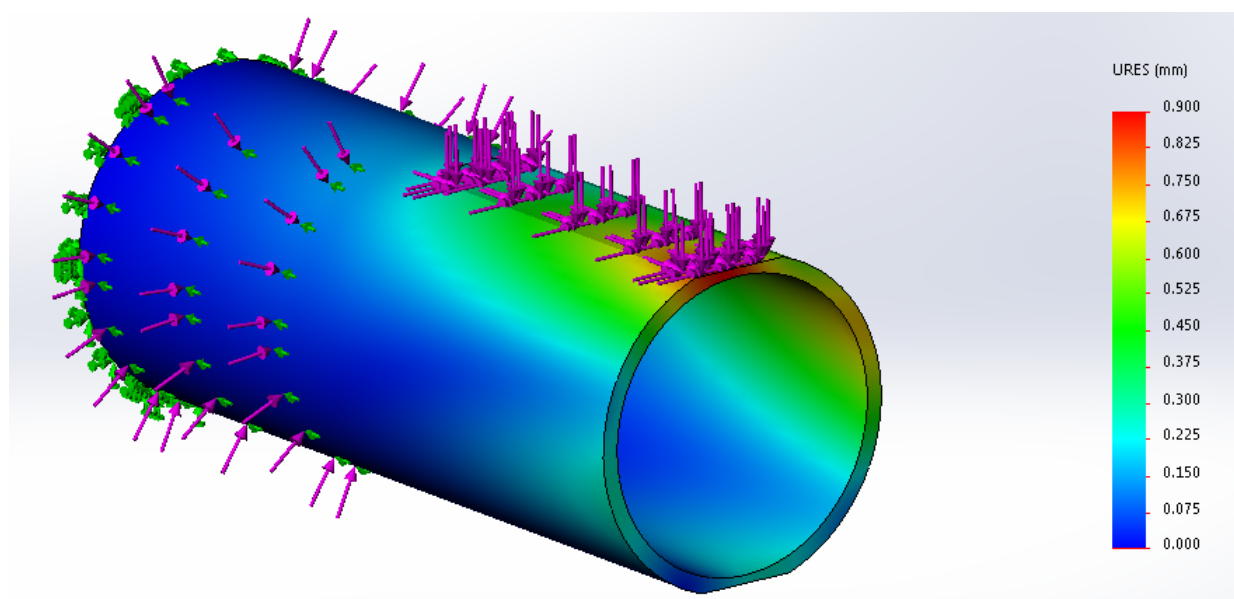


Рис. 8. Модель обработки лысок с закреплением заготовки в цанговом патроне с упором в торец

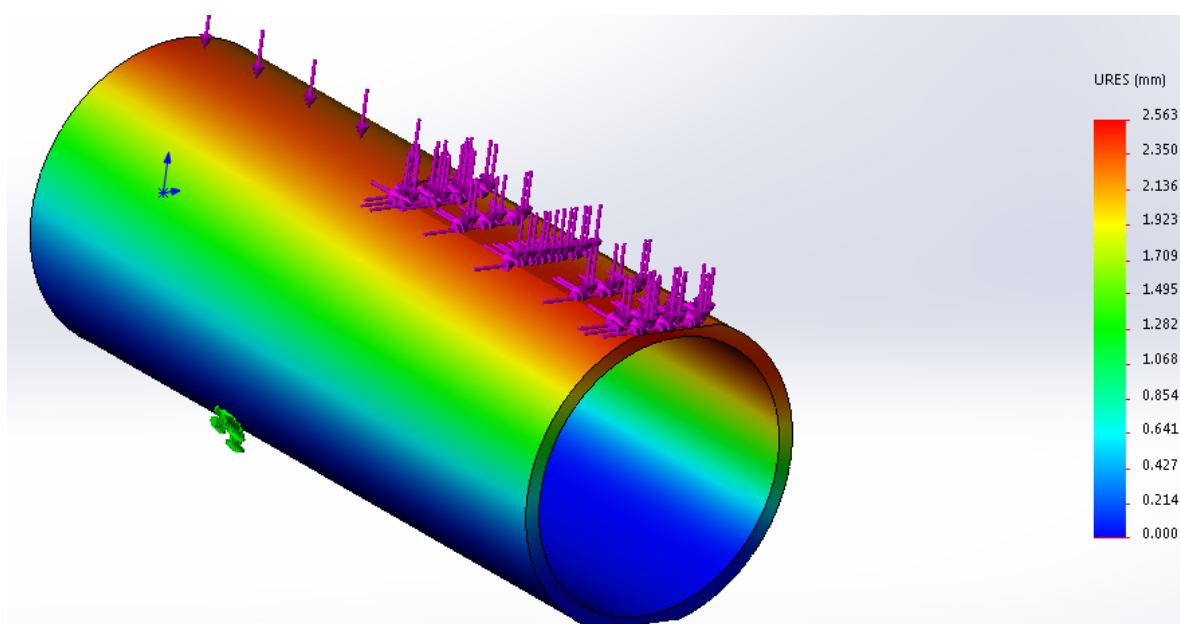


Рис. 9. Модель обработки лысок с закреплением заготовки в призме с зажимом

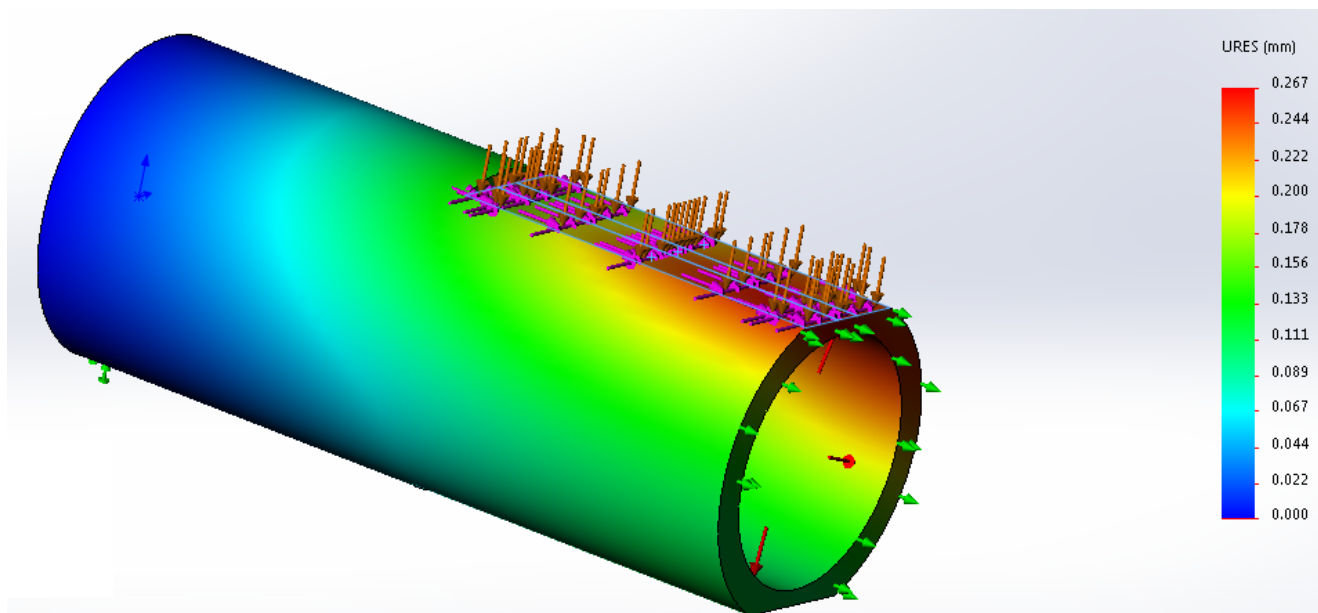


Рис. 10. Модель обработки лысок с закреплением заготовки в гидропластмассовой оправке

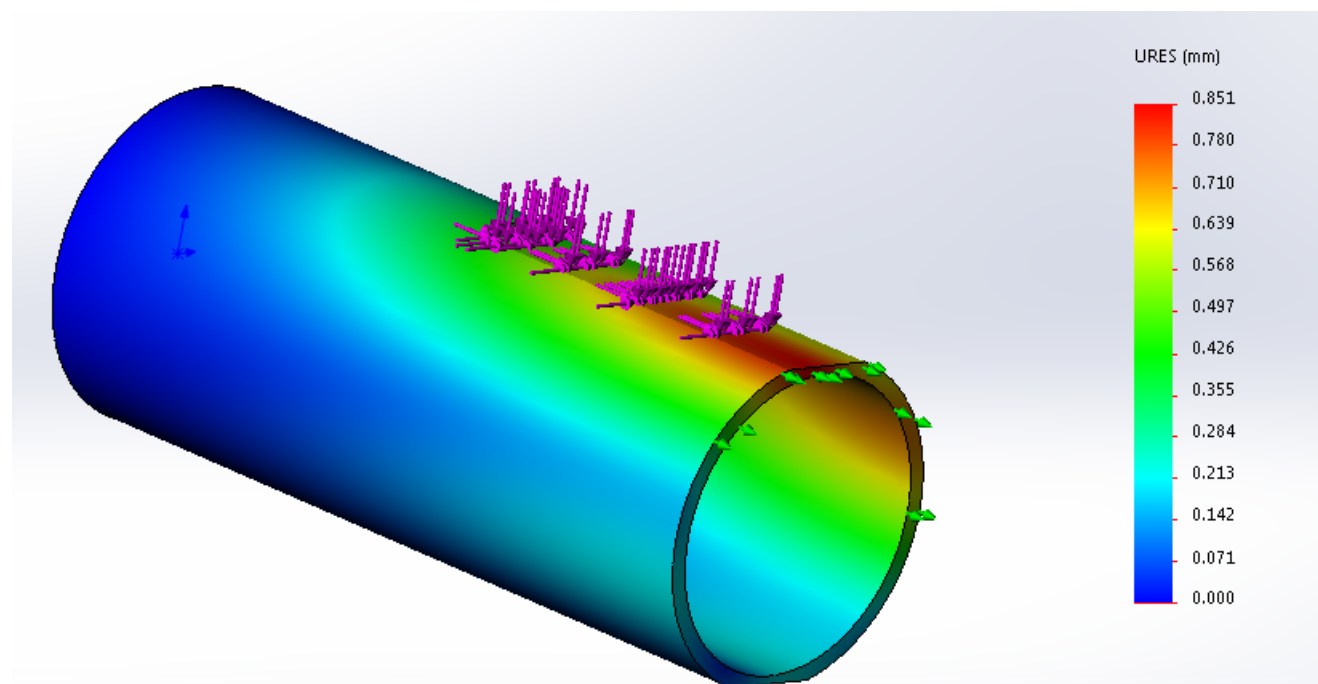


Рис. 11. Модель обработки лысок с закреплением заготовки разжимной оправке с упором в торец

Смоделировав каждую из схем, мы получили эпюры перемещений точек заготовки.

Результаты виртуального эксперимента по каждой схеме закрепления представим в виде графиков (рис.12), чтобы оценить влияние толщины заготовки на максимальное перемещение, возникающее в процессе фрезерования.

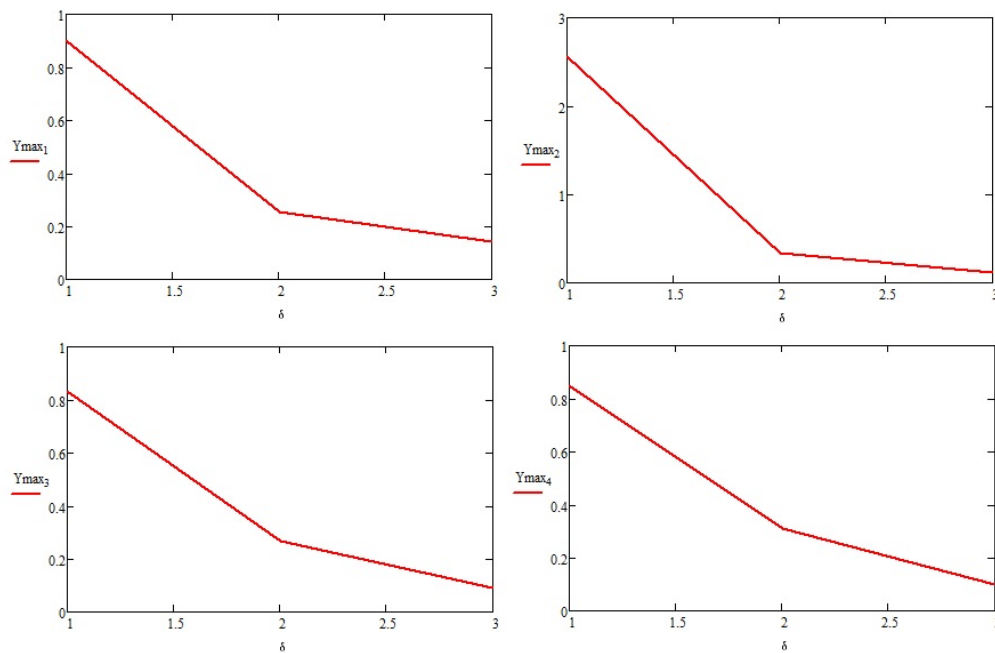


Рис.12. Зависимости максимального перемещения от толщины заготовки

Выводы

1. Рассмотрены факторы, влияющие на характер воздействия сил резания и закрепления на тонкостенную заготовку типа тел вращения при фрезеровании лысок; составлены схемы и модели анализа четырех вариантов установки заготовки на фрезерной операции;
2. Выявлено, что получения достоверных результатов анализа не хватает экспериментальных данных для расчета сил резания. Кроме того, компьютерное моделирование не дает возможности создать расчетную схему, полностью схожую с реальной.
3. В дальнейшем исследовании планируется провести эксперимент для определения недостающих расчетных данных и выполнить анализ погрешностей размеров и формы обрабатываемых поверхностей по созданной модели.

Литература

1. Учебное пособие по курсу «Обработка металлов резанием»./Sandvik Coromant Academy . – [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://padabum.com/d.php?id=120722>. Дата обращения: 17.03.16;
2. Дальский А.М., Косилова А.Г., Мещеряков Р.К., Сулов А.Г. Справочник технолога-машиностроителя. В 2 т. Т2./Под ред.– 5-е изд., перераб. и доп. – М.:Машиностроение – 2001. -944 с;
3. Локтев А.Д., Гуцин И.Ф., Батуев В.А. Общемашиностроительные нормативы режимов резания. Справочник. В 2 т. Т1. М.: Машиностроение, 1991. 640 с.
4. Гузеев В.И., Батуев В.А., Сурков И.В. Режимы резания для токарных и сверлильно-фрезерно-расточных станков с числовым программным управлением: Справочник. 2-е изд./Под ред. В.И. Гузеева. М.: Машиностроение, 2007. 368 с.
5. Библиотека Промотрейд. – [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://promotroid.ru>. Дата обращения: 16.03.2016.