



**Гришкина Елена Михайловна**

*магистрант, направление «Технология машиностроения», Арзамасский Политехнический Институт (филиал Нижегородского государственного технического университета им. Р. Е. Алексеева), г. Арзамас  
grishkina\_elena@mail.ru*

**Платонов Александр Васильевич**

*кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология машиностроения», Арзамасский Политехнический Институт (филиал Нижегородского государственного технического университета им. Р. Е. Алексеева), г. Арзамас  
platonov-alex-v@mail.ru*

**Кангин Михаил Владимирович**

*кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология машиностроения», Арзамасский Политехнический Институт (филиал Нижегородского государственного технического университета им. Р. Е. Алексеева), г. Арзамас*

УДК 620.172/.178.2

**ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОБРАБОТКИ ДЕТАЛИ  
«КОЛЬЦО СПЕЦИАЛЬНОЕ» В СПРОЕКТИРОВАННОМ ЗАЖИМНОМ  
ПРИСПОСОБЛЕНИИ С ЦЕЛЮ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕЛИЧИН  
ДЕФОРМАЦИЙ В РАСЧЕТНОЙ СРЕДЕ ANSYS®MECHANICAL**

*В данной статье рассматривается разработка и исследование конечно-элементной модели процесса обработки детали «Кольцо специальное» в спроектированной оснастке с использованием CAE-системы «ANSYS®Mechanical» с целью определения ее точностных и прочностных характеристик. 3D-модель приспособления импортируется в расчетную систему для проведения статического анализа. Деталям исследуемой модели присваиваются свойства соответствующих материалов. Задаются контактные взаимодействия деталей, входящих в сборку и готовится конечно-элементная модель. Задаются приложенные закрепления и нагрузки к данной модели. Анализ результатов показывает величину деформаций возникающих при обработке.*



*Ключевые слова:* конечно-элементная модель, САЕ-система «ANSYS®Mechanical», расчетная система, статический анализ.

*Импорт геометрии и применение моделей материалов в САЕ-системе «ANSYS®Mechanical» [1].* Объектом исследования является геометрическая модель конструкции зажимного приспособления в сборе с обрабатываемой кольцевой деталью диаметром 1750 мм, высотой 145 мм имеющей формат 3D (\*.stp), которая импортирована в расчетную систему для проведения статического анализа (рисунок 1). Деталям исследуемой модели определены свойства соответствующих материалов.

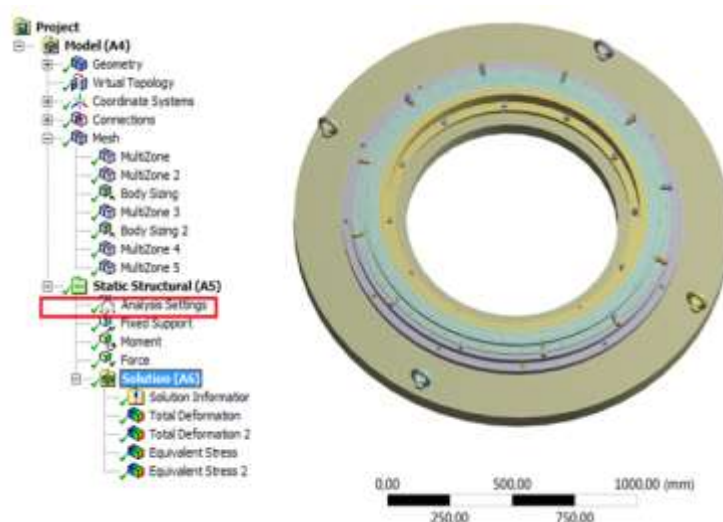


Рис. 1. Геометрическая модель конструкции УСП в сборе с обрабатываемой деталью

*Генерация конечно-элементной расчетной сетки.* Узлы и элементы, сгенерированные в модели, в совокупности составляют сетку конечных элементов. Для создания конечно-элементной модели, конструкции оправки цанговой в сборе с обрабатываемой деталью, использованы следующие типы конечных элементов: Tet10, Hex20, Wed15, Pyr13. Общие настройки сеточного алгоритма и метода «MultiZone» приведены на рисунках 2а и 2б соответственно.

Параметр Relevance отвечает за разрешающую способность сетки: минимальное значение данного параметра (-100) дает наиболее грубую сетку, в то время как максимальное значение (+100) воспроизводит сетку с наибольшей плотностью ячеек. Группа Sizing включает настройку SizeFunction, которая



ISSN: 2500-4212. Свидетельство о регистрации СМИ: Эл № ФС 77 - 67083 от 15.09.2016  
Научное обозрение. Раздел II. Наука и практика. 2019. № 1. ID 157

позволяет контролировать углы между нормальными, проведенными к ребрам соседних элементов сетки (Curvature), число элементов сетки в зазорах между двумя геометрическими элементами сборки (Proximity) и соотношения размеров соседних ячеек (GrowthRate).

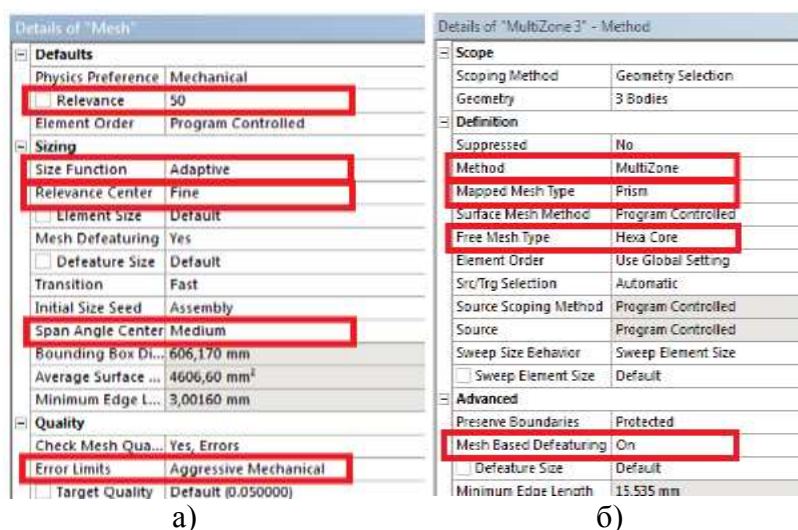


Рис.2. Общие настройки сеточного алгоритма (а) и метода «MultiZone» (б)

Для контроля качества созданной конечно-элементной модели детали «Кольцо», закрепленной в зажимном приспособлении [2], запрашивается метрика «Element Quality», которая показывает отношение объема элемента к длине его стороны и приведена на рисунке 3.

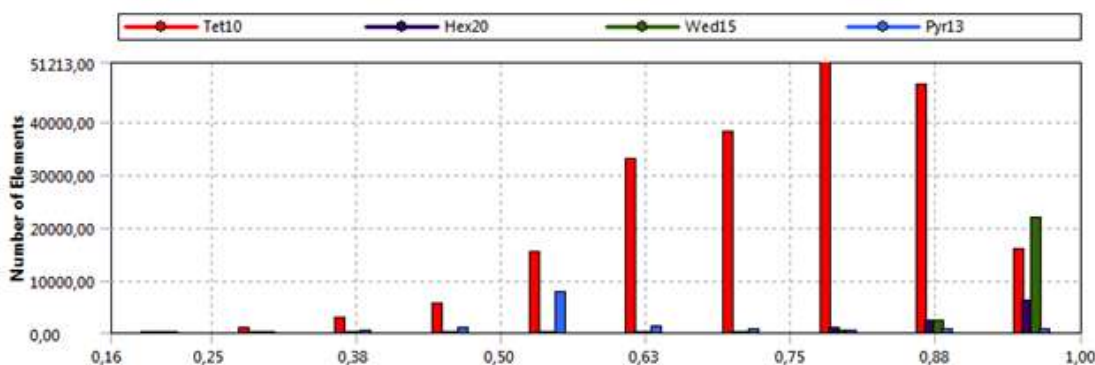


Рис. 3. Метрика «Element Quality» конечно-элементной модели детали «Кольцо», закрепленной в зажимном приспособлении



ISSN: 2500-4212. Свидетельство о регистрации СМИ: ЭЛ № ФС 77 - 67083 от 15.09.2016  
Научное обозрение. Раздел II. Наука и практика. 2019. № 1. ID 157

Конечно-элементная модель детали «Кольцо», закрепленная в зажимном приспособлении приведена на рисунке 4.

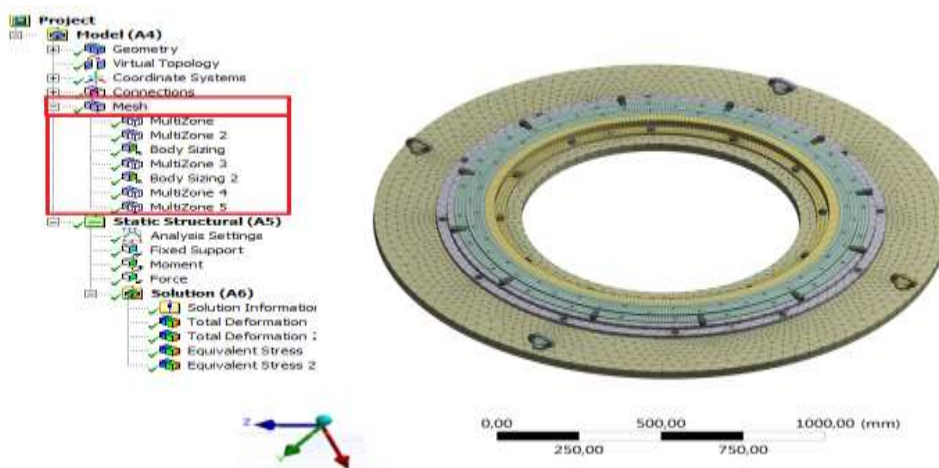


Рис. 4. Конечно-элементная модель детали «Кольцо», закрепленной в зажимном приспособлении

*Настройка связей для моделирования взаимодействия деталей.* Определение контактных поверхностей и современные алгоритмы позволяют быстро и точно смоделировать взаимодействие. Для моделирования контактного взаимодействия множества деталей исследуемой модели использованы следующие типы контактных взаимодействий: «Bonded» – поверхности зафиксированы так, что образование зазора между поверхностями и скольжение невозможно; «No Separation» – скольжение в контакте ничем не ограничено, зазор не допускается. Конечно-элементная модель детали «Кольцо», закрепленная в зажимном приспособлении с настройками контактных взаимодействий, приведена на рисунке 5.

*Установки расчета процесса решения.* Настройки процесса решения в свойствах компонента «Analysis Settings» предоставляют общие инструменты управления процессом решения. В значение поля «Number Of Steps» устанавливается нужное число шагов – 2 (рисунок 6). Несколько шагов нагружения позволяют производить расчеты последовательно при различных нагрузках.



ISSN: 2500-4212. Свидетельство о регистрации СМИ: Эл № ФС 77 - 67083 от 15.09.2016  
Научное обозрение. Раздел II. Наука и практика. 2019. № 1. ID 157

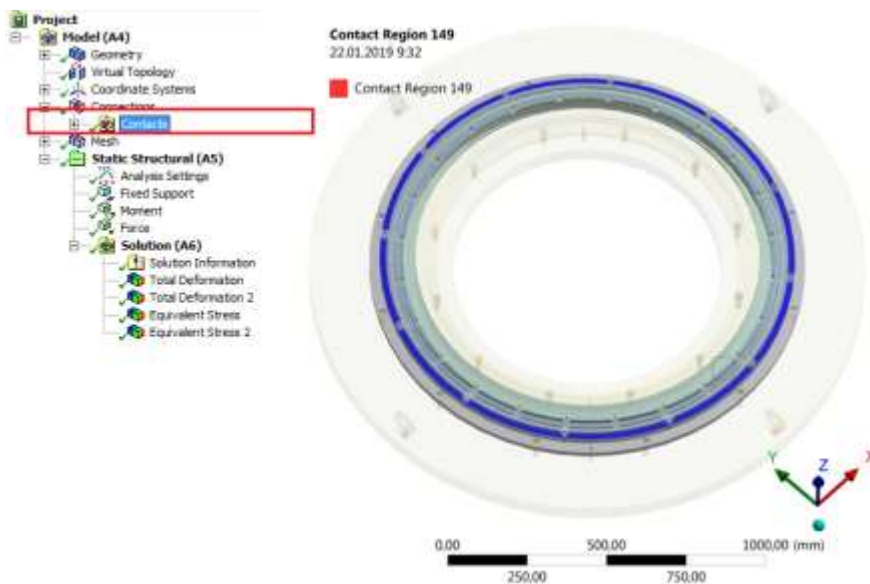


Рис. 5. Конечно-элементная модель детали «Кольцо», закрепленной в зажимном приспособлении с настройками контактных взаимодействий

Значение поля «Step End Time» указывает только на шаг нагружения, а не на реальное время. Значения нагрузки для каждого шага вводятся в виде таблицы в «Tabular Data».

Details of "Analysis Settings"	
<b>Restart Analysis</b>	
Restart Type	Program Controlled
Status	Done
<b>Step Controls</b>	
Number Of Steps	2,
Current Step Number	1,
Step End Time	1, s
Auto Time Stepping	Program Controlled
<b>Solver Controls</b>	
Solver Type	Program Controlled
Weak Springs	On
Spring Stiffness	Program Controlled
Solver Pivot Checking	Program Controlled
Large Deflection	On
Inertia Relief	Off
<b>Rotordynamics Controls</b>	
<b>Restart Controls</b>	
Generate Restart Poi...	Manual
Load Step	All
Substep	All

Рис. 6. Настройки процесса решения

*Приложение нагрузок и граничных условий.* Правильное задание закрепления и нагружения модели позволяет получить результаты, максимально приближенные к физически проведенным экспериментам [4]. Для моделирования закрепления и нагружений множества деталей в конструкции



ISSN: 2500-4212. Свидетельство о регистрации СМИ: Эл № ФС 77 - 67083 от 15.09.2016  
Научное обозрение. Раздел II. Наука и практика. 2019. № 1. ID 157

зажимного приспособления [3] использованы приведенные ниже типы нагрузок и граничных условий.

Для моделирования закрепления конструкции приспособления на рабочем столе станка использовано граничное условие – «Fixed Support» ограничивающая для указанных поверхностей степени свободы  $x$ ,  $y$ ,  $z$ ,  $rotx$ ,  $roty$  и  $rotz$ .

Для моделирования болтовых соединений использована нагрузка – «Bolt Pretension», прикладывающая нагрузку от предварительной затяжки болта на цилиндрическую твердотельную поверхность, используя усилие предварительной затяжки.

Для корректной передачи нагрузок / напряжений через контактные поверхности при создании контакта между болтом и гайкой использован тип контакта «Bonded», с использованием виртуальной резьбы «Bolt Thread Contact Technique». Данный метод определяется на основе всех геометрических характеристик резьбы.

На первом шаге расчета к цилиндрической поверхности болта прикладывается нагрузка – затяжка болта («Bolt Pretension Load»), силой 2000N (рисунок 7). На втором шаге болт фиксируется в нагруженном состоянии («Lock»).

Details of "Bolt Pretension"	
[-] <b>Scope</b>	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	10 Bodies
Coordinate System	Global Coordinate System
[-] <b>Definition</b>	
Type	Bolt Pretension
Suppressed	No
Define By	Load
Preload	2000, N

Рис. 7. Настройки приложения нагрузки «Bolt Pretension»

Для моделирования составляющих силы резания возникающих в процессе обработки детали использованы нагрузки типа «Force» рассчитанной величиной 100Н. Направление и величина данных нагрузок соответствует по величине и



ISSN: 2500-4212. Свидетельство о регистрации СМИ: Эл № ФС 77 - 67083 от 15.09.2016  
Научное обозрение. Раздел II. Наука и практика. 2019. № 1. ID 157

направлению действия составляющих силы резания во время обработки детали, и прикладываются на втором шаге расчета.

Настройки приложения нагрузки «Force» приведены на рисунке 8 а. Для моделирования центробежных сил, возникающих в процессе обработки, за счет присутствия главного движения – вращения инструмента, использована нагрузка типа «Moment» рассчитанной величиной 2 Нм.

Настройки приложения нагрузки «Moment» приведены на рисунке 8 б.

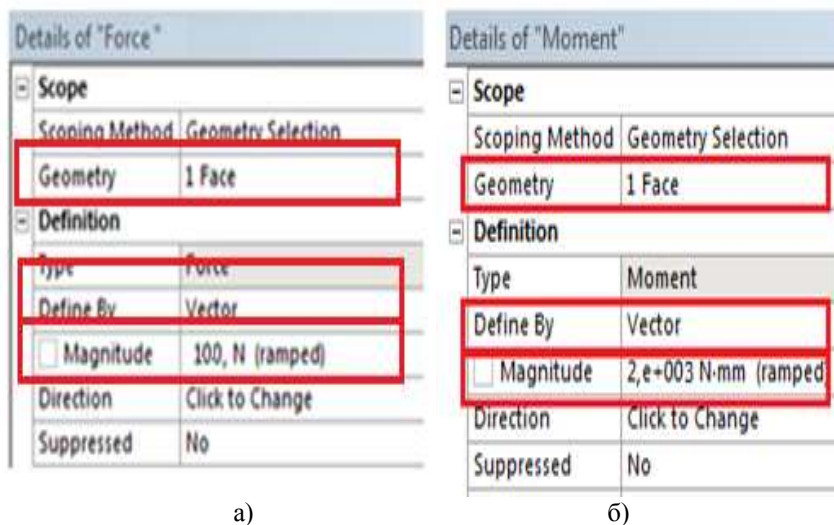


Рис. 8. Настройки приложения нагрузок «Force» и «Moment»

Конечно-элементная модель детали «Кольцо», закрепленная в зажимном приспособлении с приложенными закреплениями и нагрузками, приведена на рисунке 9.

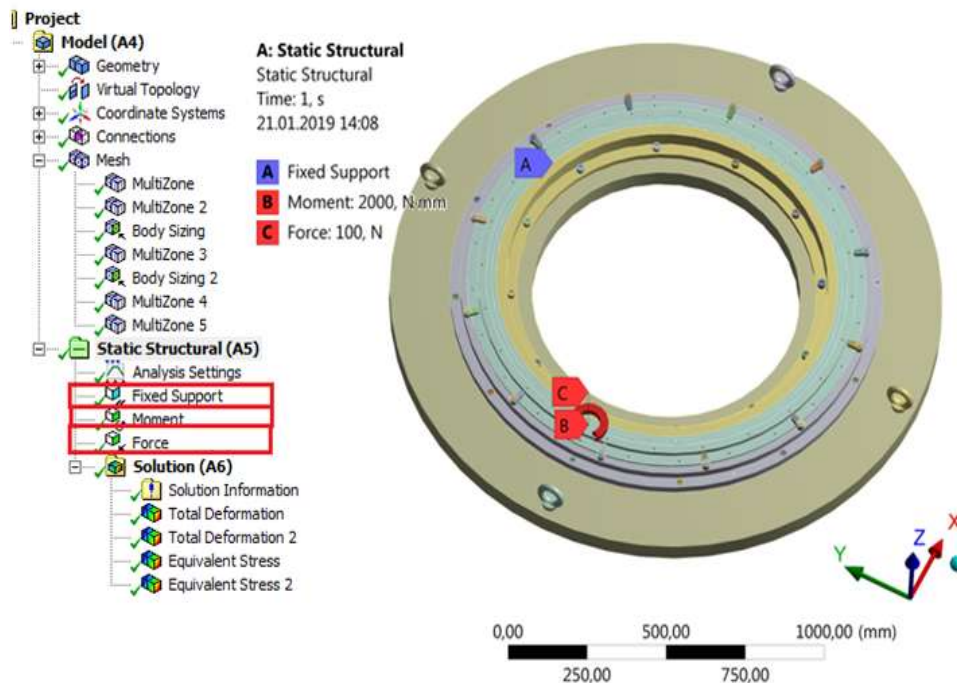


Рис. 9. Конечно-элементная модель детали «Кольцо», закрепленной в зажимном приспособлении с приложенными закреплениями и нагрузками

*Анализ полученных результатов с целью определения точностных и прочностных характеристик приспособления.* Основная цель статического прочностного анализа конструкций заключается в оценке напряжённого состояния конструкции, находящейся под действием неизменяющихся во времени (статических) силовых воздействий.

Для запроса результатов расчета следует выбрать ветвь Solution и добавить новый элемент результатов (рисунок 10).

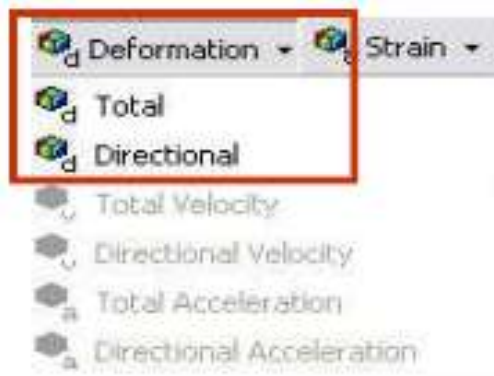


Рис. 10. Добавление результатов расчетов





В данном случае результаты статического прочностного анализа а именно рассчитанные эпюры прогибов в конструкции детали (рисунок 11), используются для определения величины деформаций возникающих при обработке.

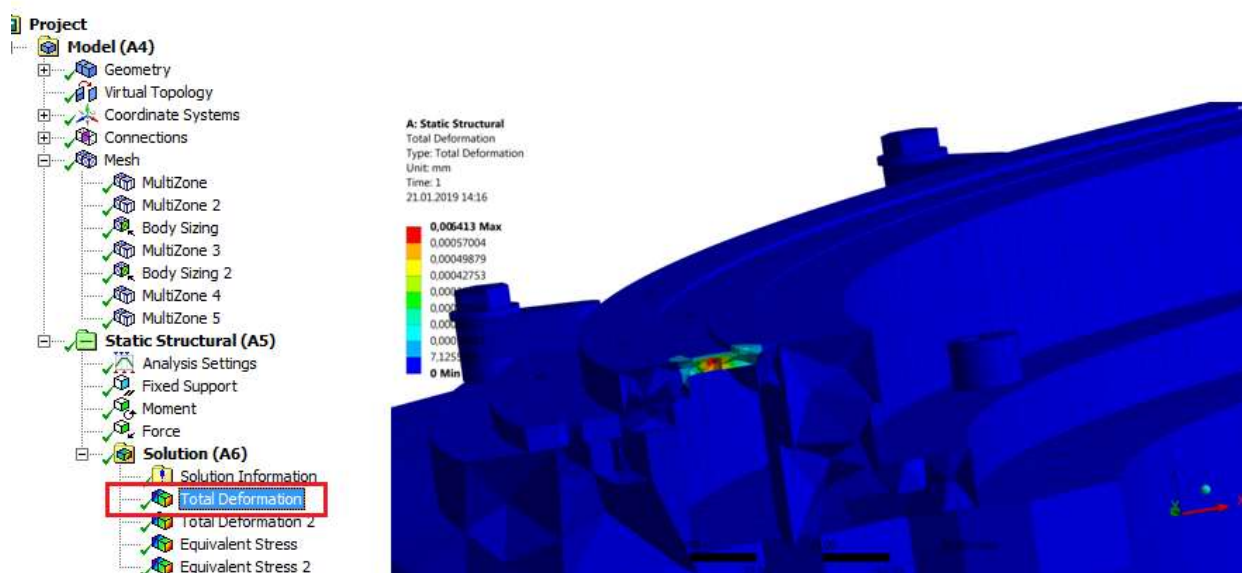


Рис. 11. Эпюры прогибов в конструкции детали «Кольцо», возникающие при обработке в зажимном приспособлении

Результаты численного моделирования процесса обработки детали «Кольцо» в спроектированном зажимном приспособлении с целью определения величин деформаций в расчетной среде ANSYS®Mechanical показывают, что при обработке детали возникают деформации, не превышающие поле допуска на данную операцию ( $\delta=0.006\text{мм}<T=0.150\text{мм}$ ), следовательно, спроектированное приспособление не нуждается в доработке.

Эпюры распределения напряжений в детали «Кольцо» и деталях зажимного приспособления, возникающие при обработке приведены на рисунке 12.



ISSN: 2500-4212. Свидетельство о регистрации СМИ: Эл № ФС 77 - 67083 от 15.09.2016  
Научное обозрение. Раздел II. Наука и практика. 2019. № 1. ID 157

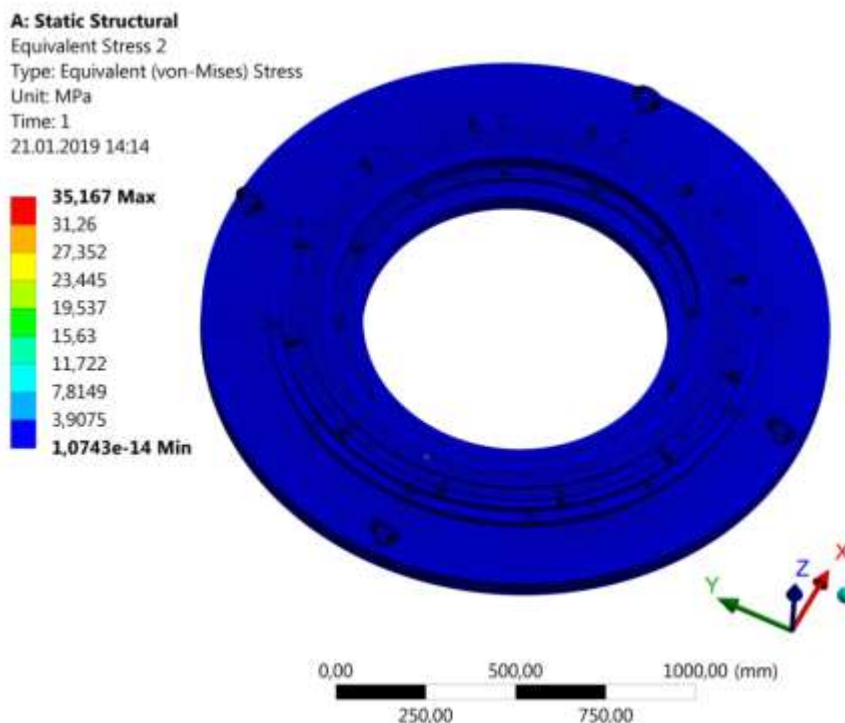


Рис. 12. Эпюры распределения напряжений в детали «Кольцо» и в деталях зажимного приспособления, возникающие при механической обработке

*Вывод.* Анализ распределения напряжений в детали «Кольцо» и деталях зажимного приспособления, возникающих при обработке, показывает, что их значение не превышает пределов прочности материалов, из которых они изготовлены. Проведенные расчеты подтверждают правильность предварительно проведенных математических расчетов прочности зажимных элементов приспособления и обеспечения устойчивости детали.



*Список использованных источников*

1. Жидков А. В. Применение системы ANSYS к решению задач геометрического и конечно-элементного моделирования : учеб.-метод. материал по программе повышения квалификации «Информационные системы в математике и механике». Нижний Новгород, 2006. 115 с. URL: <http://www.unn.ru/pages/elibrary/aids/2006/1.pdf> (дата обращения: 17.02.2008).
2. Андреев Г. И., Новиков В. Ю., Схиртладзе А. Г. Проектирование технологической оснастки машиностроительного производства : учеб. пособие для машиностроительного производств. М. : Высшая школа, 1999. 415 с.
3. Схиртладзе А. Г. Технологическая оснастка машиностроительных производств : альбом. М. : МГТУ Станкин, 1999. Ч. 1–2.
4. Ящерицын П. И. Теория резания. Минск : Новое издание, 2005. 512с.

**Grishkina Elena**

*graduate student, Arzamas Polytechnic Institute (branch of R. E. Alekseev Nizhny Novgorod State Technical University), Arzamas*

**Platonov Alexandr**

*Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Department Engineering Technology, Arzamas Polytechnic Institute (branch of R. E. Alekseev Nizhny Novgorod State Technical University), Arzamas*

**Kangin Mickhail**

*Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Department Engineering Technology, Arzamas Polytechnic Institute (branch of R. E. Alekseev Nizhny Novgorod State Technical University), Arzamas*



## **DETERMINE THE STRAIN VALUE CALCULATED USING ANSYS®MECHANICAL**

*This article deals with the development and research of the finite element model of the part processing "Special Ring" in the designed tooling using "ANSYS®Mechanical" CAE-System. The purpose of the study is to determine the part's accuracy and strength characteristics. The device 3D model is imported into the calculation system for static analysis. The model detail has the properties of the proper materials. Contact interactions of parts in the Assembly are given. A finite element model is prepared. The applied fixings and loadings to this model are specified. The results analysis of shows the value of deformations that occur during processing.*

*Keywords: finite element model, ANSYS®Mechanical CAE-system, calculation system, static analysis.*

© АНО СНОЛД «Партнёр», 2019

© Гришкина Е. М., 2019

© Платонов А. В., 2019

© Кангин М. В., 2019

### **Учредитель и издатель журнала:**

Автономная некоммерческая организация содействие  
научно-образовательной и литературной деятельности «Партнёр»  
ОГРН 1161300050130 ИНН/КПП 1328012707/132801001

### **Адрес редакции:**

430027, Республика Мордовия, г. Саранск, ул. Ульянова, д.22 Д, пом.1  
тел./факс: (8342) 32-47-56; тел. общ.: +79271931888;  
E-mail: [redactor@anopartner.ru](mailto:redactor@anopartner.ru)

### **О журнале**

- ✓ Журнал имеет государственную регистрацию СМИ и ему присвоен международный стандартный серийный номер ISSN.
- ✓ Материалы журнала включаются в библиографическую базу данных научных публикаций российских учёных Российский индекс научного цитирования (РИНЦ).
- ✓ Журнал является официальным изданием. Ссылки на него учитываются так же, как и на



www.anopartner.ru  
"ПАРТНЁР"  
ИЗДАТЕЛЬСТВО

Гришкина Е. М. Численное моделирование процесса обработки детали «Кольцо специальное» в спроектированном зажимном приспособлении с целью определения величин деформаций в расчетной среде ANSYS@MECHANICAL» [Электронный ресурс] / Е. М. Гришкина, А. В. Платонов, М. В. Кангин// Научное обозрение: электрон. журн. – 2019. – № 1. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). Систем. требования: Pentium III, процессор с тактовой частотой 800 МГц; 128 Мб; 10 Мб; Windows XP/Vista/7/8/10; Acrobat 6 x.



ISSN: 2500-4212. Свидетельство о регистрации СМИ: Эл № ФС 77 - 67083 от 15.09.2016

**Научное обозрение. Раздел II. Наука и практика. 2019. № 1. ID 157**

печатный труд.

- ✓ Редакция осуществляет рецензирование всех поступающих материалов, соответствующих тематике издания, с целью их экспертной оценки.
- ✓ Журнал выходит на компакт-дисках. Обязательный экземпляр каждого выпуска проходит регистрацию в Научно-техническом центре «Информрегистр».
- ✓ Журнал находится в свободном доступе в сети Интернет по адресу: [www.srjournal.ru](http://www.srjournal.ru). Пользователи могут бесплатно читать, загружать, копировать, распространять, использовать в образовательном процессе все статьи.

**Прием заявок на публикацию статей и текстов статей, оплата статей осуществляется через функционал Личного кабинета сайта издательства "Партнёр" ([www.anopartner.ru](http://www.anopartner.ru)) и не требует посещения офиса.**