

Математическое моделирование при расчетах на прочность с учётом упрочнения рабочих поверхностей зубьев микромеханических прецизионных приводов космических аппаратов

Кудрявцев Илья Владимирович
ПИ СФУ (Красноярск), Россия
e-mail: kudrilya@rambler.ru

Халиманович Владимир Иванович
ОАО "Информационные спутниковые системы"им. М.Ф. Решетнева"(Железногорск), Россия

Леканов Анатолий Васильевич
ОАО "Информационные спутниковые системы"им. М.Ф. Решетнева"(Железногорск), Россия

Масанов Андрей Глебович
ОАО "Информационные спутниковые системы"им. М.Ф. Решетнева"(Железногорск), Россия

Сильченко Петр Никифорович
ФГАОУ ВПО "Сибирский федеральный университет"(Красноярск), Россия

Новиков Евгений Сергеевич
ФГАОУ ВПО "Сибирский федеральный университет"(Красноярск), Россия

Аннотация

Работа выполнена при поддержке гранта ФЦП ГК № 14.513.11.0118, лот 4 «Разработка устройств исполнительной прецизионной автоматики авиакосмических аппаратов на основе нано- и микро-электромеханических систем»

Для улучшения прочностных характеристик сопрягаемых рабочих поверхностей зубьев мелко модульных зубчатых передач ответственных деталей микромеханических прецизионных приводов космических аппаратов (КА) применяется насыщение взаимодействующих поверхностей наномодификаторами с необходимыми физико-химическими свойствами [1,2]. На рабочих поверхностях зубьев мелко модульных зубчатых колёс микромеханических

прецизионных приводов КА необходимо и достаточно образование тонкого (до 20 мкм) поверхностного наномодифицированного слоя с более высокими физико-механическими и прочностными характеристиками, изменяющимися в объёме от поверхности к сердцевине зуба [3].

Необходима разработка проектно-конструкторских методов обеспечения создания ответственных деталей прецизионных передаточных механизмов микро-электромеханических систем космических аппаратов с обоснованием получения требуемых характеристик наномодифицированного поверхностного слоя зубьев и соответствующие математические модели, которые учитывают функциональные изменения физико-механических свойств

от поверхности, имеющей более высокие прочностные характеристики в глубину зуба к сердцевине (до 20 мкм).

Прочностные характеристики материала зубьев по мере удаления от поверхности могут изменяться не скачкообразно, а по определенному закону. Учёт изменений физико-механических свойств материала зуба от его поверхности к сердцевине в мелкозубчатых передачах, выполнялся с использованием численных методов моделирования.

Геометрическое 3D моделирование формы зубьев и колёс мелкозубчатых передач в целом с применением конечно-элементных пакетов Ansys и Nastran представляет определенные сложности, которые можно преодолеть путем импортирования готовых моделей из специализированных САПР-программ. Но, при этом сложной является задача дискретизации полученной 3D геометрии на объёмные (Solid) конечные элементы (КЭ) с учетом изменения прочностных свойств тонкого слоя у поверхности зуба, так как размер наномодифицированного слоя около 20 мкм и, следовательно, потребуется очень мелкая сетка КЭ.

Для сохранения точности вычислений размеры КЭ должны быть сопоставимы по всем направлениям, поэтому с учётом ширины зуба получается большое количество КЭ. Проблемой, также, является необходимость учёта изменений прочностных характеристик материала в каждом конечном элементе от поверхности к сердцевине. Такое изменение свойств материала можно учесть дополнительным разбиением конструкции на отдельные слои КЭ с заданием для каждого слоя различных механических свойств. В нашем случае такой подход невозможен, поскольку приводит к образованию чрезмерно большого количества КЭ и исчерпанию ресурсов ЭВМ. Проблема осложняется тем, что ППП (Ansys, Nastran и др.) не позволяют задавать изменение меха-

нических свойств по объёму конечных элементов, образующих определённой толщины слой.

Выходом из этой ситуации может являться использование различных типов элементов для дискретизации конструкции зубьев. Сердцевина разбивается на объёмные КЭ с квадратичной аппроксимацией функции формы, а поверхностный слой моделируется многослойными (Layered) оболочечными элементами с дискретизацией функции изменения механических свойств по отдельным КЭ-слоям. Количество этих слоёв выбирается в зависимости от необходимой точности аппроксимации функции, определяющей твёрдости от поверхности к сердцевине.

Моделирование взаимодействия зубчатых колёс в точке контакта (зацепления) зубьев выполняется с помощью специальных контактных (Contact) элементов, и тогда такая конечно-элементная модель зубьев в контакте пары зубчатых колёс мелкозубчатых передач позволяет учесть все особенности их структуры материала и условия работы.

По результатам проведенных расчётов предполагается обосновать требуемые характеристики для наномодификации поверхности зубьев и внесения соответствующих изменений в технологические режимы упрочнения.

Полученные результаты расчётов и технология наномодифицирования поверхностного слоя зубьев позволят разработать проектно-конструкторские и нанотехнологические методы по обеспечению создания ответственных деталей прецизионных передаточных механизмов микроэлектромеханических систем космических аппаратов.

Литература

1. P.N. Silchenko, D.P. Borisov, N.N. Koval Efficient arc sources of gas-discharge plasma in vacuum-plasma production facilities // Известия Вузов. Физика, 2012, № 12/2, С. 28-31.

2. P.N. Silchenko, D.P. Borisov, N.N. Koval
Vacuum-plasma technologies for high-quality
surface-treatment applications // Известия
Вузов. Физика, 2012, № 12/2, С. 32-35.

3. Сильченко П.Н., Новиков Е.С. Лека-
нов А.В. Обоснования выбора способов
упрочнения мелко модульных зубчатых ко-
лѐс приводов устройств исполнительной
автоматики космических аппаратов / Жур-
нал Сибирского федерального университе-
та. Техника и технологии 6 (2011 4), С 670-
673.