



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

Научное обозрение. Раздел I. Научные исследования. 2019. № 1. ID 159

Ванюхин Сергей Михайлович

*магистрант, направление «Технология машиностроения», Арзамасский Политехнический Институт (филиал Нижегородского государственного технического университета им. Р. Е. Алексеева), г. Арзамас
sergofan2009@mail.ru*

Ломакин Сергей Николаевич

*магистрант, направление «Технология машиностроения», Арзамасский Политехнический Институт (филиал Нижегородского государственного технического университета им. Р. Е. Алексеева), г. Арзамас
sergh.lomakin.85@mail.ru*

Гришин Александр Иванович

*магистрант, направление «Технология машиностроения», Арзамасский Политехнический Институт (филиал Нижегородского государственного технического университета им. Р. Е. Алексеева), г. Арзамас
Alesandrgisin0859@gmail.ru*

Шурыгин Алексей Юрьевич

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

УДК 620.172/.178.2

**РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНЫХ
МОДЕЛЕЙ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ СОЕДИНЕНИЙ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ «ANSYS®MECHANICAL» ДЛЯ
ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИХ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК И
УСТАЛОСТНОЙ ПРОЧНОСТИ**

В статье рассматривается разработка и исследование конечно-элементных моделей различных типов соединений с использованием «ANSYS®MECHANICAL» для определения прочностных характеристик и усталостной прочности. Геометрические модели соединений, имеющих формат 3D (.stp) импортируются в расчетную систему ANSYS®Mechanical*



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

Научное обозрение. Раздел I. Научные исследования. 2019. № 1. ID 159

для проведения статического анализа. Деталям исследуемых моделей определены свойства материала.

Узлы и элементы, сгенерированные в моделях, составляют сетку конечных элементов. Определяются контактные взаимодействия. Задаются закрепления и нагрузки моделей, максимально приближенные к физически проведенным экспериментам. Для определения усталостной прочности деталей соединения к проекту подключается модуль расчета усталостной прочности.

Разработанные конечно-элементные модели соединений могут использоваться с целью определения характеристик и усталостной прочности при поверочном расчете вновь создаваемых соединений и уточнении ресурса используемых.

Ключевые слова: конечно-элементная модель, расчетная система ANSYS®Mechanical, модуль расчета усталостной прочности.

Проектирование и расчет различных типов соединений деталей машин производится в соответствии с указаниями, изложенными в нормативных документах и в специальной литературе по деталям машин. При этом назначаются размеры деталей соединений в зависимости от предполагаемых условий нагружения. Неравномерность распределения нагрузок оказывает существенное влияние на работоспособность соединений и не учитывается в расчетах. Это показывает, что для уточненного расчета деталей соединений следует использовать современные методы численного моделирования с использованием систем конечно-элементного анализа.

Объектом исследования являются геометрические модели деталей шлицевого и клинового соединений, имеющих формат 3D (*.stp) которые импортированы в расчетную систему ANSYS®Mechanical для проведения статического анализа. Деталям исследуемых моделей определены свойства конструкционной стали 40Х: плотность – $7,85 \cdot 10^{-6} \text{kg mm}^{-3}$; модуль Юнга – $2 \cdot 10$ МПа; коэффициент Пуассона – 0,3.

Узлы и элементы, сгенерированные в моделях, в совокупности составляют сетку конечных элементов. Для создания конечно-элементных моделей, шлицевого и клинового соединений, использованы следующие типы конечных элементов: Tet10, Hex20, Wed15, Pyr13. В качестве метода создания конечно-элементных моделей на телах принимается Multi Zone.

Определение контактных поверхностей и современные алгоритмы позволяют быстро и точно смоделировать взаимодействие [1]. Для моделирования контактного взаимодействия множества деталей исследуемых



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

Научное обозрение. Раздел I. Научные исследования. 2019. № 1. ID 159

моделей использован контакт без разделения (NoSeparation) – для моделирования скользящих беззазорных соединений, например, осей во втулках, направляющих и т.п. Скольжение в контакте ничем не ограничено, зазор не допускается.

Правильное задание закрепления и нагружения моделей позволяет получить результаты, максимально приближенные к физически проведенным экспериментам [2]. Для моделирования закрепления и нагружений деталей в конструкциях шлицевого и клинового соединений использованы приведенные ниже типы нагрузок и граничных условий.

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

Для исследования характера изменения напряженного состояния деталей шлицевого соединения при приложении рабочей нагрузки к зубчатому колесу прикладывается момент величиной 200 Нм.

Анализ результатов исследования (рисунок 1) показывает, что в деталях шлицевого соединения, возникают значительные напряжения, неравномерные по длине контактирующих поверхностей деталей соединения, что не учитывается при выполнении их проверочных расчетов по формулам сопротивления материалов.

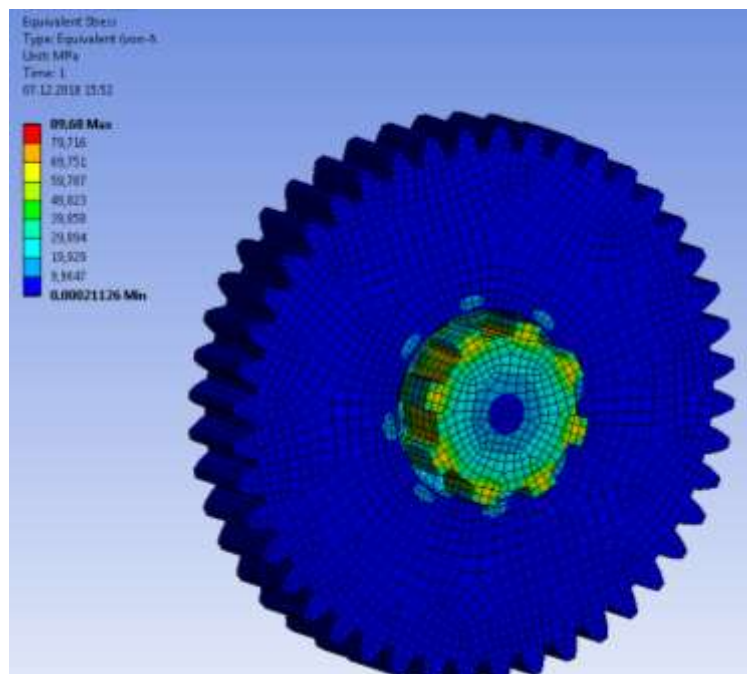


Рис.1. Рассчитанные эпюры напряжений, возникающие в деталях шлицевого соединения при приложении момента 200Нм



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

Научное обозрение. Раздел I. Научные исследования. 2019. № 1. ID 159

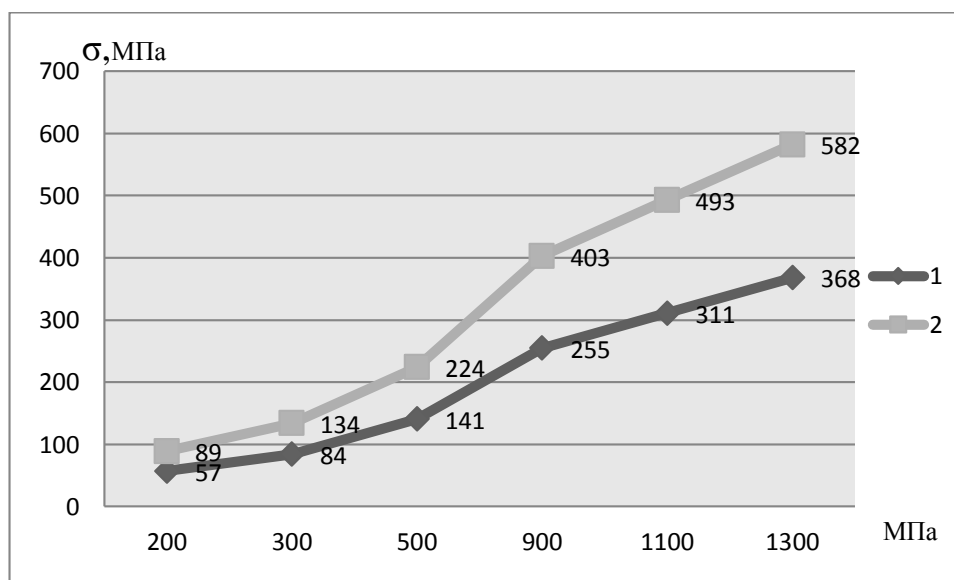
Для исследования характера изменения напряженного состояния деталей шлицевого соединения, при приложении рабочего диапазона нагрузок, с использованием программного комплекса ANSYS®Mechanical разработанная выше конечно-элементная модель исследуется со следующими параметрами: рабочие моменты изменяются в диапазоне от 200 до 1300 Нм.

Результаты исследования напряжений в деталях шлицевого соединения «Колесо» и «Вал» при изменении момента от 200Нм до 1300Нм приведены в таблице 1.

Таблица 1. Напряжение в деталях шлицевого соединения при изменении момента от 200Нм до 1300Нм

Момент нагрузки, Нм	200	300	500	900	1100	1300
Напряжения на детали «Зубчатое колесо», МПа	57	84	141	255	311	368
Напряжения на детали «Вал шлицевой», МПа	89	134	224	403	493	582

На рисунке 2 приведены график зависимости напряжений в деталях шлицевого соединения при изменении момента от 200Нм до 1300Нм.



1 – деталь «Зубчатое колесо»; 2 – деталь «Вал шлицевой»

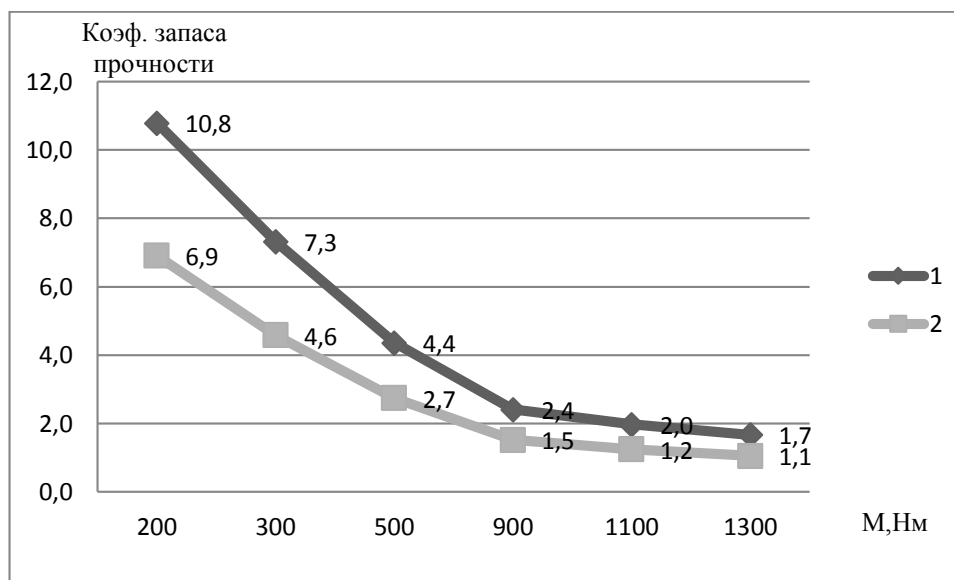
Рис.2. График зависимости коэффициентов запаса прочности деталей шлицевого соединения при изменении момента нагрузки



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

Научное обозрение. Раздел I. Научные исследования. 2019. № 1. ID 159

Рассчитанные коэффициенты запаса прочности деталей шлицевого соединения в зависимости от момента нагрузки от 200Нм до 1300Нм приведены вна рисунке 3.



1 – деталь «Зубчатое колесо»; 2 – деталь «Валшлицевой»

Рис. 3. График зависимости коэффициентов запаса прочности деталей шлицевого соединения при изменении момента от 200Нм до 1300Нм

Полученные графики зависимостей напряжений и коэффициентов запаса прочности деталей шлицевого соединения при изменении момента нагрузки следует использовать при поверочном расчете вновь создаваемых соединений и уточнении ресурса используемых.

Для рассматриваемой конструкции шлицевого соединения при заданных внешних воздействиях получено решение статической задачи. Для определения усталостной прочности деталей шлицевого соединения к проекту подключается модуль расчета усталостной прочности.

Рассчитанные эпюры распределения параметра «Stress Life» при приложении нагрузки в виде момента величиной 200 Нм приведены на рисунке 4.



ISSN: 2500-4212. Свидетельство о регистрации СМИ: Эл № ФС 77 - 67083 от 15.09.2016
Научное обозрение. Раздел I. Научные исследования. 2019. № 1. ID 159

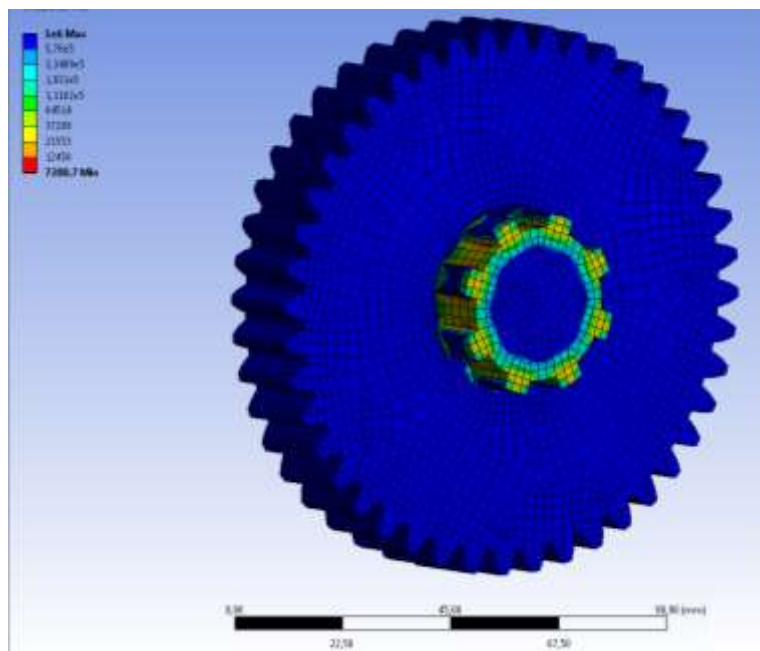


Рис. 4. Рассчитанные эпюры распределения параметра «StressLife» при приложении нагрузки в виде момента величиной 200 Нм

Для исследования усталостной прочности деталей шлицевого соединения, при приложении рабочего диапазона нагрузок, с использованием программного комплекса ANSYS®Mechanical разработанная выше конечно-элементная модель исследуется со следующими параметрами: рабочие моменты изменяются в диапазоне от 200 до 1300 Нм.

Результаты исследования количества циклов нагружения, выдерживаемых шлицевым валом и зубчатым колесом (параметр «StressLife») при изменении момента от 200Нм до 1300Нм, приведены в таблице 2.

Таблица 2. Количество циклов нагружения, выдерживаемых деталями шлицевого соединения при изменении момента от 200Нм до 1300Нм

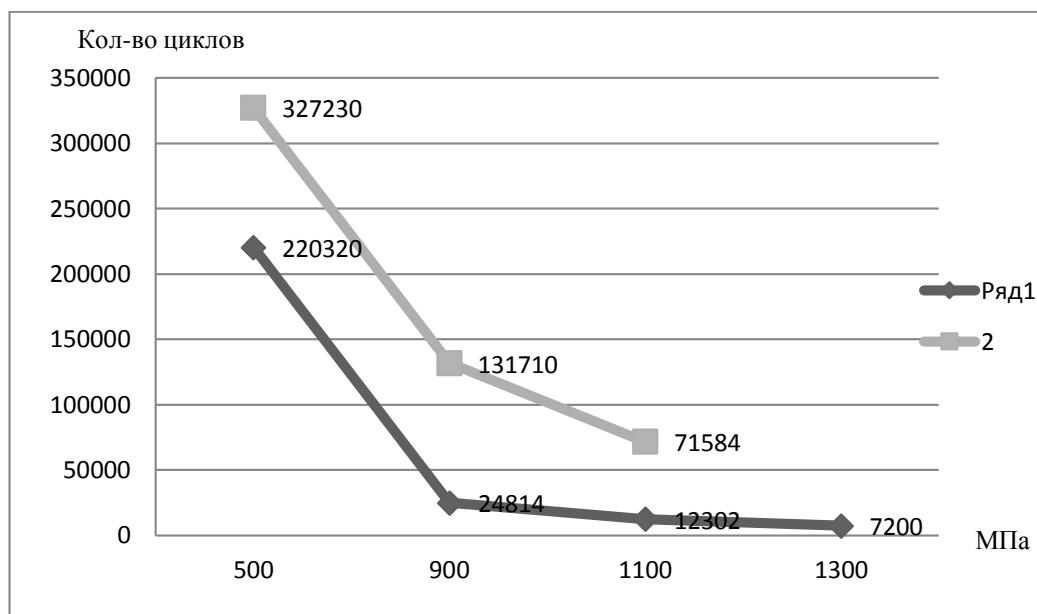
Момент нагрузки, Нм	200	300	500	900	1100	1300
Количество циклов детали «Вал шлицевой», шт	>1млн	>1млн	220320	24814	12302	7200
Количество циклов детали «Зубчатое колесо», шт	>1млн	>1млн	>1млн	327230	131710	71584



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

Научное обозрение. Раздел I. Научные исследования. 2019. № 1. ID 159

На рисунке 5 приведен график зависимостей количества циклов нагружения, выдерживаемых деталями шлицевого соединения (параметр «StressLife») при изменении момента от 200Нм до 1300Нм.



1 – деталь «Зубчатое колесо»; 2 – деталь «Вал шлицевой»

Рис.5. График зависимостей количества выдерживаемых циклов деталями шлицевого соединения при изменении момента нагрузки

Полученные графики зависимостей количества циклов нагружения, выдерживаемых деталями шлицевого соединения при изменении момента нагрузки, следует использовать при поверочном расчете вновь создаваемых шлицевых соединений и уточнении ресурса используемых.

Разработанные конечно-элементные модели шлицевых соединений с целью определения прочностных характеристик и усталостной прочности могут использоваться при поверочном расчете вновь создаваемых соединений и уточнении ресурса используемых.

Для исследования характера изменения напряженного состояния деталей клинового соединения при приложении тяговой силы в диапазоне от 500кН до 1000кН к хвостовику протяжки прикладывается граничное условие Force.

Анализ результатов исследования (рисунокб) показывает, что в деталях клинового соединения, возникают значительные напряжения, неравномерные по длине контактирующих поверхностей деталей соединения, что не учитывается



ISSN: 2500-4212. Свидетельство о регистрации СМИ: Эл № ФС 77 - 67083 от 15.09.2016
Научное обозрение. Раздел I. Научные исследования. 2019. № 1. ID 159

при выполнении их проверочных расчетов по формулам сопротивления материалов.

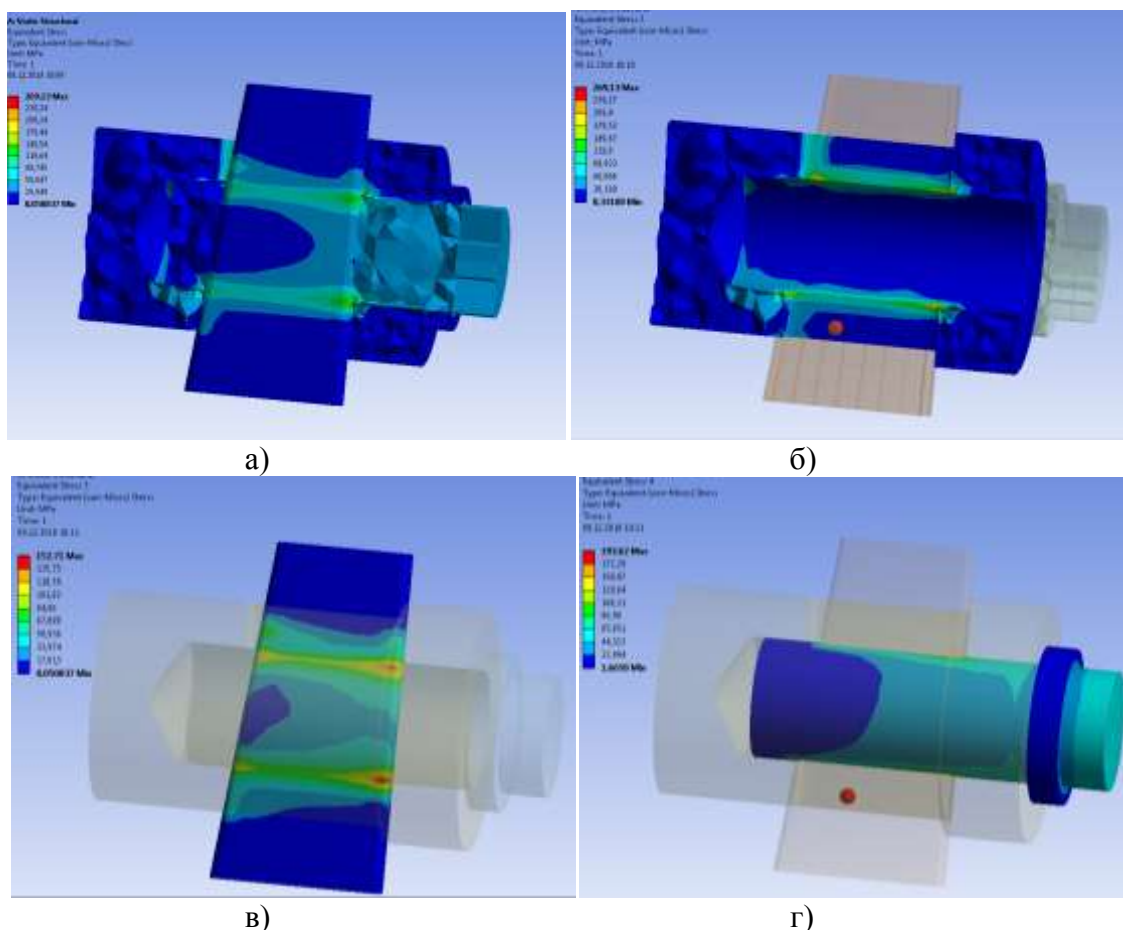


Рис.6. Эпюры напряжений, возникающие в деталях (а) клинового соединения: «Втулка»(б), «Клин» (в) «Хвостовик» (г)

Для исследования характера изменения напряженного состояния деталей клинового соединения, при приложении рабочего диапазона нагрузок, с использованием программного комплекса ANSYS@Mechanical разработанная выше конечно-элементная модель исследуется со следующими параметрами: тяговая сила изменяется в диапазоне от 500кН до 1000кН.

Результаты исследования напряжений деталей «Втулка», «Клин» и «Хвостовик» при изменении тяговой силы от 500кН до 1000кН и соответствующие коэффициенты запаса прочности приведены в таблицах 3 и 4.



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

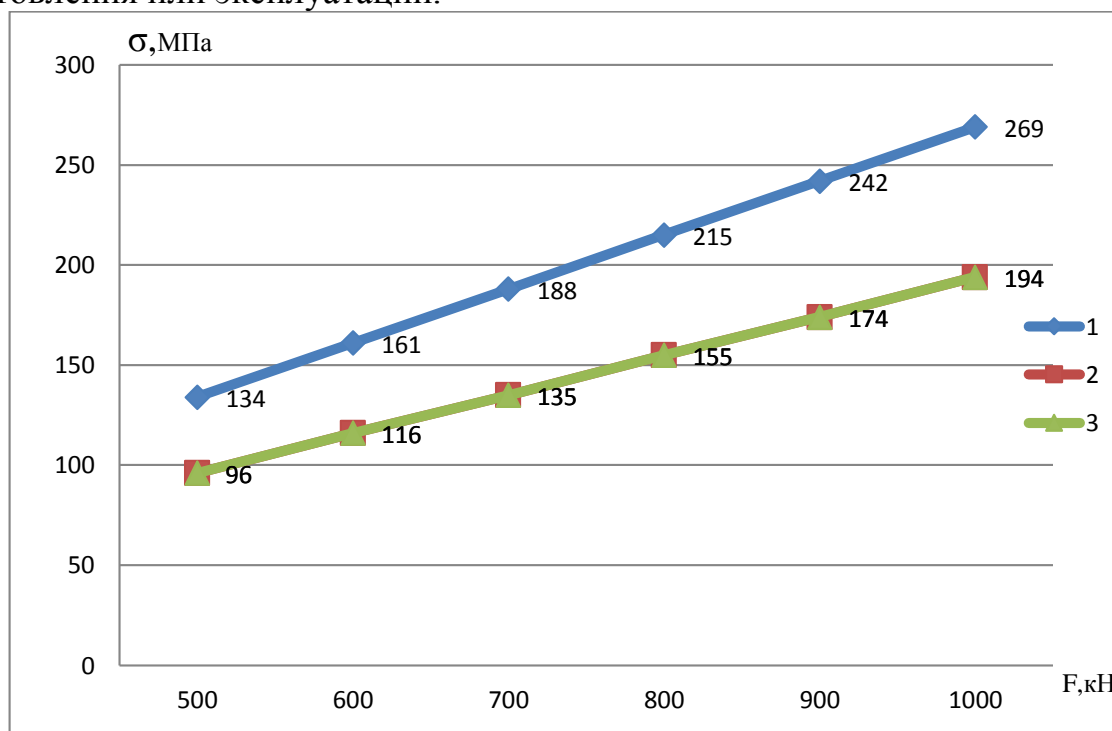
Научное обозрение. Раздел I. Научные исследования. 2019. № 1. ID 159

Таблица 3. Напряжения в деталях клинового соединения при изменении тяговой силы от 500кН до 1000кН

Тяговая сила, кН	500	600	700	800	900	1000
Напряжения в детали «Втулка», МПа	134	161	188	215	242	269
Напряжения в детали «Клин», МПа	76	92	106	122	137	153
Напряжения в детали «Хвостовик», МПа	96	116	135	155	174	194

На рисунках 7 и 8 приведены графики зависимости напряжений и коэффициентов запаса прочности деталей «Втулка», «Клин» и «Хвостовик» при изменении тяговой силы от 500кН до 1000кН.

Коэффициент запаса – величина, показывающая способность конструкции выдерживать прилагаемые к ней нагрузки выше расчётных. Наличие запаса прочности обеспечивает дополнительную надёжность конструкции, чтобы избежать катастрофы в случае возможных ошибок проектирования, изготовления или эксплуатации.



1 – деталь «Втулка»; 2 – деталь «Клин»; 3 – деталь «Хвостовик»

Рис.7. График зависимости напряжений в деталях «Втулка», «Клин» и «Хвостовик» при изменении тяговой силы от 500кН до 1000кН



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

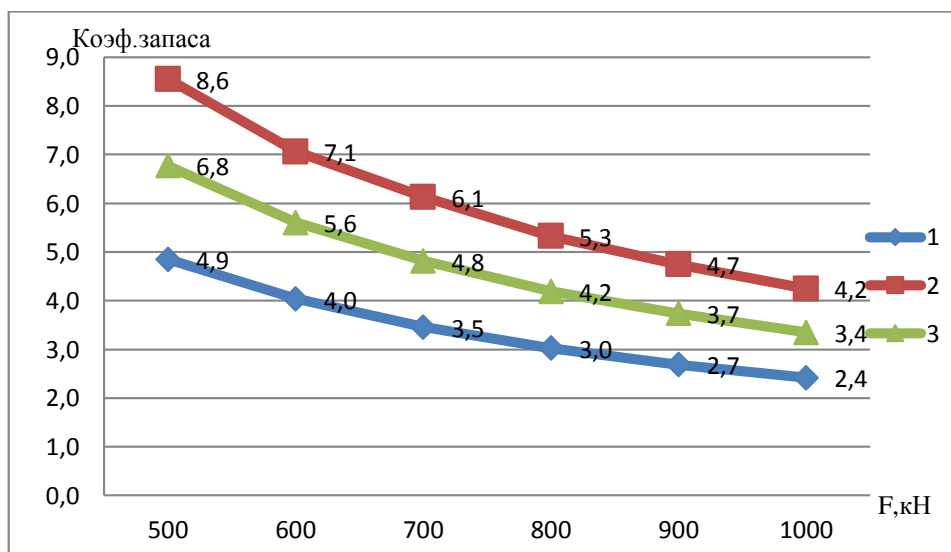
Научное обозрение. Раздел I. Научные исследования. 2019. № 1. ID 159

Таблица 4. Коэффициент запаса прочности деталей «Втулка», «Клин» и «Хвостовик» при изменении тяговой силы от 500кН до 1000кН

Момент нагрузки, кН	500	600	700	800	900	1000
Коэффициент запаса прочности детали «Втулка»	4,9	4,0	3,5	3,0	2,7	2,4
Коэффициент запаса прочности детали «Клин»	8,6	7,1	6,1	5,3	4,7	4,2
Коэффициент запаса прочности детали «Хвостовик»	6,8	5,6	4,8	4,2	3,7	3,4

Полученные графики зависимостей напряжений и коэффициентов запаса прочности деталей клинового соединения при изменении тяговой силы следует использовать при поверочном расчете вновь создаваемых соединений и уточнении ресурса используемых.

Для рассматриваемой конструкции клинового соединения с учетом внешних воздействий получено решение статической задачи, после чего добавляется модуль расчета усталостной прочности.



1 – деталь «Втулка»; 2 – деталь «Клин»; 3 – деталь «Хвостовик»

Рис.8. График зависимости коэффициентов запаса прочности деталей «Втулка», «Клин» и «Хвостовик» при изменении тяговой силы



ISSN: 2500-4212. Свидетельство о регистрации СМИ: Эл № ФС 77 - 67083 от 15.09.2016
Научное обозрение. Раздел I. Научные исследования. 2019. № 1. ID 159

Эпюры распределения параметра «Life», возникающие в деталях клинового соединения, приведены на рисунке 9.

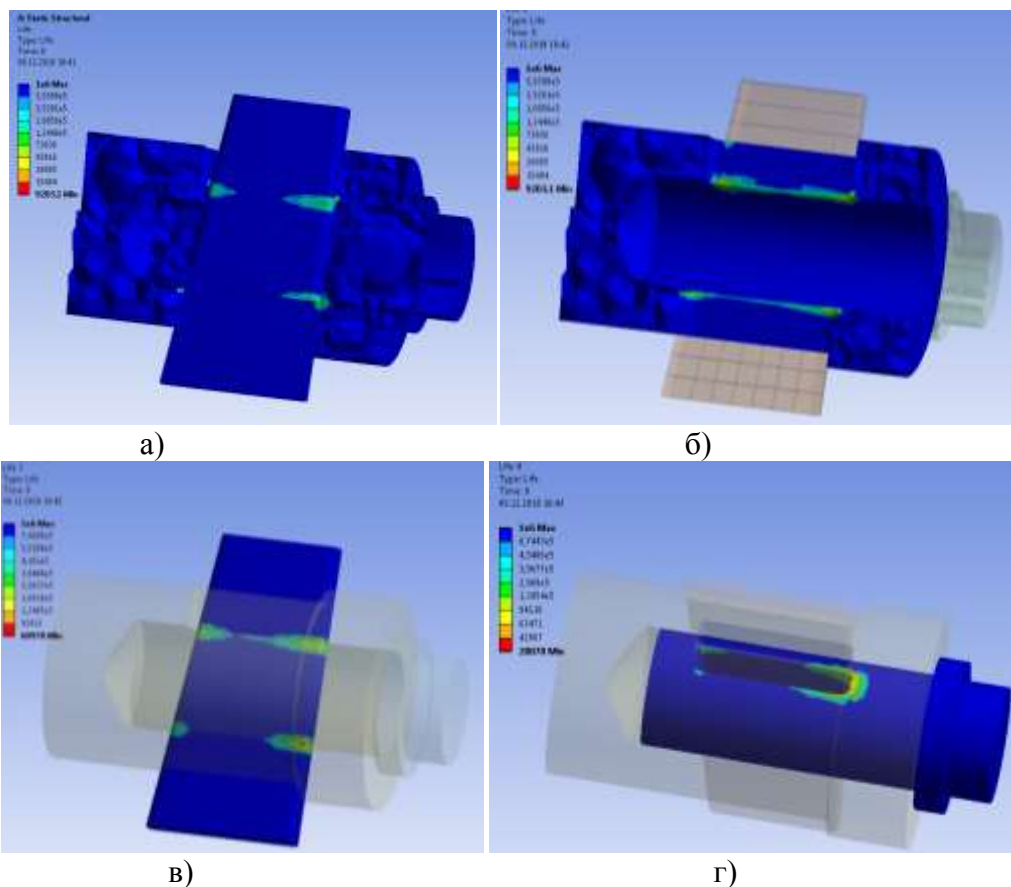


Рис.9.Эпюры распределения параметра «Life» возникающие в деталях (а) клинового соединения: «Втулка»(б), «Клин» (в) «Хвостовик» (г)

Для исследования усталостной прочности деталей клинового соединения, при приложении рабочего диапазона нагрузок, с использованием программного комплекса ANSYS@Mechanical разработанная выше конечно-элементная модель исследуется со следующими параметрами: тяговые силы изменяются в диапазоне от 500кН до 1000кН.

Результаты исследования количества циклов, выдерживаемых деталями клинового соединения (параметр «StressLife») при изменении тяговой силы от 500кН до 1000кН, приведены в таблице 5.



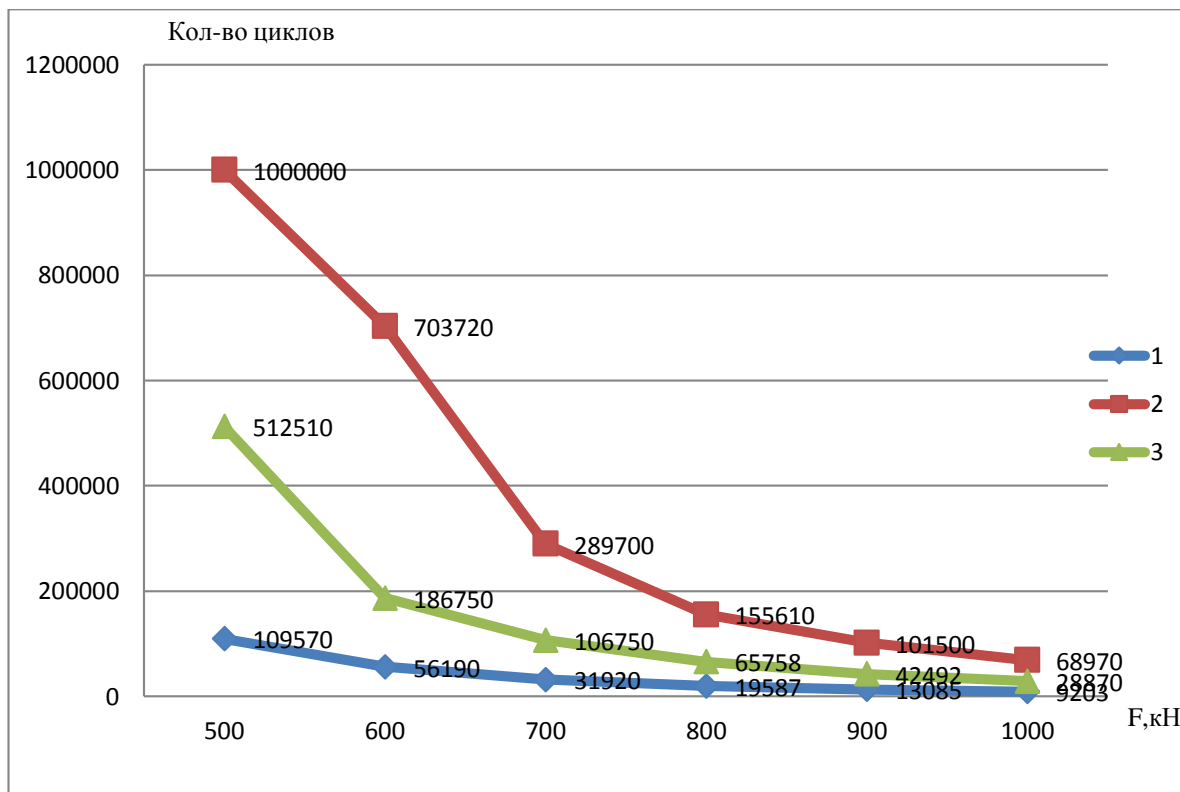
ISSN: 2500-4212. Свидетельство о регистрации СМИ: Эл № ФС 77 - 67083 от 15.09.2016

Научное обозрение. Раздел I. Научные исследования. 2019. № 1. ID 159

Таблица 5. Количество циклов, выдерживаемых деталями клинового соединения (параметр «StressLife») при изменении тяговой силы от 500кН до 1000кН

Тяговая сила, кН	500	600	700	800	900	1000
Количество циклов детали «Втулка», шт	109570	56190	31920	19587	13085	9203
Количество циклов детали «Клин», шт	1000000	703720	289700	155610	101500	68970
Количество циклов детали «Хвостовик», шт	512510	186750	106750	65758	42492	28870

На рисунке 10 приведен график зависимости количества выдерживаемых циклов деталями клинового соединения (параметр «Stress Life») при изменении тяговой силы от 500кН до 1000кН.



1 – деталь «Втулка»; 2 – деталь «Клин»; 3 – деталь «Хвостовик»

Рис.10. График зависимости количества выдерживаемых циклов деталями клинового соединения (параметр «StressLife») при изменении тяговой силы от 500кН до 1000кН

Полученные графики зависимостей количества выдерживаемых циклов деталями клинового соединения (параметр «StressLife») при изменении тяговой силы от 500кН до 1000кН следует использовать при



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

Научное обозрение. Раздел I. Научные исследования. 2019. № 1. ID 159

поверочном расчете вновь создаваемых клиновых соединений и уточнении ресурса используемых.

Список использованных источников

1. Основы работы в ANSYS 17 / Н. Н. Федорова, С. А. Вальгер, М. Н. Данилов, Ю. В. Захарова. М.: ДМК Пресс, 2017. 210 с.
2. Иванов Д.В., Доль А.В. Введение в AnsysWorkbench: учеб.-метод. пособие для студентов естественно-научных дисциплин. Саратов:Амирит, 2016. – 56 с.



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

Научное обозрение. Раздел I. Научные исследования. 2019. № 1. ID 159

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

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

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

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

DEVELOPMENT AND RESEARCH OF FINITE ELEMENT MODELS OF DIFFERENT CONNECTION TYPES USING “ANSYS®MECHANICAL” TO DETERMINE THEIR STRENGTH AND FATIGUE STRENGTH CHARACTERISTICS

The article deals with the development and research of finite element models of various types of compounds using "ANSYS®MECHANICAL". The purpose of the research is to determine the strength characteristics and fatigue strength. 3D format (.stp) compounds geometrical models are imported into ANSYS®Mechanical calculation system for static analysis. The material properties are assigned to the details of the studied models.*

The nodes and elements that are generated in the models form a finite element grid. Contact interactions are defined. Fixing and loading of models which are as approximate close as possible to physically carried out experiments are set. To determine the connection parts fatigue strength, the calculation module is connected to the project.



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

Научное обозрение. Раздел I. Научные исследования. 2019. № 1. ID 159

The developed finite-element models of compounds can be used to determine the characteristics and fatigue strength in the verification calculation of newly created compounds and resource refinement of already used compounds.

Keywords: finite element model, ANSYS®Mechanical calculation system, fatigue strength calculation module.

© АНО СНОЛД «Партнёр», 2019

© Ванюхин С. М., 2019

© Ломакин С. Н., 2019

© Гришин А. И., 2019

© Шурыгин А. Ю., 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



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 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. 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) и не требует посещения офиса.