

у верхней границы поперечного ребра, находящегося снизу за втулкой, и зона верхней полки, прилегающая к внутренней стенке в месте её изгиба. При таком усилении исходной модели уровень напряжений меньше допустимых в 3,2 раза.

Расчёт и анализ напряжённого состояния новой модели опоры, со швеллером, показывает рисунок 10, откуда видна локальная зона увеличенных напряжений до 237 МПа. Это место соединения верхней полки с внутренней стенкой, у ближайшего изгиба от места крепления круга под пневмобаллон.

Значение напряжений в передней части всех опор невелико, и, как показывает рисунок 11, значение их 59 МПа - самое большое.

Три последние модели штампованных опор удовлетворяют условиям прочности. Полученные данные подтверждаются стендовыми испытаниями (рисунок 12)

## ЛИТЕРАТУРА

1. Капуста П. П. Вероятностная оценка характеристик сопротивления усталости деталей на стадии проектирования машин: Учебно-методическое пособие для ВТУЗов.– Минск.: УП «Технопринт», 2001. 2. ГОСТ 25.504-82.Расчеты и испытания на прочность. Методы расчета характеристик сопротивления усталости. – Введ. 01.07.83. –М.: Изд-во стандартов, 1983.–81 с. 3.Марочник сталей и сплавов/ В.Г. Сорокин, А.В. Волосникова, С.А. Вяткин и др.; Под общ. ред. В.Г. Сорокина.- М.: Машиностроение, 1989. MSC/NASTRAN Version 68 Reference Manual.- The MacNeal-Schwendler Corporation, 1996.

УДК 621.831

Скойбеда А.Т., Бондаренко А.Г., Василенок В.Д.

### ЭКСПЛУАТАЦИОННАЯ СТАБИЛЬНОСТЬ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО НАТЯЖЕНИЯ ЗУБЧАТЫХ РЕМНЕЙ

*Белорусский национальный технический университет*

*Минск, Беларусь*

*Установлено, что ремни со стеклокордом и в особенности с арамидной крученой нитью СП предпочтительно использовать в относительно недолговечных приводах. В противном случае конструкция привода с такими ремнями должна предусматривать возможность регулировки величины предварительного натяжения. Учитывая характер кривой релаксации материала ремня следует устанавливать его с начальным натяжением  $2S_0$ , величина которого на 12—15% больше оптимального. В этом случае в интервале 250—2000 ч эксплуатация будет происходить при натяжении 0,95—1,05 оптимального. Таким образом, основную часть своего срока службы зубчатый ремень будет эксплуатироваться при благоприятных значениях натяжения, что позволит реализовать его максимальную долговечность.*

Наиболее перспективным типом приводов с гибкими ремнями остаются зубчато-ременные. Однако реализация их максимальной долговечности возможна путем поддержания релаксационных силовых параметров в течение всего срока службы. К числу важнейших эксплуатационных параметров следует отнести величину предварительного натяжения  $2S_0$ , определяющую, в частности, вид распределения нагрузки между зубьями ремня и его долговечность.

Исследованиями [1] установлено, что величина  $2S_0$  в процессе эксплуатации ременных передач не является постоянной. Ее уменьшение связано с вытяжкой ремней, обусловленной протеканием в материале ремня релаксационных процессов. В частности, для конкретных типов ременных передач в течение нескольких часов зарегистрировано падение значений  $2S_0$  на 25—35%. Такое уменьшение весьма существенно и его необходимо учитывать при монтаже ременной передачи.

Вместе с тем количественный анализ влияния различных факторов на степень релаксации значений  $2S_0$  в эксплуатационных условиях до настоящего времени не проведен. Если учесть, что зубчатые ремни представляют собой вязкоупругие тела [2], то корректное описание названных выше процессов возможно на основе адекватных реологических моделей ремней. Известно, что релаксационные процессы в вязкоупругих телах могут быть описаны с помощью формальных реологических моделей, состоящих из параллельно установленных элементарных моделей Максвелла. Каждая модель при этом может состоять

из идеально упругого и абсолютно вязкого элементов. Поскольку известна общая нелинейность жесткости зубчатого ремня от растягивающей нагрузки, то предпочтительным следует считать использование в моделях нелинейных упругих элементов.

Базируясь на основных положениях реологии, уравнение релаксации предварительного натяжения в зубчато-ременной передаче с закрепленными опорами валов представлено в виде:

$$2S_0(t) = E_1 \varepsilon_0 e^{-t/\tau_1} + E_2 \varepsilon_0 e^{-t/\tau_2} + E_n \varepsilon_0 e^{-t/\tau_n}, \quad (1)$$

где  $E_1, \dots, E_n$  — значения упругостей элементарных моделей;  $\varepsilon_0$  — начальная относительная деформация ремня;  $\tau_1, \dots, \tau_n$  — время релаксации элементарных моделей, с;  $t$  — текущее значение времени;  $e$  — основание натуральных логарифмов.

Наиболее приемлемым методом определения параметров уравнения (1) следует считать экспериментальный. В его рамках существуют два способа обработки опытных данных и определения дискретного спектра релаксации (графический и аналитический). В силу повышенной точности получаемых результатов второй способ является более предпочтительным [3].

Аналитический способ предполагает определение числа показательных функций в уравнении (1), которое необходимо выделить. Для этого берутся достаточно далекие равноотстоящие значения экспериментальной функции релаксации и составляются определители все возрастающих порядков. Порядок определителя, значение которого положительное, но сравнимо с точностью значений экспериментальной кривой, будет соответствовать искомому числу показательных функций. Поскольку правая часть зависимости (1) представляет собой решение линейного дифференциального уравнения  $n$ -го порядка с постоянными коэффициентами, то его характеристическое уравнение будет иметь вид:

$$B_0 + B_1 x_1^h + B_2 x_1^{2h} \dots B_k x_k^{kh} = 0, \quad (2)$$

где  $B_0, B_1, \dots, B_k$  — коэффициенты уравнения;

$h$  — интервал измерения величины  $2S_0$  и т.д.

$x_1 = e^{-\lambda_1 h}$ ,  $x_2 = e^{-\lambda_2 h}$ , и т.д.

$$\lambda_1 = \frac{1}{\tau_1}, \lambda_2 = \frac{1}{\tau_2}, \dots, \lambda_k = \frac{1}{\tau_k}.$$

Вместе с тем количественный анализ влияния различных факторов на степень релаксации значений  $2S_0$  в эксплуатационных условиях до настоящего времени не проведен. Если учесть, что зубчатые ремни представляют собой вязкоупругие тела [4], то корректное описание названных выше процессов возможно на основе адекватных реологических моделей ремней. Известно, что релаксационные процессы в вязкоупругих телах могут быть описаны с помощью формальных реологических моделей, состоящих из параллельно установленных элементарных моделей Максвелла. Каждая модель при этом может состоять из идеально упругого и абсолютно вязкого элементов.

Определение коэффициентов  $B_0, B_1, \dots, B_k$  производится путем решения системы вида:

$$B_0 y_0 + B_1 y_1 + \dots + B_k y_k = 0 \quad (3)$$

$$B_0 y_1 + B_1 y_2 + \dots + B_k y_{k+1} = 0$$

.....

$$B_0 y_k + B_1 y_{k+1} + \dots + B_k y_{2k} = 0$$

где  $y_0, y_1, \dots, y_{2k}$ , — равноотстоящие экспериментальные значения  $2S_0$ .

Аналогичным образом находятся и неизвестные показатели  $\sigma_1 = E_1 \varepsilon_0; \sigma_2 = E_2 \varepsilon_0; \dots \sigma_n = E_n \varepsilon_0$ .

Для этого решается система уравнений:

$$\sigma_1 + \sigma_2 + \dots + \sigma_n = y_0 \quad (4)$$

$$\sigma_1 x_1 + \sigma_2 x_2 + \dots + \sigma_n x_h = y_1$$

$$\sigma_1 x_1^{k-1} + \sigma_2 x_2^{k-1} + \dots + \sigma_n x_k^{k-1} = y_{k-1}.$$

Значения вязкостей реологических моделей ремня могут быть найдены из соотношений вида:  $h_1 = \tau_1 E_1$ ;  $h_2 = \tau_2 E_2$ ;  $h_n = \tau_n E_n$ . Объектами исследований являлись зубчатые ремни с модулем 2 мм, с числом зубьев 68, изготовленные методом прессования жесткими оболочками. Ремни имели тканевую обкладку зубьев. Корд ремней металлокорд структуры 1X7 диаметром 0.36 мм; стеклокорд 20С-РТ; арамидная крученая нить СП (167). Исследования проводили на специальном стенде, имитирующем установку ремня в передачу с неподвижными опорами валов. Натяжение ремня осуществлялось винтовым механизмом, измерение величины натяжения производилось по стреле прогиба ремня. Конструкция стенда позволяла испытывать одновременно до 20 ремней.

Для ремней с каждым типом корда варьировалась величина начального предварительного натяжения  $2S_0$ , которая принимала дискретные значения 6, 12, 18 и 24 Н/мм. После установки начального натяжения подвижные опоры стенда фиксировались. Измерение натяжения в начальной стадии эксперимента осуществляли через 6—12 ч. в конечной стадии интервал времени между измерениями составлял 168 ч. Исследования релаксации  $2S_0$  для ремней каждого типа проводили в течение 2000 ч, что соответствует номинальному сроку службы зубчатых ремней согласно ОСТ 3805227-81.

В результате измерений были получены 12 обобщенных кривых релаксации [4]. В процессе математической обработки каждой из них по приведенной выше методике установлено, что при четырехкратной повторности точность экспериментальных результатов не позволяет выделить на каждой кривой более трех экспонент. При этом учитывали тот факт, что корректное выделение экспонент возможно в случае существенного различия времен релаксации. В частности, для ремня с металлокордом при  $2S_0 = 24$  Н/мм выражение (1) получено в виде

$$2S_0(t) = 19,5e^{-\frac{t}{3,3} \cdot 10^8} + 4,3e^{-\frac{t}{1,06} \cdot 10^6} + 0,2e^{-\frac{t}{2} \cdot 10^4}, \text{ Н/мм}$$

Значения параметров  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$  (Н/мм) и  $\tau_1, \tau_2, \tau_3$  (с) для ремней с различным типом корда [2]. Их анализ показывает, что наибольшая эксплуатационная стабильность величины  $2S_0$  характерна для ремней с металлокордом. Для ремней со стеклокордом и нитью СП величина натяжения уменьшается во времени в 1,2—1,6 и 7—9 раз интенсивнее. Так, при  $2S_0 = 24$  Н/мм для ремней с металлокордом, стеклокордом и нитью СП в момент времени  $t = 7,26 \cdot 10^6$  с (~84 сут) величина натяжения составляет 19,080; 17,70 и 15.193 Н/мм соответственно.

Следовательно, ремни с металлокордом можно рекомендовать для передач с длительным сроком эксплуатации. Ремни со стеклокордом и в особенности с нитью СП предпочтительно использовать в относительно недолговечных приводах. В противном случае конструкция привода с такими ремнями должна предусматривать возможность регулировки величины предварительного натяжения. Установлено также, что реологические константы ремня зависят от величины начального натяжения. Чем больше  $2S_0$ , тем быстрее релаксирует материал ремня.

В связи с изложенным можно рекомендовать следующую методику установки начального натяжения  $2S_0$  в действующих передачах. Учитывая характер кривой релаксации материала ремня, новые ремни предпочтительно устанавливать с начальным натяжением  $2S_0$ , величина которого на 12—15% больше оптимального. В этом случае в интервале 250—2000 ч эксплуатация будет происходить при натяжении 0,95—1,05 от оптимального. Таким образом, основную часть своего срока службы зубчатый ремень будет эксплуатироваться при благоприятных значениях натяжения, что позволит реализовать его максимальную долговечность.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Пронин Б.А. Клиноременные и фрикционные передачи и вариаторы. М, 1980.2. Скойбеда А. Т., Никончук А. Н., Бондаренко А.Г. // Весці АНБССР, Сер. фіз.-тэхн. навук. 1988. № 2. с. 79-82. 3. Гольберг И.И. Механическое поведение полимерных материалов. М. 1970. 4. Никончук А.Н., Скойбеда А.Т., Шпилевский В.И., Бондаренко А.Г. // Весці АНБССР, Сер. фіз.-тэхн. навук. 1991. № 2., с. 98—102.