

Библиографические ссылки

1. Кудрявцев В. Н., Кирдяшев Ю. Н. Планетарные передачи : справочник. – М. : Машиностроение, 1977. – 535 с.
2. Конструктивные исполнения планетарно-цевочных редукторов для высокоточных следящих приводов / А. С. Иванов, М. М. Ермолаев, Д. Э. Крикунов, А. А. Мирошник, С. К. Руднев, А. В. Чиркин // Вестник машиностроения. – 2013. – № 3. – С. 9–11.
3. Тимофеев Г. А., Самойлова М. В. Геометро-кинематическое исследование комбинированного планетарно-

- волнового механизма // Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана. Машиностроение. – 2012. – № 1. – С. 70–80.
4. Лопатин Б. А., Подуэктов Е. А., Хаустов С. А. Формирование внутреннего приближенного зацепления цилиндро-конических передач // Вестник ЮУрГУ. – 2011. – № 17. – С. 39–48. – Серия «Машиностроение».
5. Пат. 2475662, РФ, МПК F16H 1/32. Планетарная передача / Плеханов Ф. И., Перминов Л. П. – Оpubл. 20.02.2013, Бюл. № 5.
6. Плеханов Ф. И. Влияние геометрии зацепления колес планетарной передачи типа *K-H-V* на показатели ее прочности // Вестник машиностроения. – 2013. – № 3. – С. 16–20.

L. P. Perminov, Post-graduate, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

Influence of Wheel Tooth Deformability on Load Capacity of *K-H-V* Type Planetary Gear

The paper studies tooth stiffness of a planetary gear and its influence on load capacity of the mechanism. Tooth stiffness was studied by FEM, while load distribution across the mesh was determined according to compatibility equations for tooth deflection. Results of this research allow performing the load capacity analysis with higher precision.

Key words: planetary gear, gear tooth deformability and strength, load capacity.

УДК 62-762:539.37

К. Н. Смирнов, аспирант, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова
А. В. Щенятский, доктор технических наук, профессор, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

РЕШЕНИЕ УПРУГОПЛАСТИЧЕСКОЙ ЗАДАЧИ ОБ НДС И НС В ПРЕССОВОМ ПОЛИСЛОЙНОМ СОЕДИНЕНИИ С ВОЛОКНИСТЫМ ПРОМЕЖУТОЧНЫМ ЭЛЕМЕНТОМ

Кратко раскрыта проблема соприкосновения тел в многослойных соединениях с натягом, имеющих дискретную область контакта; затронуты проблемы контактного сопряжения деталей цилиндрической формы; представлены результаты о распределении максимальных напряжений зоны соприкосновения двух тел; приведен пример НДС из результатов вычислительных экспериментов аппаратом МКЭ, научные результаты и рекомендации при проектировании технических систем.

Ключевые слова: соединение с натягом, соприкосновение двух и более тел, напряженно-деформированное состояние соединения с натягом.

В конструкциях современных машин и механизмов встречаются соединения, сопряжения которых друг с другом составляют соприкосновение двух цилиндрических тел. Одним из множества подобных соединений является заделка геофизического грузонесущего бронированного кабеля в кабельный каротажный наконечник, научный подход к исследованию нагрузочной способности которого предложен в работе [1] посредством идеализации сложной конструкции. Контактные сопряжения волокно – вал и волокно – втулка составляют задачу Герца о соприкосновении двух тел [2, 3, 4]. Рассматриваемый же сегмент идеализированного соединения может быть частично решен способом, изложенным в работе [3] как негерцевская задача соприкосновения трех и более цилиндров. Применение метода конечных элементов устраняет сложности при изучении симметричных и несимметричных многослойных соединений с натягом, имеющих дис-

кретный контакт в области сопряжений в радиальном, окружном и продольном направлениях.

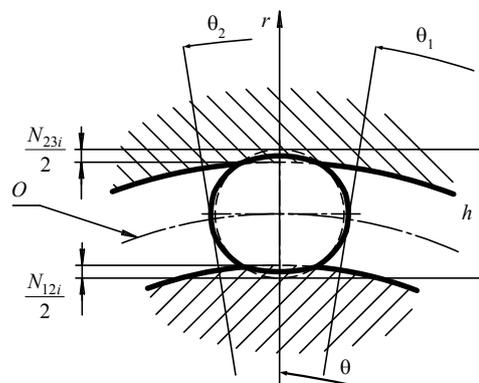


Рис. 1. Сегмент осесимметричного поперечного сечения многослойного соединения с натягом и волокнистым промежуточным элементом

Анализ сегмента идеализированного соединения с натягом при дискретной контактной поверхности (рис. 1) и способов определения его напряженно-деформированного состояния показал, что решение задачи Герца (рис. 2) о соприкосновении двух тел в аналитическом [4, 5] и численном [2, 5] видах проводится только как прямая задача и совершенно не затронута обратная, а также отсутствуют расчеты на нагрузочную способность области сопряжения. Порядок решения обратных задач приведен в работе [6], когда необходимо вычислить нагрузку, действующую на объект при известных перемещениях. В работах [3, 5, 6] в аналитическом виде определены напряжения в соприкасающихся двух телах, где касательные напряжения вычисляются по формуле [3]

$$\tau = \rho_0 a \left[z - z^2 (a^2 + z^2)^{-1/2} \right]. \quad (1)$$

Из формулы (1) следует, что максимальные касательные напряжения возникают внутри деталей на расстоянии, приблизительно равном половине радиуса площадки контакта [5] или при $z = 0,78a$ [3]. Эта точка является самой опасной для пластичных материалов. При высоких напряжениях необходимо рассматривать механику контактного разрушения [5].

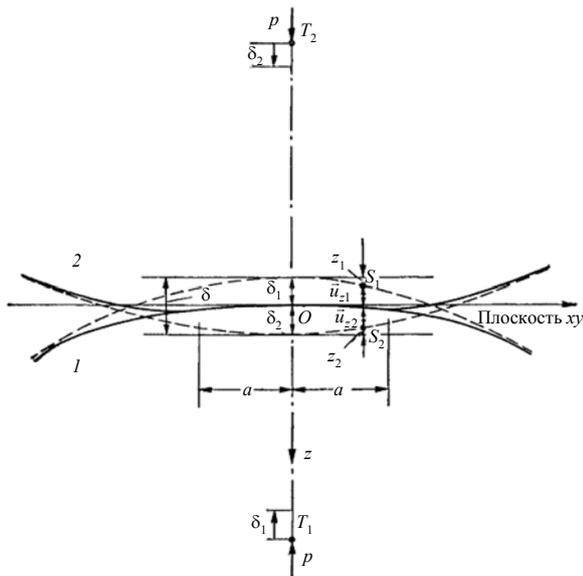


Рис. 2. Контакт двух цилиндров

Важным при исследовании НС и НДС прессового полисоединения с волокнистым промежуточным элементом становится знание распределения напряжений в зонах контакта при взаимодействии нескольких цилиндрических тел, имеющих согласованную и противоположную форму. Предложенная методика определения НС и НДС аппаратом МКЭ [7] основана на поиске решения системы лагранжевых уравнений контактных зон:

$$\left\{ \begin{aligned} K_{(1)} \{ X_{(1)} \} &= \{ F_{(1)} \} \\ K_{(2)} \{ X_{(2)} \} &= \{ F_{(2)} \} \end{aligned} \right\}. \quad (2)$$

Решение системы (2) возможно при известной величине натягов и условии равновесия системы. Само решение производится итерационным методом Ньютона – Рафсона. Итерации будут прекращены, когда разность между двумя последовательными итерациями удовлетворяет заданной точности

$$\xi \geq \begin{cases} \frac{|\delta_{k+1}^{(1)} - \delta_k^{(1)}|}{|\delta_{k+1}^{(1)}|}, \\ \frac{|\delta_{k+1}^{(2)} - \delta_k^{(2)}|}{|\delta_{k+1}^{(2)}|}, \end{cases} \quad (3)$$

где δ – невязка перемещений в узлах соответствующего контакта.

Метод свободных перемещений позволяет использовать итерационный алгоритм повторно для уравнивания деталей между собой. Итерации проводятся до достижения точности для сегмента, симметричного ППС:

$$\xi_p \geq \frac{\left| \left(\sum_i F_{i3} \right)_{k+1} - \left(\sum_i F_{i3} \right)_k \right|}{\left| \left(\sum_i F_{i3} \right)_{k+1} \right|}. \quad (4)$$

В результате применения численных методов и составления программ (ANSYS APDL) исследования получили адекватную модель контактного взаимодействия соприкасаемых цилиндрических тел. НДС и условием трения в зоне сопряжения однозначно определяется нагрузочная способность для данных сопряжений. Подробный анализ напряжений, на наш взгляд, позволяет определить НС с высокой точностью для различных конструктивных исполнений и, следовательно, для других условий. Распределение напряжений (рис. 3) подтверждают аналитические решения задачи Герца и получаемые кольца по методу фотоупругости [3]. Высокие значения напряжений зоны контакта также объясняются в литературе, изучающей механику контактных взаимодействий [8, 9, 10]. Материалы способны выдержать контактные напряжения в несколько раз выше предела прочности при простом сжатии [8] в результате возникновения сжимающих напряжений в зоне контактного взаимодействия. Для некоторых сталей контактные напряжения достигают 3000–4000 МПа при пределе прочности 500–800 МПа.

Для более точного изучения НС и НДС исследовались краевые эффекты при трехмерной постановке исследования (рис. 4). Значения напряжений на краях соединения зависят от конструкции, которая может приводить в разных случаях к снижению контактных давлений, увеличению контактных давлений или изменению (сглаживанию) максимума контактных давлений от края сборки [3].

Следовательно, численный аппарат МКЭ адекватно применим для исследования и проектирования

технических систем как многослойного соединения с натягом, обладающим дискретной областью контакта в радиальном, осевом и продольном направлениях. Для минимизации вычислительных средств

и времени практически использовать упрощенные схемы соединений. Результаты распределений напряжений подтверждают аналитические исследования негерцевских задач [3].

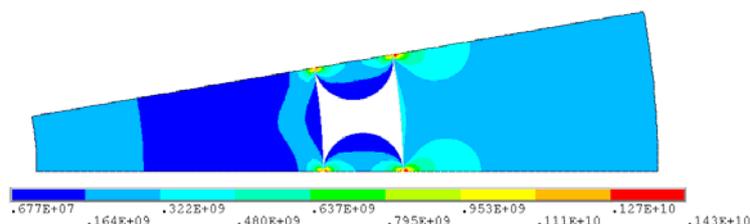


Рис. 3. Распределение эквивалентных напряжений в симметричном прессовом многослойном соединении с волокнистым промежуточным элементом, Па

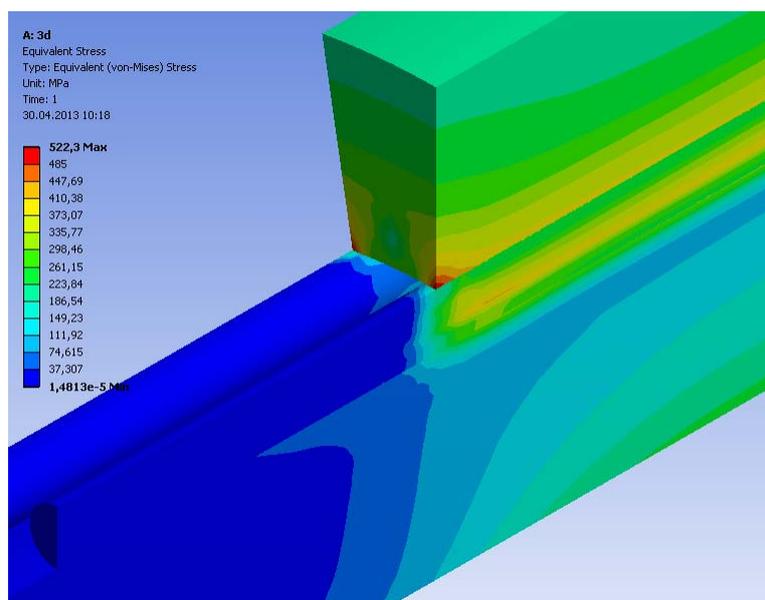


Рис. 4. Распределение эквивалентных напряжений в симметричном прессовом многослойном соединении с волокнистым промежуточным элементом при изучении краевых эффектов, МПа

Полученные значения в результате исследования негерцевской задачи соприкосновения двух тел позволяют определять нагрузочную способность конструкции прессового полислоистого соединения с волокнистым промежуточным элементом. Нагрузочная способность может быть вычислена для каждой из зон, тем самым учитывается краевой эффект для трехмерной постановки исследования. При расчетах следует учитывать количество симметричных сегментов и краевые эффекты, определяющие изменение напряжений, а также возможное взаимодействие волокнистых элементов между собой.

Библиографические ссылки

1. Галикеев И. А., Смирнов К. Н., Щенятский А. В. Анализ напряженно-деформированного состояния и нагрузочной способности идеализированного прессового полислоистого соединения с волокнистым промежуточным элементом численными методами. // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2012. – № 12.
2. Басов К. А. ANSYS. Справочник пользователя. – М. : ДМК Пресс, 2005. – 640 с. – ISBN 5-94074-108-8.

3. Джонсон К. Механика контактного взаимодействия : пер. с англ. – М. : Мир, 1989. – 510 с.
4. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Теоретическая физика. В 10 т. – Т. VII. Теория упругости : учеб. пособие. – 4-е изд., испр. и доп. – М. : Наука, 1987. – 248 с.
5. Аргатов И. И., Дмитриев Н. Н. Основы теории упругого дискретного контакта : учеб. пособие. – СПб. : Политехника, 2003. – 233 с.
6. Белоус П. А. Осесимметричные задачи теории упругости. – Одесса : ОГПУ, 2000. – 183 с.
7. Смирнов К. Н., Щенятский А. В. Определение НДС идеального прессового полислоистого соединения с продольным волокнистым промежуточным элементом численными методами // Вестник ИжГТУ. – 2012. – № 1. – С. 7–10.
8. Концентрация напряжений и контактные напряжения. Лекция 21 [Электронный ресурс]. – Уфа, 2013. – URL: <http://www.soprotmat.ru/concentrate.htm>.
9. Менькова Н. М. Применение контактной задачи теории упругости в прикладной механике : Общий обзор. [Электронный ресурс]. – М., 2012. – URL: <http://menkova.ru/Contact.pdf>.
10. Попов В. Л. Механика контактного взаимодействия и физика трения. – М. : Физматлит, 2012. – 348 с. – ISBN 978-5-9221-1443-1.

K. N. Smirnov, Post-graduate, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

A. V. Schenyatskiy, DSc in Engineering, Professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

Solution of Elastic-Plastic Problem for Stress-Strain State and Load Capacity in the Pressure Multilayer Coupling with Fiber Intermediate Element

The article briefly reveals a problem of body contact in multilayer pressure couplings with a discrete area of contact. The problems of contact connection of cylindrical parts are discussed. The results of distribution of maximum stress zone of contact between two bodies are given. The example of the stress-strain state for the results of numerical experiments by FEM is shown, research results and recommendations for the design of technical systems are given.

Key words: pressure coupling, juxtaposition of two or more bodies, stress-strain state of pressure coupling.

УДК 351.82

Б. А. Якимович, доктор технических наук, профессор, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

С. А. Писарев, доктор технических наук, кандидат экономических наук, профессор, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

Р. Р. Фархетдинов, аспирант, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

О ЦЕЛЯХ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ РАЗВИТИЕ СТРЕЛКОВОЙ ОТРАСЛИ СТРАНЫ

Изложен системный подход к формированию целей, обеспечивающих развитие стрелковой отрасли страны с учетом специфики государственного управления процессом создания современного стрелкового оружия.

Ключевые слова: система, системный подход, цель, боевое стрелковое оружие, политика, управление, функция, структура, модель.

В настоящее время многие проблемы в развитии страны и регионов, в частности, оружейных промышленных предприятий, образовательных учебных заведений, связаны с противоречиями в системе «цель – средство достижения цели». Из теории систем известно, что обычно цель направлена на достижение желаемых параметров систем различного назначения, например, конкурентоспособных образцов боевого стрелкового оружия. Но для того чтобы создать конкурентоспособное оружие в современных условиях и обеспечить достойные условия труда его разработчикам, необходимо сформировать полноценную исполнительную систему – систему создания конкурентоспособного боевого стрелкового оружия (ССБСО) РФ, функциональными блоками которой являются целый ряд подсистем, например, подсистемы (системы) создания боевого стрелкового оружия, расположенные на территории регионов, – Удмуртской Республики, Тульской области и т. д. Оружейные промышленные предприятия, которые непосредственно разрабатывают и производят стрелковое оружие, также должны иметь полноценную производственную структуру и ресурсы, способные обеспечить достижение конечной цели.

На рис. 1 приведена схема, которая показывает, что если поставить цель – создание конкурентоспособного боевого стрелкового оружия, то основным средством ее достижения должна являться эффективно функционирующая и целенаправленно развивающаяся система создания боевого стрелкового оружия РФ, которая должна иметь полноценные функции, состав, структуру, ресурсное обеспечение

и управление, адекватное требованиям конкурентоспособного развития стрелковой отрасли страны. В дальнейшем систему создания боевого стрелкового оружия РФ будем обозначать в сокращенном виде как ССБСО РФ.



Рис. 1. Схема, поясняющая целевую направленность системы создания стрелкового оружия

Если поставить цель, направленную на формирование эффективной системы создания боевого стрелкового оружия РФ, то средством ее достижения будет государственная политика РФ по обеспечению конкурентоспособного развития системы создания боевого стрелкового оружия РФ (рис. 2). То есть на определенном временном интервале средство достижения цели «превратилось» в цель.

Для того чтобы разработать государственную политику РФ по развитию стрелковой отрасли страны, адекватную вызовам времени, необходимо сформировать на уровне РФ систему государственного управления развитием стрелковой отрасли, то есть системой создания боевого стрелкового оружия (рис. 3). На этом уровне управления средство достижения цели вновь трансформировалось в цель.