

УДК 621.833.3

DOI: 10.22213/2410-9304-2017-1-17-19

А. П. Ништа, кандидат технических наук, доцент

Е. И. Попова, кандидат технических наук, доцент

ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИЧИН ОГРАНИЧЕНИЯ НАГРУЗОЧНОЙ СПОСОБНОСТИ ЗАЦЕПЛЯЮЩИХСЯ ЗВЕНЬЕВ СПИРОИДНЫХ ПЕРЕДАЧ

Появившиеся относительно недавно спироидные передачи находят эффективное применение при различных условиях и режимах работы. Кроме того, существуют различия в применяемых материалах и технологиях изготовления зацепляющихся звеньев спироидных передач. Спироидные колеса можно изготавливать из полиамидов, сплавов металлических порошков, бронзы, стали и чугуна. Червяк традиционно изготавливают из сталей с использованием термической или химико-термической обработки для повышения прочности и износостойкости. Технологические различия в свою очередь приводят к разным причинам снижения прочности зубьев спироидных колес и витков червяка. В статье рассмотрены некоторые причины ограничения нагрузочной способности зацепляющихся звеньев спироидных передач. Проводимые многолетние испытания спироидных передач выявили различные виды разрушений для зубьев спироидных колес. Основной причиной разрушений пластмассовых спироидных колес является срез. Для порошковых колес характерны либо срез, либо излом. Однако витки спироидного червяка также могут ломаться неожиданно. Для определения отклонений в структуре и свойствах поверхностного слоя и сердцевины нитроцементованных червяков были проведены металлографические исследования. Из витков спироидных червяков были сделаны образцы, которые затем подвергались всем необходимым манипуляциям для получения микрошлифов.

Ключевые слова: нагрузочная способность, спироидные передачи, нитроцементация, червяки, металлографический анализ.

Появившиеся примерно около 70 лет назад спироидные передачи нашли широкое применение от малогабаритных редукторов до тяжелонагруженных приводов запорной арматуры [1–3].

Преимущества спироидных передач, такие как меньшая скорость скольжения в зоне зацепления; большие (в 2...3 и более раз) значения коэффициента перекрытия; большая прочность с точки зрения возможности изгибной поломки зубьев, позволяют находить им применения в разных условиях и режимах эксплуатации [4–7].

Несмотря на упомянутые выше особенности и достоинства геометрии и кинематики зацепления спироидных передач, некоторые вопросы, связанные с ограничением нагрузочной способности, до сих пор не решены полностью.

В качестве материала для спироидного колеса используется довольно широкий спектр материалов: от пластика и порошковых материалов до бронзы, закаленной стали и чугуна [8]. Материал червяка – традиционно закаленная сталь. Технология изготовления спироидных колес из различных материалов отличается существенно. Пластмассовые и порошковые колеса получают методами обработки давлением. Колеса из полиамидов изготавливают либо горячим прессованием, либо литьем под давлением. Порошковые спироидные колеса получают спеканием и последующим прессованием металлических порошков. Бронзовые, стальные и чугунные спироид-

ные колеса получают обработкой резанием на зубофрезерных станках. Разные материалы и технологии получения приводят к различным причинам ограничения нагрузочной способности спироидных колес. Так, зубья пластмассовых колес срезаются более твердым закаленным червяком (рис. 1, а) [9]. Нагрузочная способность порошковых спироидных колес ограничивается либо износом зубьев колеса, либо прочностью этих зубьев на излом (рис. 1, б) [10].



Рис. 1. Разрушение зубьев спироидного колеса
а – пластмассового; б – порошкового

Спироидные червяки, изготовленные из закаленной стали, кажется, обладают большим запасом прочности. Однако в некоторых случаях во время ресурсных испытаний (табл. 1) происходят неожиданные поломки витков червяка (рис. 2).



Рис. 2. Разрушение витков спироидных червяков

Таблица 1. Результаты испытаний

Параметры испытаний	ПС 142	ПС 127	ПС 124
T_1 , Нм	84	49/59	133
T_2 , Нм	2500	1250/1500	1000
n_1 , об/мин	20	20	46,5
n_2 , об/мин	0,43	0,51	4
i	46	39	11,6
N_1 , цикл	12000	12000	8000
N_2 , цикл	2000	4500/1000	3780
Вид поломки	Срез	Изгибная поломка	Срез

Для определения причин поломки витков спиральных червяков подробно была рассмотрена технология изготовления, которая включает химико-термическую обработку – нитроцементацию. Чтобы проверить наличие отклонений в химическом составе

и структуре нитроцементированных червяков, которые и могли являться причиной поломки, разрушенные образцы были подвергнуты металлографическим исследованиям. Результаты исследований химического состава образцов представлены в табл. 2.

Таблица 2. Результаты химического анализа

Наименование параметра	ПС 142	ПС 127	ПС 124	Требование ГОСТ 4543–71
С – углерод	0,16 %	0,18 %	0,31–0,32–0,35 %	0,17–0,23 %
S – сера	0,011 %	0,010 %	0,007 %	н/б 0,035 %
Cr – хром	1,04 %	1,11 %	1,02 %	1,00–1,30 %
Ti – титан	0,04 %	0,07 %	0,05 %	0,03–0,09 %
Mn – марганец	0,86 %	0,85 %	0,84 %	0,80–1,10 %
Si – кремний	0,29 %	0,30 %	0,21 %	0,17–0,37 %

Выявлены небольшие отклонения в образце ПС 124 – содержание углерода несколько превышает требования ГОСТ. Остальные параметры соответствуют ГОСТ 4543–71.

Кроме установления химического состава также определялись такие параметры, как твердость поверхностного слоя и сердцевины после нитроцементации, микротвердость.

Таблица 3. Результаты металлографического анализа

Параметры исследований	ПС 142	ПС 127	ПС 124
Твердость нитроцементированного слоя	HRC 60*	HRC 59*	HRC 60*
Твердость сердцевины	HRC 36**	HRC 35**	HRC 40**
Глубина нитроцементированного слоя	0,7мм	0,68–0,7	0,65–0,7
Микроструктура нитроцементированного слоя	Мартенсит, небольшое количество карбонитридов и остаточного аустенита	Мартенсит, небольшое количество карбонитридов и остаточного аустенита	Мартенсит, небольшое количество карбонитридов и остаточного аустенита
Микроструктура сердцевины	Тростомартенсит	Тростомартенсит	Тростомартенсит
Микротвердость, МПА на расстоянии от поверхности 600мкм	6480	6722	7134

* Заданная твердость нитроцементированного слоя – HRC 58–62

** Заданная твердость сердцевины – HRC 30–35

Для проведения металлографических исследований из витков спиральных червяков были вырезаны образцы для дальнейшей подготовки в качестве микрошлифов (рис. 3–5).

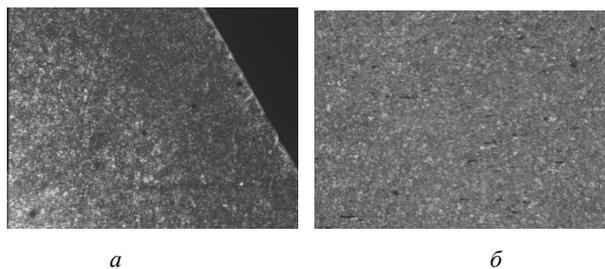


Рис. 3. Микрошлиф витка спирального червяка ПС 142 нитроцементированный слой (а) и сердцевина (б) ($\times 100$)

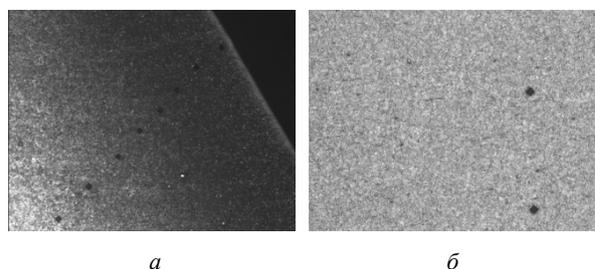


Рис. 4. Микрошлиф витка спирального червяка ПС 127 нитроцементированный слой (а) и сердцевина (б) ($\times 100$)

После проведенных исследований, в рамках которых были изучены химический состав, структура, микротвердость поверхностного слоя и сердцевины нитроцементированных спиральных червяков, уста-

новлено, что в структуре не обнаружено отклонений и дефектов.

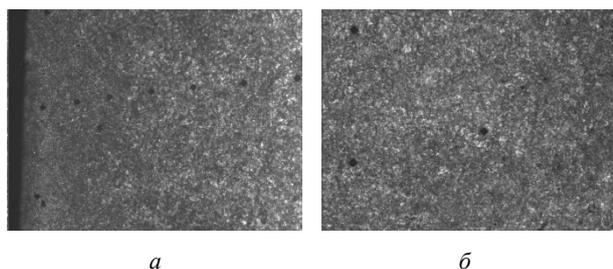


Рис. 5. Микрошлиф витка спирои́дного червяка ПС 124 нитроцементованный слой (а) и сердцевина (б) ($\times 100$)

Поскольку структура, химический состав и твердость поверхностного слоя и сердцевины, а также микротвердость соответствуют требованиям, необходимо провести дальнейшие исследования для определения количества остаточного аустенита с использованием рентгеноструктурного анализа. Чрезмерное количество остаточного аустенита в изделиях после нитроцементации может привести к появлению трещин во время шлифования, снижению прочности и нежелательному разрушению витков червяка под обычной рабочей нагрузкой.

Библиографические ссылки

1. Спироидные редукторы трубопроводной арматуры / В. И. Гольдфарб, Д. В. Главатских, Е. С. Трубачев, А. С. Кузнецов, Е. В. Лукин, Д. Е. Иванов, В. Ю. Пузанов. – М. : Вече, 2011. – 222 с. : ил.
2. Трубачев, Е. С., Кунивер А. С. Испытания малогабаритных спироидных редукторов // Вестник ИжГТУ. – 2007. – № 1. – С. 175–179.
3. Попова Е. И. Нагрузочная способность спироидных передач с металлопластмассовыми колесами // Вестник ИжГТУ – 2007. – № 1 (33). – С. 154–156.
4. Спироидные редукторы трубопроводной арматуры. 222 с.
5. Трубачев, Е. С., Кунивер А. С. Испытания малогабаритных спироидных редукторов. – С. 175–179.
6. Попова Е. И. Нагрузочная способность спироидных передач с металлопластмассовыми колесами. – С. 154–156.
7. Кунивер А. С., Трубачев Е. С., Попова Е. И. Сравнительные испытания спироидных редукторов с колесами из различных материалов // Теория и практика зубчатых передач и редукторостроения : труды научно-технической конференции. – Ижевск, 2008. – С. 257–265.
8. Там же.
9. Попова Е. И. Нагрузочная способность спироидных передач с металлопластмассовыми колесами. – С. 154–156.
10. Кунивер А. С., Трубачев Е. С., Попова Е. И. Сравнительные испытания спироидных редукторов с колесами из различных материалов. – С. 257–265.

A. P. Nishta, PhD in Engineering, Kalashnikov ISTU

E. I. Popova, PhD in Engineering, Associate Professor, Kalashnikov ISTU

Investigation of Causes for Limiting the Load-Carrying Capacity of Meshing Elements of Spiroid Gears

Relatively recent spiroid gears have been found effective application in various environments and operation modes. In addition, there are differences in the applied materials and manufacturing technologies for spiroid gearwheels and worms. Spiroid gearwheels can be made of polyamides, sintered metallic powders, bronzes, steel and cast-iron. The worm is traditionally made of steels with thermal and chemical and thermal treatment to increase their strength and wear resistance. In turn, manufacturing differences lead to various causes of reducing the load-carrying capacity of spiroid gearwheels and worms. The paper considers several reasons of limiting the load carrying capacity of meshing elements of spiroid gears. Long-term experiments of spiroid gears revealed different types of failures for teeth of spiroid gearwheels. The main reason of fractures for plastic spiroid gears is shear. As for powder gearwheels, either shear or fracture is specific for them. However, threads of spiroid worms can also be broken suddenly. In order to determine the deviation in the structure and properties of the surface layer and core of nitro-carburized worms, metallographic investigations have been carried out. Threads of spiroid worms have been taken as samples which have been further subjected to all necessary manipulations to obtain micro-etches.

Keywords: load carrying capacity, spiroid gears, nitro-carburizing, worm, metallographic analysis.

Получено: 28.02.17