

Также сжиганию подвергались навески нанопорошка алюминия с оксидами ниобия и тантала с массовыми соотношениями: НП Al: Nb₂O₅ = 3:1 и НП Al: Ta₂O₅ = 4:1. Все экспериментальные данные, связанные с горением полученных навесок проводили в атмосфере воздуха. Выход полученных нитридов ниобия и тантала (таблица 1) согласно рентгенофазовому анализу составил Nb₂N = 47 % и Ta₂N = 40,7 %.

Таблица 1 – Состав исследуемых смесей нанопорошка алюминия с оксидами ниобия, тантала и ванадия и результаты рентгенофазового анализа продуктов сгорания

№ образца	Соотношение НП Al:Me ₂ O ₅ , мольное	Состав образца, мас. частей			Максимальный выход нитридов металлов MeN, %	
		НП Al, г	Ta ₂ O ₅ , г	Nb ₂ O ₅ , г	Nb ₂ N	Ta ₂ N
2	3:1	2,06	-	1,94	47	-
3	4:1	0,79	3,21	-	-	40,7

Таким образом, предложен метод синтеза тугоплавких нитридов металлов IV группы Периодической системы (Nb, Ta, V) сжиганием смесей НП Al с оксидами ниобия, тантала и ванадия в условиях теплового взрыва в воздухе. В отличие от традиционных методов, которые требуют спекания порошкообразной керамики под воздействием высокой температуры и давления, этот новый подход является более масштабируемым, менее дорогим и быстро производит тугоплавкие порошки с высокими выходами. Фазовый состав продуктов сгорания согласно рентгенофазовому анализу входят следующие нитриды металлов с максимальными выходами: V₂N = 61 %; Nb₂N = 47 %; Ta₂N = 40,7 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Wuchina E., Opila E., Opeka M., Fahrenholtz W., Talmy I. UHTCs: ultra-high temperature ceramic materials for extreme environment applications // Electrochemical Society Interface. – 2007. – vol. 16. – P. 30–36.
2. Laskoski M. *et al.* Synthesis and material properties of polymer-derived niobium carbide and niobium nitride nanocrystalline ceramics // Ceramics International. – 2020. – vol.47.– no.1 – P.1163–1168.
3. Ильин А.П., Роот Л.О. Новый механизм высокотемпературного химического связывания азота воздуха // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 6-6. – С. 1377–1381.
4. Назаренко О.Б., Ильин А.П., Тихонов Д.В. Электрический взрыв проводников. Получение нанопорошков металлов и тугоплавких неметаллических соединений. – Saarbrucken: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH&Co/KG, 2012. – 274 с.
5. Ковба Л.М., Трунов В.К. Рентгенофазовый анализ. – М.: МГУ, 1976. – 232 с.
6. Уэндландт У. Термические методы анализа. – М.: Мир, 1978. – 218 с.

ИМИТАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ НАГРУЖЕНИЯ ЗУБЬЕВ КИНЕМАТИЧЕСКОГО ВОЛНОВОГО РЕДУКТОРА ПРИ ВРАЩЕНИИ

П.Я. Крауинш, Д.М. Козарь

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

E-mail: peterkrau@tpu.ru

SIMULATION ANALYSIS OF THE LOADING OF THE TEETH OF A KINEMATIC WAVE REDUCER DURING ROTATION

P.J. Krauinsh, D.M. Kozar

National Research Tomsk Polytechnic University

Annotation. The design and calculation of new types of gearing and gearboxes based on it require an analysis of the loading of the teeth during operation. This allows to evaluate the

strength properties of the teeth in engagement and the smooth operation of the entire mechanism as a whole. The paper presents a variant of the analysis of the loading of the teeth by means of simulation modeling with various preload parameters. The analysis was performed using CAD SolidWorks by identifying areas of interference between the teeth of the cogwheel and gear. Since the volume of the interference zones, with the elastic deformation of the material in the contact zone, is to some extent proportional to their loading, the volume of these zones provides opportunity indirectly judged about the loading of the teeth themselves in engagement. The proposed version of the simulation analysis of loading is implemented on the example of a kinematic wave reducer with a modified Novikov gearing.

Волновые редукторы [1–3] и зацепление Новикова [4–7] получили распространение в сферах промышленности, нуждающихся в относительно компактных и легких редукторах для тяжело нагруженных передач, либо в компактных кинематических передачах с высоким передаточным отношением. Кроме того, зацепление Новикова обеспечивает более высокую кинематическую точность [4, 6], чем традиционное эвольвентное зацепление и может применяться в прецизионных кинематических передачах, требующих высокой плавности работы выходного звена.

Однако, плавность работы зубчатой передачи, в некоторой степени зависит от плавности перераспределения нагрузки между зубьями колеса и шестерни при вращении зубчатой передачи. Более того, как будет показано далее, этим процессом можно управлять за счет применения предварительного нагружения зубчатой передачи, приводящего к незначительным упругим деформациям в зонах контакта зубьев колеса и шестерни.

В ТПУ разработан и испытан кинематический волной редуктор [1], в котором используется зубчатая передача с модифицированным зацеплением Новикова (рис.1). Для анализа плавности нагружения зубьев передачи использовалась САПР SolidWorks, позволяющая определять зоны интерференции (взаимного пересечения) областей деталей при их движении [8].

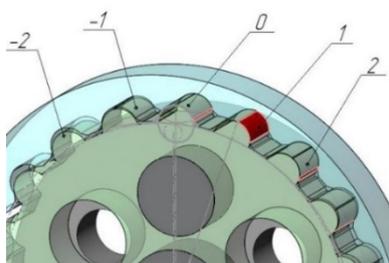


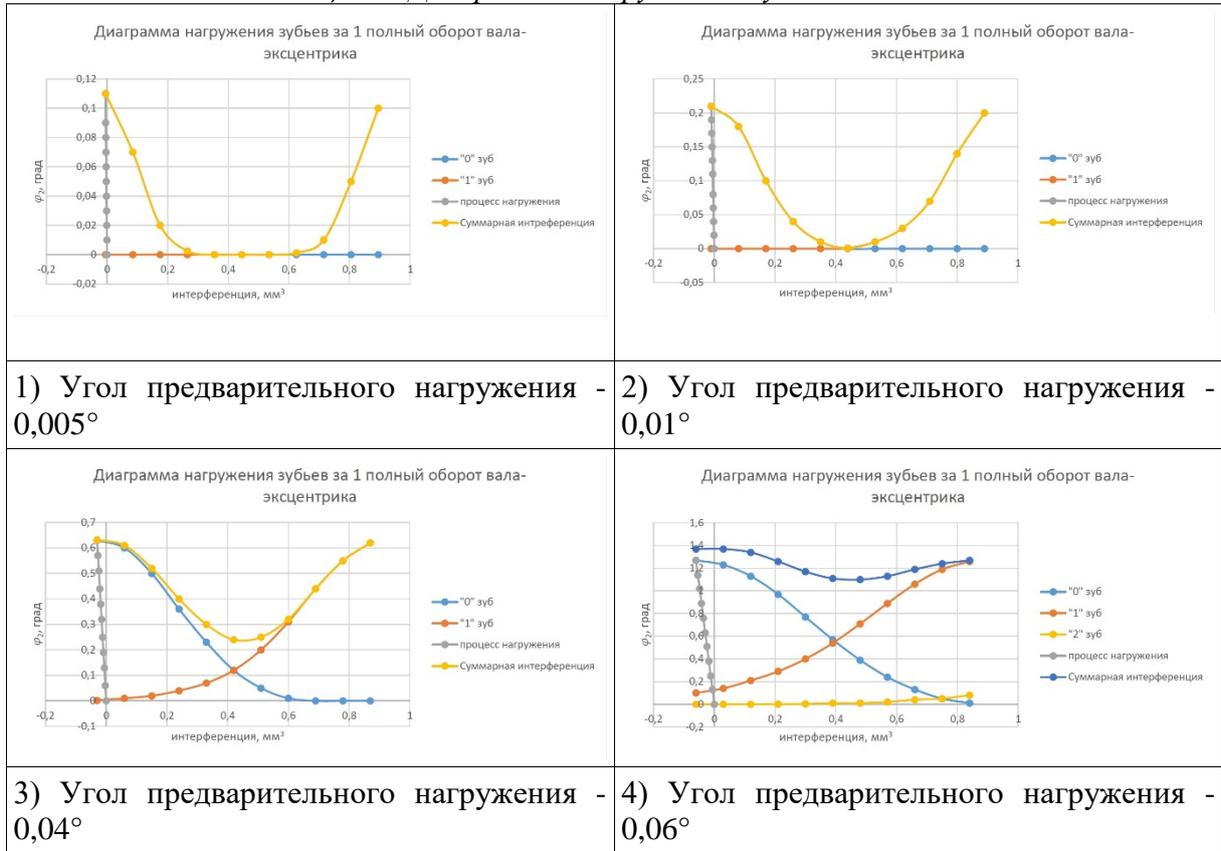
Рис. 1. Конструктивная схема кинематического волнового редуктора с модифицированным профилем зуба (показано распределение нагрузки по зубьям, находящимся в зацеплении)

Эта функция позволила выполнить имитационное моделирование работы зубчатой передачи при различных значениях предварительной нагрузки, с определением количества зон интерференции, областей их локализации и объема. Последний параметр позволяет косвенно оценить степень распределения нагрузки между зубьями в зацеплении, поскольку объем этих зон, в случае упругой деформации материала в зоне контакта, в некоторой степени, пропорционален величине их нагружения.

Величина предварительного нагружения задавалась в виде фазового смещения между колесом и шестерней при движении за счет вала эксцентрика, на котором закреплена шестерня. Так вращение передачи в отсутствии предварительной нагрузки показало, что передача нагрузки от зуба 0 к зубу 1 (таблица 1, 1) происходит с прерыванием. Однако в дальнейшем, с увеличением угла предварительной нагрузки (таблица 1, 2), область

разрыва сужается, после чего нагрузка начинает плавно переходить с одного зуба в зацеплении на другой (таблица 1, 3).

Таблица 1 – Диаграммы нагружения зубьев



В конечном счете была подобрана такая величина угла предварительного нагружения, при котором нагрузка между зубьями перераспределялась с совсем незначительным падением (таблица 1, 4), обеспечивая тем самым высокую плавность и бесшумность работы передачи.

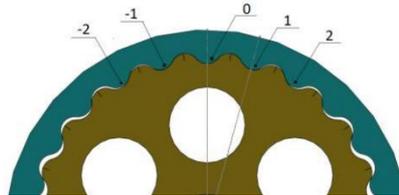


Рис. 2. Зубчатая передача с модифицированным зацеплением Новикова

В тоже время, следует отметить, что характер перераспределения нагрузки между зубьями зацепления во многом зависит от профиля зубьев.

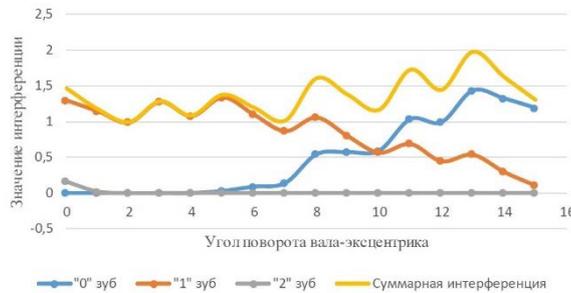


Рис. 3. Диаграммы нагружения зубьев

Так для кинематического волнового редуктора с иным профилем зубьев модифицированного зацепления Новикова (рис. 2), было установлено, что нагрузка при вращении перераспределяется с незначительными колебаниями (рис. 3).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пат. 76093 РФ. МПК F16H 1/10 (2006.01). Самотормозящийся волновой редуктор / П.Я. Крауиньш, Д.П. Крауиньш, С.А. Смайлов, А.В. Иоппа, Сеунг-Су Йеом. Заявлено 04.03.2008; Опубл. 10.09.2008, Бюл. № 25.
2. Пат. 2491455 РФ. МПК F16H 1/32 (2006.01). Волновой редуктор с эксцентриковыми роликами / Н.В. Крылов, М.В. Борисов, С.Л. Самсонович, В.С. Степанов. Заявлено 09.04.2012; Опубл. 27.08.2012, Бюл. № 24.
3. Пат. 2564556 РФ. МПК F16H 1/32 (2006.01). Двухступенчатый конический волновой редуктор / Б.И. Иванов, А.В. Давыдов, С.В. Казаков, Е.Л. Межирицкий, В.А. Немкевич, Д.Б. Смирнов. Заявлено 01.07.2014; Опубл. 10.10.2015, Бюл. № 28.
4. Краснощеков Н.Н., Федякин Р.В., Чесноков В.А. Теория зацепления. – М.: Наука, 1976. – 175 с.
5. Гавриленко В.А. Зубчатые передачи в машиностроении (Теория эвольвентных зубчатых передач). – М.: Машгиз, 1962. – 530 с.
6. Павленко А.В., Федякин Р.В., Чесноков В.А. Зубчатые передачи с зацеплением Новикова. – Киев: Техника, 1978. – 144 с.
7. Решетов Д.Н. Детали машин. – М.: Машиностроение, 1989. – 496 с.
8. Алямовский А.А. Инженерные расчеты в SolidWorks Simulation. – М.: ДМК Пресс, 2010. – 464 с.

УРАВНЕНИЯ ПРОФИЛЯ ВЕНЦА ДЛЯ ВОЛНОВОЙ ПЕРЕДАЧИ

В.С. Коротков, Гуаньцин Лао

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

E-mail: kvs@tpu.ru

EQUATIONS OF TOOTHING PROFILE FOR A WAVE GEAR

V.S. Korotkov, Guanqing Lao

National Research Tomsk Polytechnic University

***Annotation.** The geometric parameters of the tothing of the wave gear with intermediate rolling solids is considered. A coordinate system is selected. The parametric equations of the profile of the rim are derived. In order to improve transmission efficiency and to reduce its running-in period the equations for the rounded edges of tothing are deduced. The product is intended for use in the construction of the power tool electric drill on the basis of the commutator motor with a useful capacity of 1 kW.*

В [1, 2] описана конструкция ручной машины (РМ) электробур на базе коллекторного двигателя с волновой передачей с промежуточными телами качения (ПТК). Отличительной особенностью привода РМ является его малая масса и габаритные размеры. В [3] получены параметрические уравнения профиля венца волновой передачи с ПТК. Профиль представляет собой эпициклоиду с количеством впадин, равным числу тел качения передачи плюс одна. Такой профиль венца имеет острые кромки в местах перехода от одной впадины к другой. На начальном этапе приработки передачи происходит интенсивный износ этих кромок, и продукты износа попадают в места контакта тел качения с венцом, что снижает коэффициент полезного действия передачи. С целью устранения этого недостатка получены уравнения профиля венца со скругленными кромками.