

УДК 621.833

СТЕНД И ИСПЫТАНИЯ КОНИЧЕСКИХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС НА СОПРОТИВЛЕНИЕ УСТАЛОСТИ ПРИ ИЗГИБЕ

© 2017 А.В. Суслин, В.Б.А. Оссиала

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева

Статья поступила в редакцию 21.02.2017

В работе приводятся расчет на прочность и сравнительные испытания конических зубчатых колес на сопротивление усталости при изгибе. Приведены рекомендации по повышению работоспособности и долговечности авиационных зубчатых колес.

Ключевые слова: конические зубчатые колеса, стенд-пульсатор, испытания, разрушения зубов, долговечность.

Задача повышения надежности и долговечности авиационных зубчатых колес требует ответа на вопрос, какая геометрия зубьев конических колес является оптимальной. Меры повышению изгибной прочности часто приводят к повышению контактной прочности [1,2]. Поломка зуба передачи сразу является причиной выхода ее из строя. С контактными повреждениями передача может работать еще достаточно долго.

Поэтому во многих организациях переход на новую геометрию зубьев сопровождается различными видами испытаний. В работах [3,4,5] приводятся результаты расчетов на прочность и сравнительных испытаний конических зубчатых колес. Для проведения сравнительных испытаний конических зубчатых колес с разной геометрией был создан специальный стенд-пульсатор. Главным критерием при создании конструкции было условие проведения испытаний, близким к натурным.

Схема стенда представлена на рис. 1. Колесо 1 устанавливалось в испытательной головке неподвижно, а колесо 2 закреплялось на нагружающем рычаге 4. Нагрузка создавалась с помощью эксцентрикового вала и эксцентриковой втулки. На рис. 1 это кривошип ОА.

Контроль нагрузки осуществлялся с помощью динамометрического кольца 3 и индикатора 5. Конусное расстояние выставлялось с помощью специальных направляющих и калибров. Правильность установки проверялась по пятну контакта, так как колеса имели возможность поворачиваться относительно своих осей. В качестве привода нагружателя использовался асинхронный электродвигатель, который создавал частоту нагружения 25 Гц. При работе стенда крутящий момент измерялся с помощью

тензорезисторов, наклеенных на внутреннюю поверхность вала под углом 45° к его оси. На этот вал передавалась нагрузка от рычага. Сигнал с датчиков усиливался тензостанцией и регистрировался с помощью шлейфового осциллографа. Механизм нагружателя неуравновешен, что вызывало небольшой уровень вибрации элементов стенда. Межосевой угол для конических колес равен 90° . Длина рычага 1 метр.

Установка колес для испытаний производилась в зависимости от коэффициента перекрытия ε_α . Если $\varepsilon_\alpha < 2$, то колеса устанавливались так, чтобы контактная линия находилась в зоне однопарного зацепления. В ходе испытаний был строго однородный контакт. Соседние пары зубьев в зацепление не вступали.

Если $\varepsilon_\alpha > 2$, то прямозубые конические колеса устанавливались таким образом, чтобы в контакте находились две пары зубьев.

На торце колес наклеивались тензодатчики, как показано на рис. 2.

Особенностью испытаний было наличие небольшого количества колес и соответственно малого объема испытаний на усталость ($n < 15 \dots 20$).

Материал колес – Сталь 13Х3НВМ2Ф-Ш (ВКС-4). Твердость поверхности зубьев – 60HRCэ, твердость сердцевины зуба – 41HRCэ. После шлифования поверхность зубьев подвергнута виброшлифовке и дробеструйной обработке. Параметры прямозубых конических колес приведены в табл. 1. Результаты сравнительных испытаний были следующие.

Для прямозубых конических колес с $\varepsilon_\alpha < 2$ вид поломки показан на рис. 3. Он типичен для таких колес. Трещина появлялась у наружного торца, а долом зуба шел у внутреннего торца.

По виду поломки видно, что с ростом нагрузки контактная линия смещалась к внешнему торцу. Об этом можно судить и по толщине отпечатка, который у внешнего торца в два раза больше, чем в среднем сечении. Предел выносливости по

Суслин Алексей Васильевич, кандидат технических наук, доцент кафедры ОКМ. E-mail: suslin@yandex.ru
Оссиала Венсеслас Бель Амур, инженер кафедры ОКМ, аспирант. E-mail: scofield_ossiala@yahoo.com

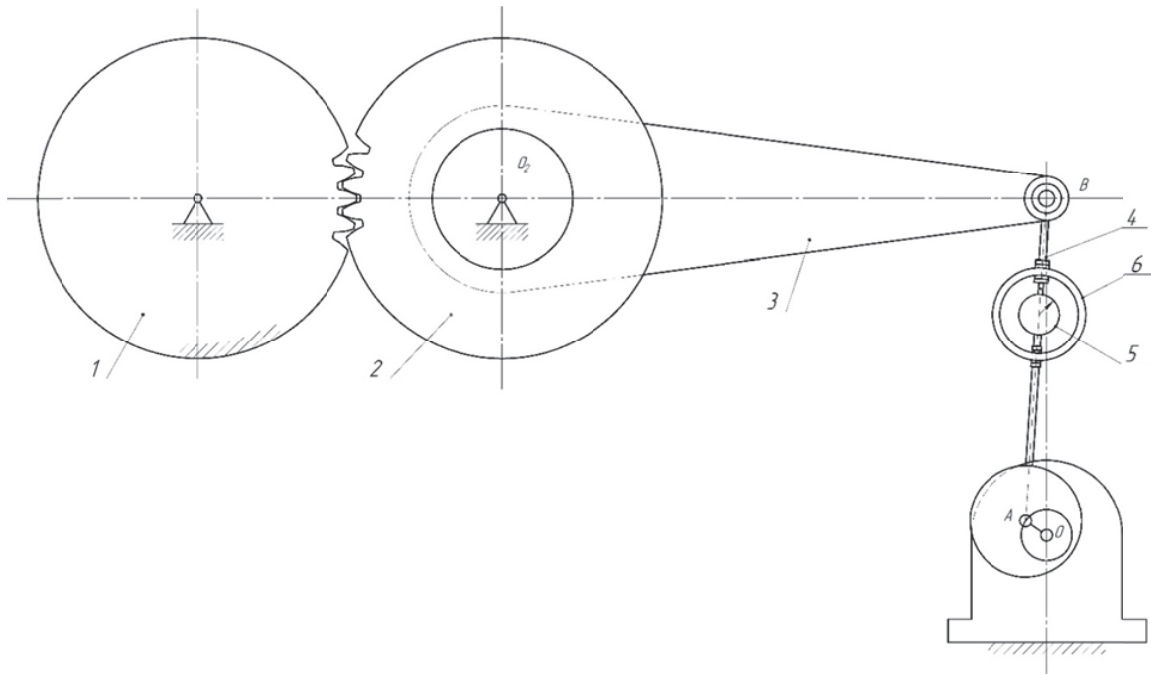


Рис. 1. Схема стенда



Рис. 2. Внешний вид препарированного тензодатчиками зубчатого колеса

Таблица 1. Параметры передач

№	z_1	z_2	mz_e , мм	α_w	B , мм	ε_α	R_e , мм
1	32	33	4,2	$24^\circ 30'$	30	1,383	99,685
2	32	33	4,34	20°	30	2,05	99,749

моменту получился равный $T_{F1 \text{ lim } \sigma} = 1700 \text{ н.м.}$, а среднее квадратическое отклонение $S_{TR} = 55 \text{ н.м.}$

Для прямозубых конических колес с $\varepsilon_\alpha > 2$ вид поломки показан на рис. 4. Вид поломки не

встречался ранее в практике испытаний. Трещина на зубе шестерни, нагруженном на вершине, образовывалась на стороне растяжения в галтели у внешнего торца, шла вдоль нагру-



Рис. 3. Вид поломки зуба колеса при $e_a < 2$

женных зубьев, примерно параллельно их основанию, и выходила на поверхность в галтели второго зуба на стороне сжатия. Таким образом, выламывалось все зацепление. По отпечатку места контакта видно, что наиболее нагружен внешний торец. Предел выносливости по моменту получился равным $T_{Flim\sigma} = 2939$ н.м, а среднее квадратическое отклонение предела выносливости $S_{TR} = 54$ н.м.

Расчетные пределы выносливости по результатам испытания для конических колес получились:

для колес с $e_a < 2$ $\sigma_{Flim\sigma} = 1010$ МПа;
 для колеса с $e_a > 2$ $\sigma_{Flim\sigma} = 1140$ МПа.

На рис. 5 и 6 приведены результаты испытания на сопротивление усталости зубьев при изгибе конических прямозубых колес, т.е. усталостные кривые в том случае, когда коэффициент $e_a < 2$ и $e_a > 2$.

Усталостные кривые зубчатых колес как зависимость крутящего момента от числа циклов сильно отличаются на рис. 5 и 6 за счет разницы напряжений.



Рис. 4. Вид испытываемых зубчатых колес и виды поломок колес с $e_a > 2$

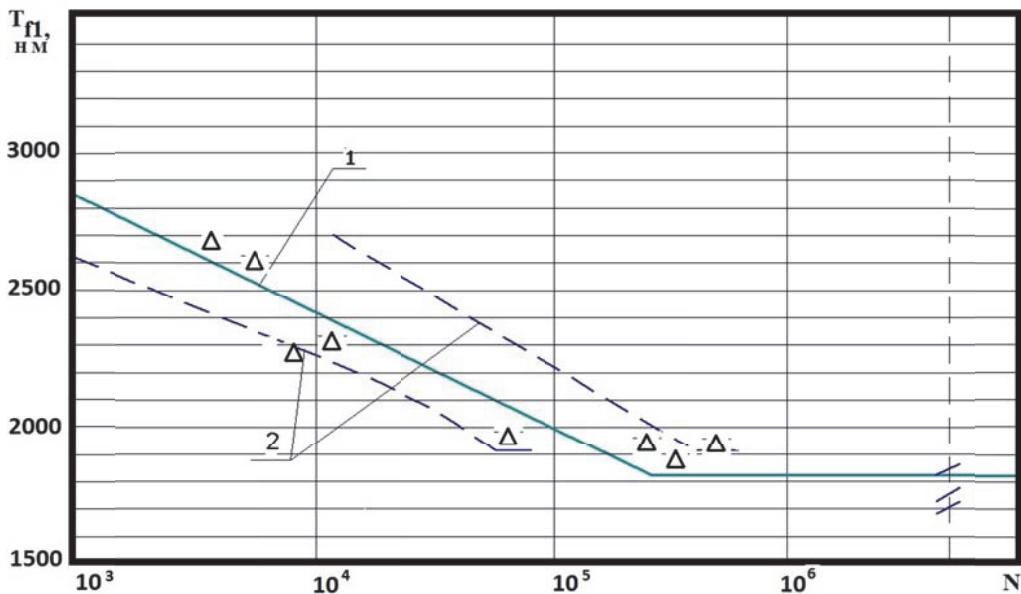


Рис. 5. Усталостные кривые при $\epsilon_a < 2$

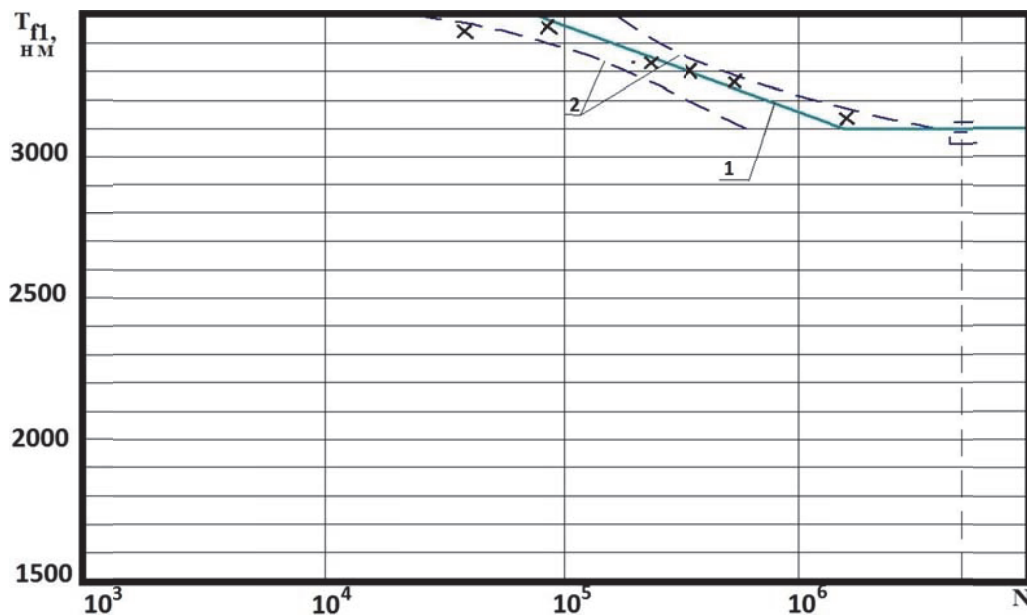


Рис. 6. Усталостные кривые при $\epsilon_a > 2$:

1 – эмпирическая линия регрессия (P=0,5); 2 – граница 95%ной доверительной области

ВЫВОДЫ

Результаты испытаний прямозубых конических колес показали, что предел выносливости по моменту у конических колес с $\epsilon_a > 2$ в 1.7 раза выше, чем у прямозубых конических колес с $\epsilon_a < 2$.

Результаты металлографического анализа показали, что трещина всегда начинала образовываться с поверхности зуба, а не у подслоя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авиационные зубчатые передачи и редукторы : справочник [под ред. Э.Б. Вулгакова]. М : Машиностроение ,1981-374 с.
2. Алексеев В.И., Суслин А.В. Повышение нагрузоч-

ной способности и долговечности высокоскоростных зубчатых передач // Трение и износ, 1996. Т. 17. № 1. С. 128...130.

3. Höhn B.-R., Stahl K., Wirth C. New calculation method for the load capacity of bevel and hypoid gears based on loaded tooth contact analysis () // Applied Mechanics and Materials, 2011, 86, pp. 237-242.
4. Tarkowski P.a , Pytka J.a , Budzyński P.a , Kaznowski Ł.b., Józwick J.a., Kupicz W.c. Single wheel tester for aircraft landing gear testing on grassy airfields (2014)
5. Klein M.a., Höhn B.-R.a., Michaelis, K.a, Annast R.b. Theoretical and experimental investigations about flank breakage in bevel gears // Industrial Lubrication and Tribology, 2011, 63 (1), pp. 5-10.
6. Кудрявцев В.Н. Детали машин. Л. Машиностроение, 1980. 464 с.
7. Вулгаков Э.Б., Ананьев В.М. Прочность и динамика

зубчатых передач // *Авиационные зубчатые передачи и редукторы: справочник* [под ред. Э.Б. Вулгакова]. М., 1981. С. 136....158.
8. *Бабенкова Э.В., Вулгаков Э.Б., Френкель И.Н.* Опре-

деление коэффициентов формы зуба и градиентов напряжений при плоском напряженном состоянии эвольвентных зубьев // *Вестник машиностроения*. 1972. № 1. С. 23-26.

STAND AND TESTS OF BEVEL GEAR WHEELS ON THE RESISTANCE FATIGUE DURING BENDING

© 2017 A.V. Suslin, V.B.A. Ossiala

Samara National Research University named after Academician S.P. Korolyov

In the work were used the strength calculation and comparative tests of bevel gears wheels on the fatigue resistance during bending. Recommendations to raise the capacity for the work and life duration of aviation gears wheels.

Keywords: Bevel gear, stand-pulsator, testing, destruction of the teeth, life duration.