

Селезов А.В., Кашайкин С.И., Бекбулатов Р.Н. Расчет и анализ скоростей абразивного изнашивания зубчатой передачи // Академия педагогических идей «Новация». Серия: Студенческий научный вестник. – 2019. – №1 (январь). – АРТ 74-эл. – 0,2 п.л. - URL: <http://akademnova.ru/page/875550>

РУБРИКА: ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 621.833

Селезов Артём Викторович
Кашайкин Сергей Иванович
Бекбулатов Руслан Наильевич

студенты 1 курса магистратуры, факультет машиностроительных технологий, информатики и систем управления
ФГБОУ ВО «МГТУ им. Н.Э. Баумана»
г. Москва, Российская Федерация
e-mail: selezov_artem@mail.ru

**РАСЧЕТ И АНАЛИЗ СКОРОСТЕЙ АБРАЗИВНОГО
ИЗНАШИВАНИЯ ЗУБЧАТОЙ ПЕРЕДАЧИ**

Аннотация: В статье приведен расчет скоростей абразивного изнашивания зубьев колес и шестерен прямозубого эвольвентного зацепления, проанализированы результаты расчета и даны рекомендации по снижению скоростей изнашивания, увеличению твердости и долговечности пары трения.

Ключевые слова: абразивное изнашивание, расчет, зубчатая передача.

Selezov Artem Viktorovich
Kashaikin Sergey Ivanovich
Bekbulatov Ruslan Nailevich

1st year magistracy students, faculty of engineering technologies,
informatics and control systems
FGBOU VO «Bauman Moscow State Technical University»
Moscow, Russian Federation

CALCULATION AND ANALYSIS OF SPEEDS OF ABRASIVE WEARING OF GEAR TRANSMISSION

Abstract: The article presents the calculation of the speeds of abrasive wear of the teeth of the wheels and gears of the spur involute gearing, analyzes the results of the calculation and provides recommendations for reducing wear rates, increasing the hardness and durability of the friction pair.

Keywords: abrasive wear, calculation, gear.

Важным показателем работы любой машины или другой техники является безотказная работа, т.е. сохранение работоспособного состояния в процессе наработки. С течением времени наступает предельное состояние, когда дальнейшая эксплуатация объекта невозможна, например, для шестерни зубчатой передачи предельное состояние совпадает с отказом, и определяет долговечность детали [1].

В процессе работы у зубчатых передач происходит изнашивание рабочих поверхностей, что приводит к потере геометрии и повышению амплитуды переменных нагрузок, развитию усталостных разрушений. Преждевременный выход зубчатой передачи из строя обусловлен процессами, происходящими в поверхностных слоях, где происходит накопление различных дефектов, способствующих изнашиванию и развитию контактной усталости.

Повысить долговечность зубчатой передачи можно за счет правильного подбора материала пар трения и способов поверхностного упрочнения зубьев с целью не только повысить твердость, но и сформировать остаточные напряжения сжатия [2]. Для этого рассчитаем скорости абразивного изнашивания зубьев колес $J_{\tau k}$ и шестерни $J_{\tau ш}$

прямоугольного эвольвентного зацепления с исходными данными, представленными в таблице 1.

Таблица 1 – Исходные данные для выполнения расчета

Марка стали зубчатого колеса и шестерни		Сталь 35
Число зубьев	колеса z_k	18
	шестерни $z_{ш}$	36
Угол зацепления α , град		20
Модуль зацепления m , мм		4
Диаметры основных окружностей	колеса d_k , мм	71,5
	шестерни $d_{ш}$, мм	143,1
Диаметры окружности выступов	колеса $d_{вк}$, мм	80
	шестерни $d_{вш}$, мм	152
Межцентровое расстояние a_o , мм		108
Твердость рабочей поверхности зуба $HB_{ш}, HB_k$		241
Скорость вращения зубчатого колеса n_k , об/мин		350
Относительное удлинение при разрыве $\delta_k, \delta_{ш}$, %		12
Коэффициент контактно-фрикционной усталости τ		1,3
Концентрация абразива в смазке q , %		1,3
Средний радиус абразивных частиц r , мм		0,02
Предел прочности на сжатие σ , кг/мм ²		30

Вычислим величины χ_k и χ_w , определяющие точки начала и конца рабочего участка зацепления по формулам:

$$\chi_k := 1 - \frac{(d_{ск}^2 - d_k^2)^{0.5}}{2 a_w \cdot \sin(\alpha)} = 0.514$$
$$\chi_w := \frac{(d_{сш}^2 - d_w^2)^{0.5}}{2 a_w \cdot \sin(\alpha)} = 0.694$$

Значения коэффициентов K_{zk} и K_{zw} , учитывающих геометрические параметры зацепления на скорость изнашивания соответственно колеса и шестерни определим по формулам:

$$K_{zk} := (\chi_k \cdot (1 - \chi_k))^{0.5} \cdot \frac{\chi_k - (1 - \chi_k) i}{\chi_k} = 0.5 - 0.472i$$
$$K_{zw} := (\chi_w \cdot (1 - \chi_w))^{0.5} \cdot \frac{\chi_w - (1 - \chi_w) i}{\chi_w} = 0.461 - 0.204i$$

Усредненный коэффициент, учитывающий влияние геометрических параметров зацепления на скорость изнашивания, определим по формуле:

$$K_{zu} := \frac{\operatorname{Re}(K_{zk}) \cdot \left(\frac{1}{i+1} - \chi_k\right) + \operatorname{Re}(K_{zw}) \cdot \left(\chi_w - \frac{1}{i+1}\right)}{3 (\chi_w - \chi_k)} = 0.153 - 0.036i$$

Влияние кинематических параметров на скорость изнашивания учитывается величиной K_k и K_w равной:

$$K_k := (2 m \cdot (z_k + z_w) \sin(\alpha))^{0.5} \operatorname{Re}(K_{zu}) \cdot n_k = 649.316$$
$$n_w := \frac{z_k \cdot n_k}{z_w} = 175$$
$$K_w := (2 m \cdot (z_k + z_w) \sin(\alpha))^{0.5} \operatorname{Re}(K_{zu}) \cdot n_w = 324.658$$

Величина A , учитывающая влияние параметров абразива на скорость изнашивания, определяется из соотношения:

$$A := q^{0.7} r^{0.5} \sigma^{2.5} = 837.681$$

Величины, учитывающие механические свойства материала, M_{κ} и M_{ω} равны:

$$M_{\kappa} := \delta_{\kappa}^{\tau} HB_{\kappa}^{1.5} HB_{\omega} = 2.28 \cdot 10^7$$

$$M_{\omega} := \delta_{\omega}^{\tau} HB_{\omega}^{1.5} HB_{\kappa} = 2.28 \cdot 10^7$$

Тогда скорости изнашивания зубьев колеса $J_{\tau\kappa}$ и шестерни $J_{\tau\omega}$ определим по формулам:

$$J_{\tau\kappa} := 4 \cdot 10^2 \frac{A \cdot K_{\kappa}}{M_{\kappa}} = 9.541$$

$$J_{\tau\omega} := 4 \cdot 10^2 \frac{A \cdot K_{\omega}}{M_{\omega}} = 4.771$$

Зубчатым колесам свойственен характер работы – изгиб зубьев, деформации контактного сжатия и сдвига рабочих поверхностей зубьев, трение и удары торцов зубьев зубчатых колес.

Основные виды повреждений при эксплуатации – излом зуба (усталостный излом или из-за кратковременной перегрузки), питтинг, изнашивание или пластическая деформация рабочих поверхностей зубьев.

Исходя из данных условий можно предложить общие способы повышения долговечности – коррегирующее, улучшение, сплошная или поверхностная закалка зубьев, цементация, азотирование, нитроцементация рабочих поверхностей зубьев стальных зубчатых колес [4-6].

С текущими исходными данными имеем материал зубчатого колеса и шестерни – сталь 30 (НВ = 241). Твёрдость шестерни рекомендуется увеличить на 20-30%, что способствует лучшей прирабатываемости, сближению долговечности шестерни и колеса, а также повышению сопротивления заедания зубчатых колёс [3].

Для этого рассмотрим применение шестерни из стали 45, термически обработанную, с твёрдостью поверхности зубьев НВ = 280, $\delta_{ш} = 12\%$, обрабатываемость резанием $K_{в\text{тв.спл}} = 1$ и $K_{в\text{б.ст}} = 1$ Проведя расчёты повторно, получим:

$$J_{\text{тк}} := 4 \cdot 10^2 \frac{A \cdot K_{\kappa}}{M_{\kappa}} = 8.212$$

$$J_{\text{тш}} := 4 \cdot 10^2 \frac{A \cdot K_{\omega}}{M_{\omega}} = 3.81$$

Видно, что скорость изнашивания зубьев колеса уменьшилась на 14%, а шестерни на 20%.

Рассмотрим применение ещё более твёрдого материала шестерни – сталь 40Х, объёмная закалка автомат, НВ = 486. Получим:

$$J_{\text{тк}} := 4 \cdot 10^2 \frac{A \cdot K_{\kappa}}{M_{\kappa}} = 4.731$$

$$J_{\text{тш}} := 4 \cdot 10^2 \frac{A \cdot K_{\omega}}{M_{\omega}} = 1.666$$

Добились снижения скорости изнашивания зубчатого колеса на 50%, а шестерни на 65%, относительно исходных данных.

Окончательно рассмотрим материал колеса – сталь 40Х, объёмная закалка автомат, НВ = 486, а шестерни – сталь 20Х, цементация и закалка, НВ = 618. Получим:

$$J_{тк} := 4 \cdot 10^2 \frac{A \cdot K_k}{M_k} = 1.299$$

$$J_{тш} := 4 \cdot 10^2 \frac{A \cdot K_{ш}}{M_{ш}} = 0.576$$

В результате снизили скорость изнашивания зубчатого колеса на 88%, а шестерни на 86% соответственно.

Таким образом, высокая износостойкость и долговечность пары трения была достигнута применением материала зубчатого колеса – сталь 40Х с последующим упрочнением поверхности объёмной закалкой, а шестерни – сталь 20Х с цементацией и закалкой. Тем самым добились оптимального сочетания деталей зубчатой передачи по твёрдости рабочей поверхности и в результате значительно увеличили долговечность передачи в целом.

Список использованной литературы:

1. Питухин А.В., Шиловский В.Н., Костюкевич В.М. Надежность лесозаготовительных машин и оборудования. Учебное пособие, СПб.: Издательство «Лань», 2010. – 288 с.
2. Гузанов Б.Н., Большакова М.Ю., Мигачева Г.Н. Вероятностный метод расчета долговечности тяжело нагруженных зубчатых колес по критерию износа. – 2010.
3. Проников А.С. Параметрическая надежность машин. М.: Изд-во МГТУ им. Баумана, 2002. 560 с.
4. Гузанов Б.Н., Большакова М.Ю. Влияние поверхностного упрочнения на надежность и работоспособность зубчатых колес // Вестник машиностроения. 2005. № 9. С. 56 – 59.

5. Шеховцева Е.В., Шеховцева Т.В. Упрочнение поверхностного слоя рабочих поверхностей зубчатых колес с помощью химико-термической обработки. – 2017
6. Низаметдинов Ф.Р., Москвитин Г.В. Перспективы использования технологии ИПА для повышения прочности и ресурса изделий современного машиностроения. – 2015.

Дата поступления в редакцию: 16.01.2019 г.

Опубликовано: 16.01.2019 г.

© Академия педагогических идей «Новация». Серия «Студенческий научный вестник», электронный журнал, 2019

© Селезов А.В., Кашайкин С.И., Бекбулатов Р.Н., 2019