

УДК 621.83.06, 621.9.08

А. В. КАПИТОНОВ, канд. техн. наук, доц.

Б. С. ЮРКЕВИЧ

С. С. БОЧКАРЕВ

А. Ш. КУРБАНАЗАРОВ

Белорусско-Российский университет (Могилев, Беларусь)

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УПРУГИХ ДЕФОРМАЦИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СПОСОБОВ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ С БЕГОВЫМИ ДОРОЖКАМИ

Аннотация

Разработана методика компьютерного моделирования погрешностей обработки многопериодных дорожек планетарных шариковых и роликовых передач. Получены эпюры напряженно-деформированного состояния обрабатываемого инструмента и деталей с многопериодными дорожками с результатами перемещений, напряжений и деформаций материала. Получены численные значения перемещений при упругих деформациях объектов моделирования под действием заданных сил резания. Установлено, что для данного типа передач, проектируемых с высокой точностью, необходимо выполнять отделочные операции обработки многопериодных дорожек. Проведенные исследования позволяют прогнозировать точность изготовления деталей с многопериодными беговыми дорожками для планетарных шариковых и роликовых передач.

Ключевые слова:

многопериодные беговые дорожки, упругие деформации, компьютерное моделирование.

Исследования, проведенные в [1–4], показали, что значительную долю суммарной погрешности обработки беговых дорожек планетарных шариковых и роликовых передач составляют упругие деформации технологической системы. Так, погрешности от влияния упругих деформаций станка и станочного приспособления можно рассчитать по [5]. Погрешности, возникающие вследствие упругих деформаций обрабатываемого инструмента и деталей с беговыми дорожками ввиду их сложной геометрии, наиболее точно можно определить, используя методы конечных элементов. Для этого использовались технологии компьютерного 3D-моделирования в программной среде SolidWorks со встроенными модулями CAD/CAE, позволяющими создавать трехмерные твердотельные модели и проводить статический анализ напряжений и перемещений.

Построены 3D-CAD-модели режущего инструмента – фрез, которые используются для обработки беговых дорожек и модели деталей с беговыми дорожками. На рис. 1 показаны модели концевых фрез для черновой и чистовой обработки открытых и закрытых многопериодных беговых дорожек планетарных шариковых и роликовых передач.

Фреза диаметром 15 мм используется для обработки колес с открытыми беговыми дорожками с числом периодов $z_2 = 6$. Фреза диаметром 8 мм используется для обработки дисков с закрытыми беговыми дорожками с числом периодов $z_2 = 10$.

На рис. 2 показаны 3D-CAD-модели деталей с многопериодными беговыми дорожками.

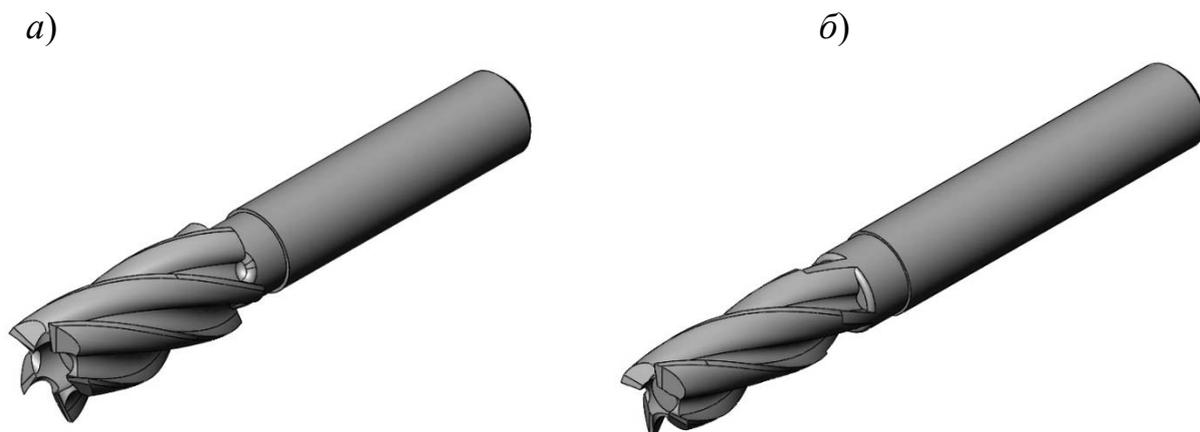


Рис. 1. Модели концевых фрез для черновой и чистовой обработки открытых и закрытых многопериодных беговых дорожек: *a* – концевая фреза диаметром 15 мм; *б* – концевая фреза диаметром 8 мм



Рис. 2. Модели деталей с многопериодными беговыми дорожками: *a* – колесо с открытой многопериодной беговой дорожкой; *б* – диск с закрытой многопериодной беговой дорожкой

На рис. 2, *a* показано колесо с открытой внутренней поверхностью беговой дорожки с числом периодов $z_2 = 6$. На рис. 2, *б* показан диск с закрытой беговой дорожкой, выполненной на торце, с числом периодов $z_2 = 10$. По беговым дорожкам могут перемещаться как шариковые, так и роликовые сателлиты.

В расчетном модуле SolidWorks Simulation (CAE) проведен статический анализ напряженно-деформированного состояния моделей, представленных на рис. 1 и 2. Инструмент и детали с многопериодными дорожками нагружались силами резания, соответствующими виду чистовой обработки. Задавался материал моделей – инструментальная и легированная сталь, его физические свойства, крепление, силы резания, сетка и все необходимые параметры для расчета в модуле методом конечных элементов. Силы резания рассчитывались в

соответствии с известными методиками [5] и разработанной технологией изготовления деталей с беговыми дорожками.

На рис. 3 показаны модели инструмента – концевых фрез с заданными параметрами крепления, сил резания и сетки для статического анализа.

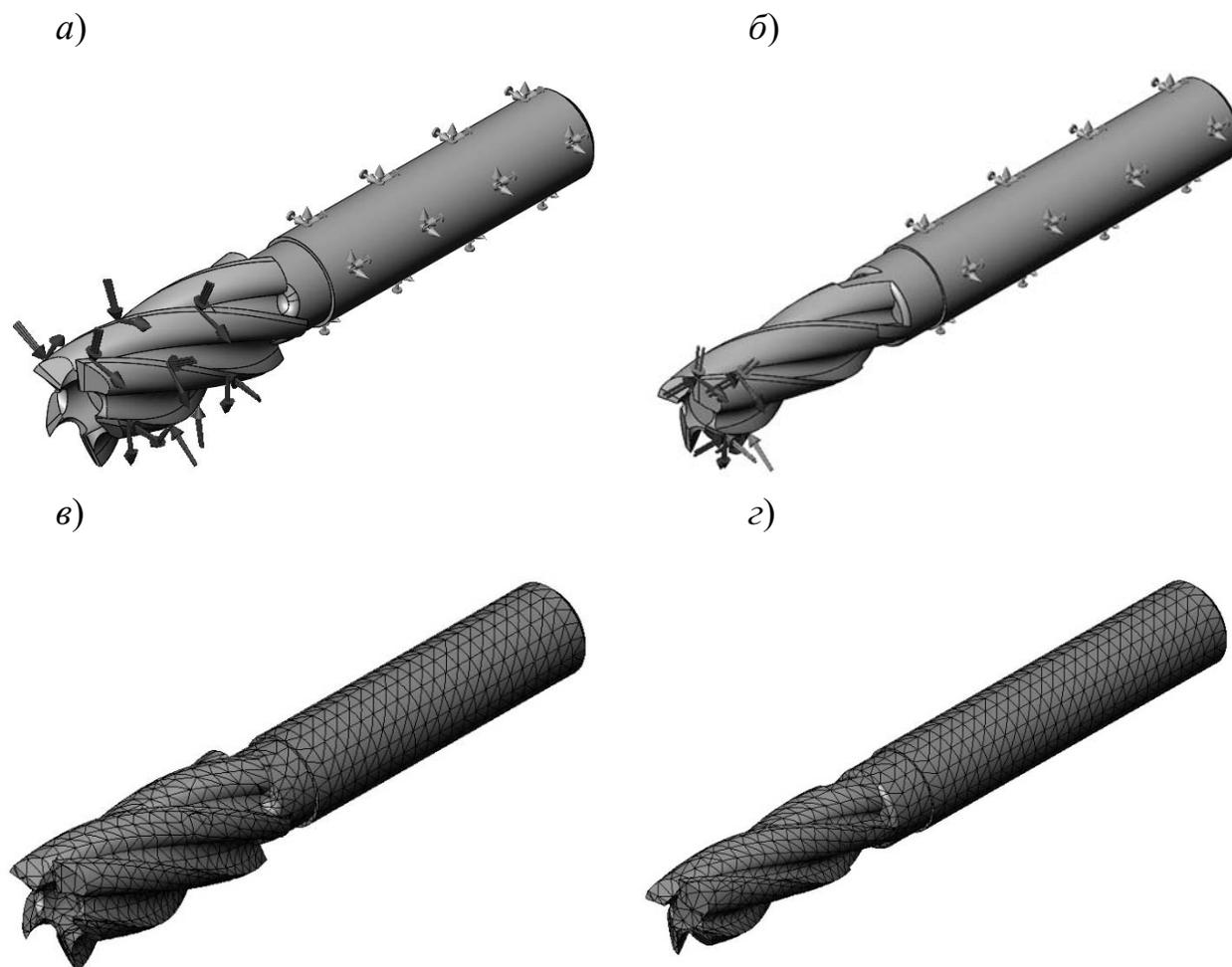


Рис. 3. Модели концевых фрез с заданными параметрами крепления, сил резания и сетки: *а* – фреза диаметром 15 мм с заданным креплением и силами резания; *б* – фреза диаметром 8 мм с заданным креплением и силами резания; *в* – фреза диаметром 15 мм с заданной сеткой; *г* – фреза диаметром 8 мм с заданной сеткой

На рис. 4 показаны результаты моделирования напряженно-деформированного состояния фрезы диаметром 15 мм при нагружении силами резания: эпюра перемещения.

Также получены эпюры напряжений и деформаций. Аналогичные эпюры получены для концевых фрез диаметром 8 мм. Напряжения не превышают предела текучести материала.

На рис. 5 показаны модели деталей с многопериодными дорожками с заданными параметрами крепления, сил резания и сетки для статического анализа.

На рис. 6 показаны результаты моделирования напряженно-деформированного состояния деталей с многопериодными дорожками при нагружении их силами резания: эпюры перемещения.

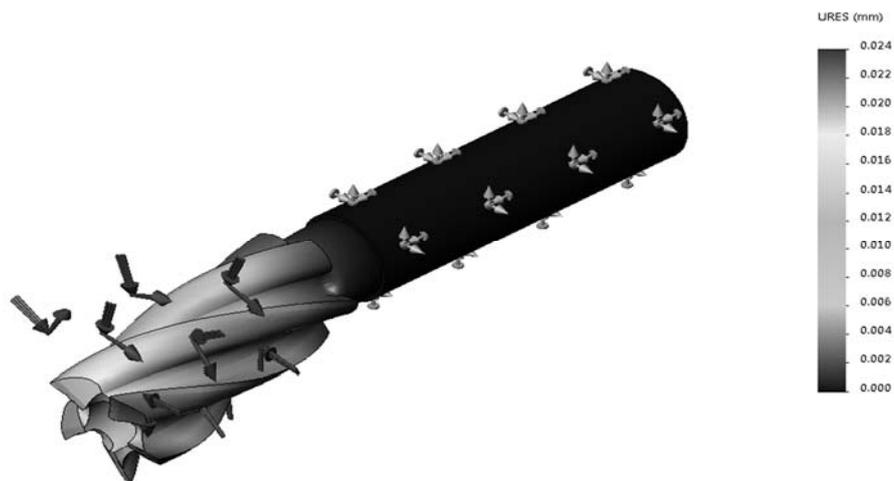


Рис. 4. Эпюра перемещения фрезы диаметром 15 мм

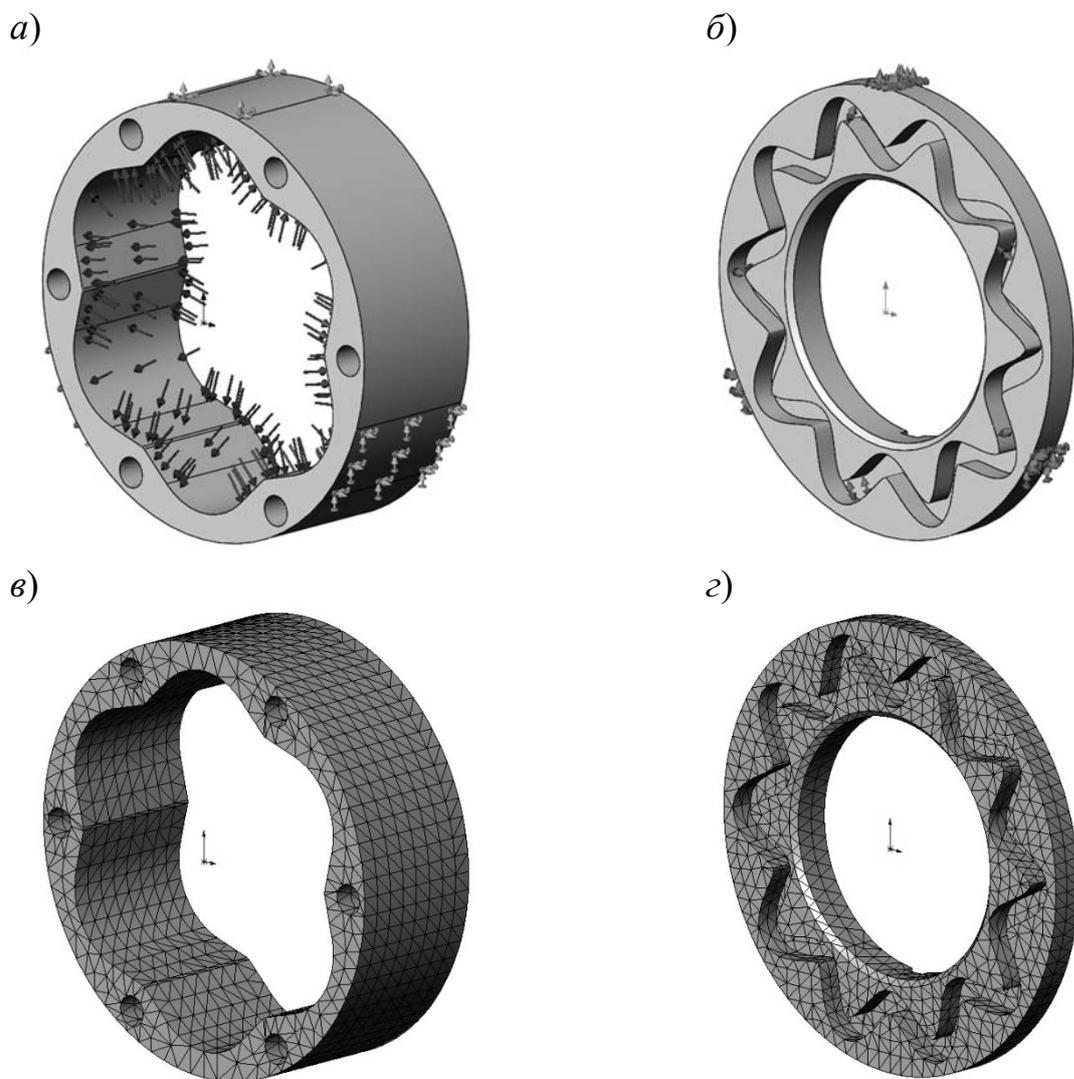


Рис. 5. Модели деталей с многопериодными дорожками с заданными параметрами крепления, сил резания и сетки: *а* – колесо с многопериодной дорожкой; *б* – диск с многопериодной дорожкой; *в* – колесо с заданной сеткой; *г* – диск с заданной сеткой

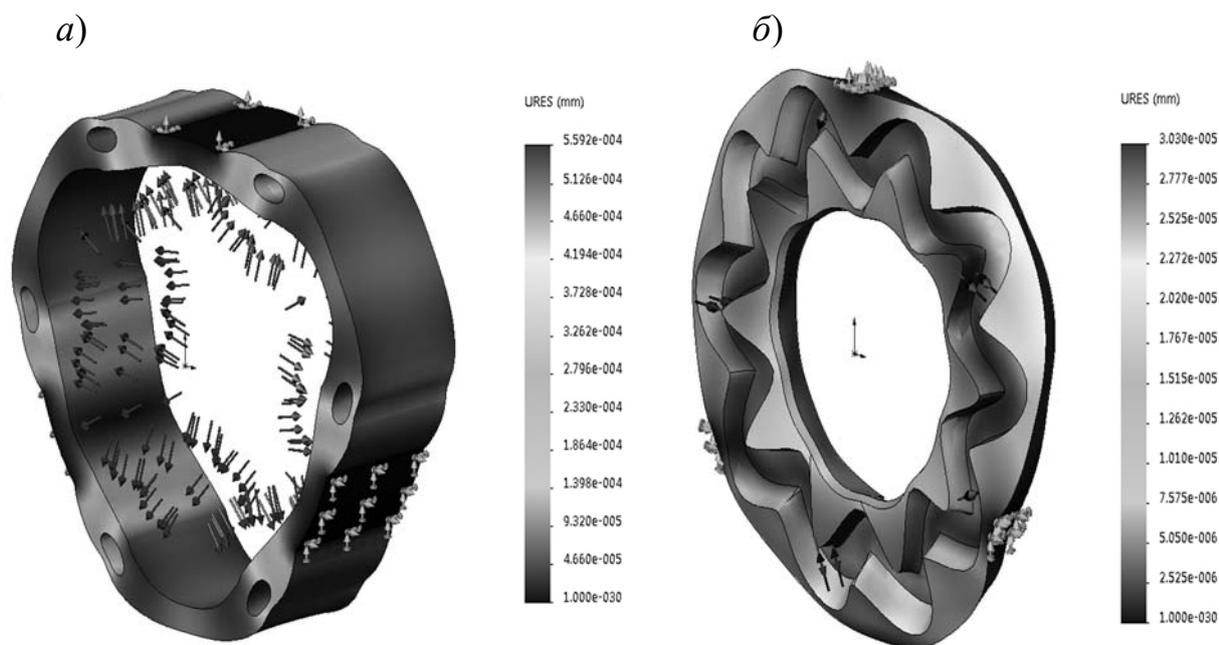


Рис. 6. Результаты моделирования напряженно-деформированного состояния деталей с многопериодными дорожками: *а* – эпюра перемещений колеса; *б* – эпюра перемещений диска

Выводы. В результате проведенных исследований разработана методика компьютерного моделирования погрешностей, которые могут возникать при обработке многопериодных дорожек планетарных шариковых и роликовых передач. Получены эпюры напряженно-деформированного состояния обрабатывающего инструмента и деталей с многопериодными дорожками с результатами перемещений, напряжений и деформаций материала. Проведенные исследования позволяют сделать вывод, что упругие деформации (перемещение материала заготовки) при заданных силах резания чистовой обработки для деталей с многопериодными дорожками незначительны и не превышают 0,0006 мм. Упругие перемещения обрабатывающего инструмента под действием сил резания составляют 0,024 мм и более для фрез меньшего диаметра, что, например, при диаметре многопериодной беговой дорожки 105 мм соответствует 7-му качеству точности. Так как на точность обработки деталей с многопериодными дорожками влияют и другие известные погрешности, кроме упругих деформаций, а также термическая обработка дорожек, то в процессе изготовления точность расположения дорожки относительно ее номинального положения может уменьшаться на 1–3 качества, что соответствует средней точности изготовления и приведет к уменьшению кинематической точности шариковых и роликовых передач. Поэтому для данного типа передач, проектируемых с высокой точностью, необходимо выполнять отделочные операции обработки многопериодных дорожек. Проведенные исследования позволяют прогнозировать точность изготовления деталей с многопериодными беговыми дорожками для планетарных шариковых и роликовых передач.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Планетарные кулачково-плунжерные передачи. Проектирование, контроль и диагностика / М. Ф. Пашкевич [и др.]. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2003. – 221 с.
2. Капитонов, А. В. Метод расчета параметров точности изготовления колес с многопериодными дорожками планетарных шариковых передач / А. В. Капитонов, Р. Г. Якубовский // Вестн. Витебского гос. технол. ун-та. – 2022. – № 1 (42). – С. 43–52.
3. Капитонов, А. В. Разработка показателей для контроля точности изготовления многопериодных дорожек планетарных передач с телами качения / А. В. Капитонов // Актуальные вопросы машиноведения: сб. науч. тр. – Минск: ОИМ НАН Беларуси, 2021. – Вып. 10. – С. 7–12.
4. Капитонов, А. В. Точность и контроль малогабаритных планетарных механизмов: монография / А. В. Капитонов. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2021. – 160 с.
5. Справочник технолога-машиностроителя: в 2 т. / Под ред. А. Г. Косиловой, Р. К. Мещеракова. – 4-е изд., перераб. и доп. – Москва: Машиностроение, 1986. – Т. 1. – 656 с.

Контакты:

kavbru@gmail.com (Капитонов Александр Валентинович);
 yurkevich@mail.ru (Юркевич Борис Сергеевич);
 bochkarev@mail.ru (Бочкарев Станислав Сергеевич);
 kurbannazarov@mail.ru (Курбанназаров Абдыресул Шохратович).

A. V. KAPITONOV, B. S. YURKEVICH, S. S. BOCHKAREV, A. S. KURBANNAZAROV

COMPUTER MODELING OF ELASTIC DEFORMATIONS IN THE DESIGN OF METHODS FOR PROCESSING PARTS WITH TREADMILLS

Abstract

The technique of computer modeling of errors processing of multi-period tracks of planetary ball and roller gears has been developed. Diagrams of the stress-strain state of the machining tool and parts with multi-period tracks with the results of displacements, stresses and deformations of the material are obtained. Numerical values of displacements under elastic deformations of modeling objects under the action of specified cutting forces are obtained. It is established that for this type of transmission, designed with high accuracy, it is necessary to perform finishing operations for processing multi-period tracks. The conducted research makes it possible to predict the accuracy of manufacturing parts with multi-period treadmills for planetary ball and roller gears.

Keywords:

multi-period treadmills, elastic deformations, computer modeling.