

## МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ПРОЧНОСТИ ЗУБЬЕВ ЗУБЧАТО-РЕМЕННЫХ ПЕРЕДАЧ

Баханович А. Г

БНТУ, Минск, Республика Беларусь,  
[alexandros72@tut.by](mailto:alexandros72@tut.by)

Основными видами деструкции приводных зубчатых ремней являются: образование усталостной трещины в основании зубьев и их отрыв от каркаса ремня, а также износ рабочих поверхностей зубьев до предельного уровня, после которого наступает рассинхронизация передачи [1].

В работе [2] на основании энергетического подхода установлено, что эксплуатационный ресурс зубчатых ремней по критерию износа рабочего профиля зубьев определяется выражением

$$N_n = N_1 + N_2 = \frac{h_o}{h_{10} P_{\text{тр}}^{\chi_o}} + \frac{[h]}{h_p P_{\text{тр}}^{\chi_p}},$$

где  $N_1, N_2$  – долговечность износостойкой обкладки и резинового массива зуба ремня, циклы;  $h_o$  – толщина обкладочной ткани, мм;  $h_{10}$  – толщина обкладки, изнашиваемой за один цикл входа в зацепление при единичной мощности трения, мм;  $[h]$  – предельный износ резинового массива зубьев, мм;  $h_p$  – износ резинового массива зуба ремня за один цикл входа в зацепление в условиях единичной мощности трения, мм;  $P_{\text{тр}}$  – мощность трения, Вт;  $\chi_o$  и  $\chi_p$  – показатели степени, характеризующие, соответственно, износ обкладки и резины.

Долговечность зубчатых ремней по критерию усталостного разрушения зубьев в работе [3] предлагается определять на основе анализа сложного напряженно-деформированного состояния, моделей потери работоспособности и основных принципов разрушения зубьев:

$$N_y = N_0 \left( \frac{\sigma_r}{\sigma_{\text{кв}}} \right)^{m_N}, \quad \sigma_{\text{кв}} = \sqrt{(\sigma_n + \sigma_{\text{сж}})^2 + 3\tau^2},$$

$$\sigma_n = \frac{6F_t \psi}{z_0 (S_p + 2h_p \text{tg} \beta_p)^2} \left[ h_p \cos \psi_1 - \left( \frac{S_p}{2} + h_p f_{\text{тр}} \right) \sin \psi_1 \right],$$

$$\sigma_{\text{сж}} = \frac{F_t \psi}{z_0 (S_p + 2h_p \text{tg} \beta_p)} \left[ \sin \psi_1 + f_{\text{тр}} \cos \psi_1 \right], \quad \tau = \frac{F_t \psi}{z_0 (S_p + 2h_p \text{tg} \beta_p)} \left[ \cos \psi_1 - f_{\text{тр}} \sin \psi_1 \right],$$

где  $N_0$  – число циклов до точки нижнего перегиба кривой усталости;  $\sigma_r$  – предел выносливости зубьев, МПа;  $\sigma_{\text{кв}}$  – эквивалентное напряжение в основании зуба ремня, МПа;  $m_N$  – показатель степени кривой усталости зубьев;  $\sigma_n, \sigma_{\text{сж}}, \tau$  – соответственно напряжения изгиба, сжатия и сдвига, действующие в материале зубьев ремня, МПа;  $S_p$  – толщина зубьев ремня;  $h_p$  – высота зубьев ремня;  $\beta_p$  – угол профиля зубьев ремня;  $\psi_1$  – угол входа зубьев в зацепление.

Представленные выше зависимости свидетельствуют о значительном влиянии трения скольжения зубьев в зубчато-ременном зацеплении на прочность передачи. В качестве методов снижения трения в контакте зубьев предлагается уменьшение шероховатости рабочих поверхностей ремня и шкивов зубчато-ременной передачи.

Рабочая поверхность зубьев зубчатых ремней покрыта специальной тканевой обкладкой, что способствует повышению их жесткости и износостойкости. Долговечность

обкладки составляет 75...80% общей долговечности зубьев [1]. Она изготавливается из капрона или нейлона и для повышения прочности адгезии к компонентам ремня пропитывается специальными адгезионными составами на основе латекса или резины.

Измерение сил трения между зубом ремня, покрытым тканевым покрытием, и стальным индентором ( $Ra = 1,6$  мкм) проведено в лаборатории "Физика поверхностных явлений" Физико-технического института НАН Беларуси, в которой совместно с Институтом механики металлополимерных систем им. В.А. Белого НАН Беларуси разработан программно-аппаратный комплекс на базе трибометра ПД1 (рис. 1).

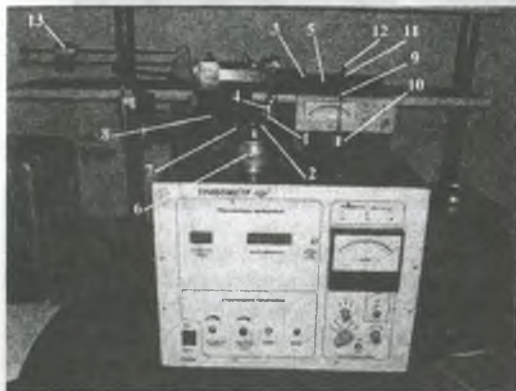


Рис. 1. Трибометр ПД1

- 1 – держатель верхнего образца;
- 2 – держатель нижнего образца;
- 3 – каретка;
- 4 – гайка;
- 5 – траверса;
- 6 – корпус;
- 7 – опорный цилиндр;
- 8 – поворотная стойка;
- 9 – демпфер;
- 10 – чашка;
- 11 – грузовая каретка;
- 12 – винт;
- 13 – противовес

Для ремней, зубья которых покрыты нейлоновой тканью "Нуела-120" пропитанной клеем резиновым 88СА ТУ381051760-89,  $f_{тр} = 0,38 \pm 0,02$ .

Для снижения шероховатости поверхности тканевой обкладки и коэффициента трения по стальному шкиву, а также для повышения жесткости зубьев ремня, на стадии изготовления ткань дополнительно пропитывается специальными адгезионными составами на основе графитного порошка.

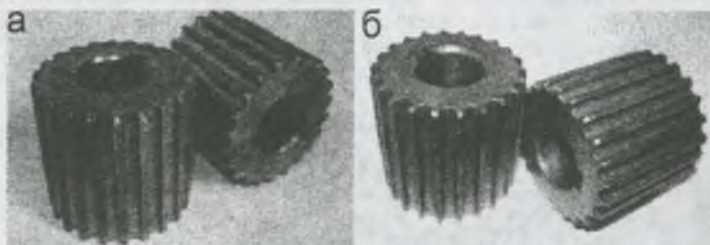
Исследования силы трения на трибометре ПД1 показали, что для ремней, зубья которых покрыты нейлоновой тканью "Нуела-120", дополнительно пропитанной адгезионными составами на основе графитного порошка,  $f_{тр} = 0,25 \pm 0,02$ .

Считается, что шероховатость рабочих поверхностей шкивов зубчато-ременной передачи не имеет решающего значения, т.к. при эксплуатации они подвергаются шлифованию ремнем. Однако при  $Ra > 1,6$  мкм возможность приработки ремня и шкива практически исключается. Ремень быстро выходит из строя вследствие интенсивного истирания его рабочих поверхностей. Рекомендованные значения шероховатости  $Ra = 1,0...1,6$  мкм.

В качестве финишной операции обработки стальных шкивов зубчато-ременной передачи применено электроимпульсное полирование, разработанное и выполненное в лаборатории кафедры "Технология машиностроения" БНТУ [4]. Обработке были подвергнуты шкивы НТД 22-5М-32 (зубья полукруглого профиля, шаг зубьев  $t_{ш} = 5$  мм, число зубьев  $z_{ш} = 22$ , ширина  $b_{ш} = 32$  мм, диаметр вершин  $d_v = 33,87$  мм), изготовленные из стали 45 ГОСТ 1050-88, в количестве 32 штук. Электроимпульсное полирование проводилось в 2%-ном водном растворе хлорида аммония, в течение 1,5 мин., при температуре электролита  $70^\circ\text{C}$  и напряжении 300 В.

Измерение шероховатости осуществлялось по стандартной методике (ГОСТ 2789-73) на профилографе-профилометре М2 фирмы "Mahr GmbH" высоту заусенцев определяли на микроскопе "ПМТ-3"

До обработки шкивы имели шероховатость рабочих поверхностей  $Ra = 1,75 \dots 2,5$  мкм и заусенцы на кромках высотой  $0,2 \dots 0,35$  мм. После электроимпульсного полирования заусенцы на кромках деталей были удалены полностью, шероховатость рабочих поверхностей шкивов снизилась до  $Ra = 1,25 \dots 1,6$  мкм, что соответствует требованиям конструкторской документации. Внешний вид шкивов представлен на рис. 2.



**Рис. 2.** Внешний вид шкивов  
а – до обработки; б – после электроимпульсного полирования

Ресурсные испытания зубчатых ремней "ContiSynchroforce CXP III HTD 1500-5M-32" (Германия), установленных в приводе экспериментальной паркетно-шлифовальной машины "СО-318" ( $P = 2,2$  кВт,  $n = 600$  мин<sup>-1</sup>,  $d = 200$  мм) показали, что после электроимпульсного полирования шкивов долговечность зубчатых ремней увеличилась на  $20 \dots 22$  %. При этом расчетная себестоимость изготовления шкивов при их серийном производстве возрастает незначительно, не более 5%.

Таким образом:

1) в качестве финишной операции техпроцесса изготовления стальных шкивов зубчато-ременных передач использовать электроимпульсное полирование, обеспечивающее с минимальными энерго- и трудозатратами исполнение требований технической документации и увеличение долговечности зубчатых ремней на  $20 \dots 22$ %;

2) при производстве приводных зубчатых ремней использовать износостойкое тканевое покрытие рабочих поверхностей зубьев с дополнительной пропиткой адгезионными составами на основе графитного порошка, что позволяет увеличить долговечность ремней на  $18 \dots 20$ %.

#### Список литературы

1. Баханович, А.Г. Зубчато-ременные передачи: монография / А.Г. Баханович, А.Т. Скойбеда. – Минск: БНТУ 2005. – 364 с.
2. Баханович, А.Г. Трибологический критерий ресурсного проектирования зубчато-ременных передач / А.Г. Баханович // Материалы, технологии, инструменты. – 2005. – Т. 10. № 1 – С. 46–50.
3. Баханович, А.Г. Прогнозирование усталостной долговечности зубчато-ременных передач / А.Г. Баханович, А.Т. Скойбеда // Трибофатика: ISTF – 2005: материалы Междунар. симпозиума. – В 7 т. / Иркут. гос. ун-т путей сообщ., Ин-т машиновед. им. А.А. Благонравова Рос. акад. наук; редкол.: А.П. Хоменко [и др.]. – Иркутск, 2005. – Т. 3. – С. 150–157.
4. Синькевич, Ю.В. Обеспечение геометрических параметров качества поверхности электроимпульсным полированием / Ю.В. Синькевич, И.Н. Янковский // Прогрессивные технологии и системы машиностроения. – Донецк: ДонНТУ 2006. – Вып. 32. – С. 200–206.