

УДК 621.85.052.44

## ПОВЫШЕНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ПРИВОДНЫХ ЗУБЧАТЫХ РЕМНЕЙ МЕТОДОМ ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА

Канд. техн. наук, доц. БАХАНОВИЧ А. Г.

Белорусский национальный технический университет

Основными параметрами технологического процесса производства резинотехнических изделий, и в частности приводных зубчатых ремней, являются давление прессования, температура и продолжительность вулканизации [1, 2].

**Давление прессования.** Передача окружного усилия от зубьев к несущему слою ремня осуществляется посредством механохимических адгезионных сил, возникающих в процессе вулканизации на границе «несущий слой – эластомер».

Давление прессования  $p$  обуславливает прочность адгезионных связей  $\sigma_{ад}$ , наличие или отсутствие пористостей и раковин, т. е. монолитность готового изделия.

От величины  $\sigma_{ад}$  зависят несущая способность и долговечность ремня.

Между  $p$  и  $\sigma_{ад}$  существует регрессионная связь. Это обусловлено тем, что несущий слой (корд) не является монолитным стержнем, а представляет собой совокупность элементарных стержней (проволок, волокон). Величина  $\sigma_{ад}$  зависит от степени проникновения наполнителя (резины) между проволоками или волокнами. Чем выше  $p$ , тем больше заполнение сечения корда резиной и площадь их соприкосновения.

Для определения оптимального уровня  $p$  были проведены экспериментальные исследования. Согласно [3]  $\sigma_{ад}$  определяется усилием  $F$ , необходимым для выдергивания несущего слоя из образцов, представляющих собой фрагменты ремня (рис. 1).

Для металлокордов 5Л15 и 7Л12  $F \geq 50$  Н, для 15Л15 и 12Л12 –  $F \geq 150$  Н.

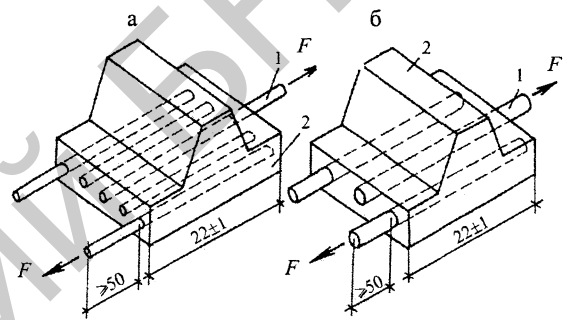


Рис. 1. Образцы ремней для определения прочности адгезии: а – ремень с металлокордом 5Л15; б – ремень с металлокордом 15Л15; 1 – несущий слой; 2 – фрагмент ремня

Практически  $F$  определяется на машине растяжения, снабженной специальными тисками для закрепления оголенных тросов. При раздвигании захватов с тисками фиксируют пиковое значение  $F$ , которое соответствует разрушению адгезионного соединения.

Величину  $\sigma_{ад}$  рассчитывают по зависимости

$$\sigma_{ад} = F / \pi d_k L, \quad (1)$$

где  $d_k$  – наружный диаметр корда;  $L$  – длина завулканизированного участка корда.

Исследования проводились с помощью специального корпуса пресс-формы (рис. 2), имеющего хордальное сверление в центральной части формы. В отверстие устанавливался манометр, представляющий собой подпружиненный шток и размещенный в орбренном корпусе. Свободный конец штока взаимодействовал с индикатором перемещений часового типа ИЧ-1.

Давление в пресс-форме варьировали изменением количества резиновой смеси, заклады-

ваемой в пресс-форму, изменением сечения дросселирующих отверстий, а также регулированием усилия сжатия плит пресса.

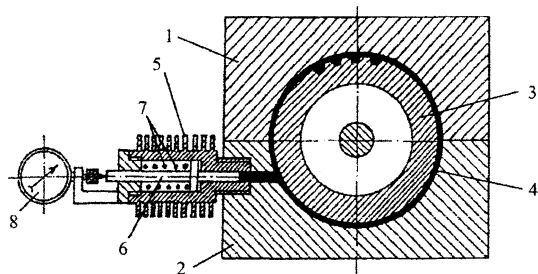


Рис. 2. Схема измерения давления прессования: 1, 2 – верхняя и нижняя полуформы; 3 – зубчатый сердечник; 4 – заготовка ремня; 5 – манометр; 6 – шток; 7 – пружина; 8 – индикатор перемещений

Объектом исследований являлись ремни модуля  $m = 3$  мм с числом зубьев  $z_p = 48$ . Материал наполнителя – резина 1453, полученная на базе хлоропренового каучука. Обкладка – ткань арт. 56320, пропитанная клеем № 420 или резиновой смесью 1453. Несущий слой – металло-трос 5Л15, 15Л15.

Таким образом, были исследованы четыре типа образцов: 1 – 5Л15 + 420; 2 – 5Л15 + 1453; 3 – 15Л15 + 420; 4 – 15Л15 + 1453.

Исследования показали, что вначале  $\sigma_{ад}$  нелинейно возрастает с увеличением  $p$ . После заполнения эластомером всего объема несущего слоя  $\sigma_{ад}$  стабилизируется и дальнейшее увеличение  $p$  не приводит к изменению  $\sigma_{ад}$  (рис. 3).

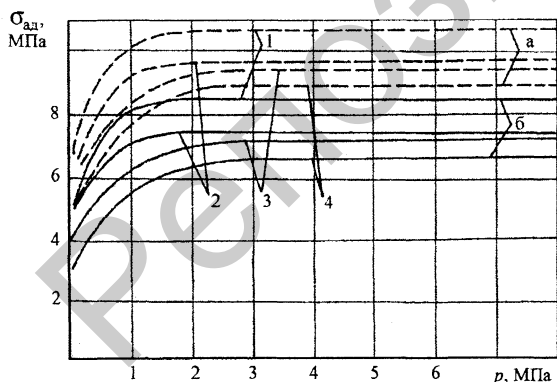


Рис. 3. Зависимость прочности адгезии от давления прессования: а – ремень с металлокордом 15Л15; б – ремень с металлокордом 5Л15; 1–4 – образцы ремней

Анализ полученных зависимостей  $\sigma_{ад} = f(p)$  показывает, что получение  $\sigma_{ад max}$  возможно при условии  $p \geq 4$  МПа. Реализация такого уровня  $p$

осуществляется при прессовании ремня жесткими элементами или секторами [4, 5].

**Температура вулканизации.** Большинство резинотехнических изделий вулканизируют при температуре 140–170 °С [6].

Использование более высоких температур позволяет сократить продолжительность вулканизации и, следовательно, повысить производительность труда. Так, повышение температуры на 10 °С позволяет сократить продолжительность вулканизации почти в два раза [7]

$$\frac{\tau_1}{\tau_2} = K^{\left(\frac{t_2 - t_1}{10}\right)}, \quad (2)$$

где  $\tau_1$  – продолжительность вулканизации при температуре  $t_1$ ;  $\tau_2$  – продолжительность вулканизации при температуре  $t_2$ ;  $K$  – температурный коэффициент скорости вулканизации ( $K \approx 2$ ).

Однако для резин, используемых для производства ремней, при температуре свыше 140 °С наблюдается ухудшение физико-механических свойств готового изделия. Связано это с тем, что в процессе вулканизации наряду с основным процессом – образованием поперечных связей между макромолекулами каучука и пространственной вулканизационной сетчатой структуры – происходят химические процессы циклизации и модификации полимерных цепей, перегруппировка вулканизационных связей, термическая и окислительная деструкция цепей полимера (рис. 4) [7, 8]. Наступает перевулканизация (реверсия) вулканизата.

**Продолжительность вулканизации.** Оптимальность техпроцесса производства ремней определяется наименьшей продолжительностью вулканизации, при которой достигаются наибольшие значения основных физико-механических свойств вулканизата – прочности при растяжении, сопротивления истиранию, устойчивости к старению (рис. 4) [7, 8].

При исследовании механических характеристик каучуков и резины было установлено, что такие показатели, как сопротивление раздиру, образованию и разрастанию усталостных трещин при циклическом нагружении, оказываются более высокими у недовулканизированных образцов [7, 8]. Авторы объясняют это явление тем, что в процессе эксплуатации резинотехнических изделий тепловая энергия, образующая-

ся внутри вулканизата за счет внутреннего трения и механохимических процессов, сначала расходуется на завершение процесса вулканизации до оптимального уровня образования полимерных цепей и вулканизационных связей, а уже затем активизирует, поддерживает или ускоряет процессы термодеструкции и механического разрушения полимерного материала.

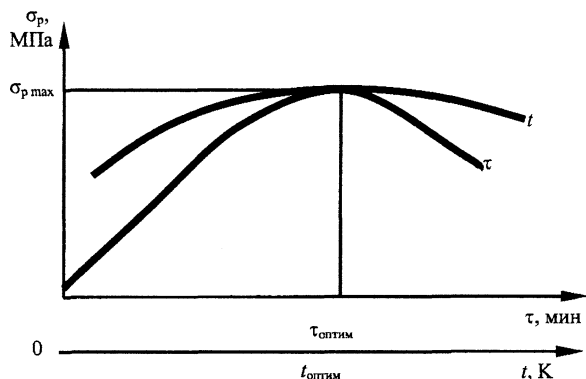


Рис. 4. Зависимость прочности ремня при растяжении от времени и температуры вулканизации

В данном случае должна увеличиться долговечность изделия.

Для экспериментальной проверки влияния продолжительности вулканизации на долговечность были изготовлены две опытные партии (по 10 шт.) ремней, используемых в приводе бытовой кухонной машины. Среда вулканизации – жесткие прессующие сектора; давление вулканизации – 5 МПа; температура вулканизации – 140 °С; продолжительность вулканизации ремней из первой партии – 20 мин, второй – 17 мин.

Ремни были подвергнуты промышленным ресурсным испытаниям на кухонных машинах в заводских условиях. Средний срок службы ремней из первой партии составил 120 ч, из второй партии – 200 ч.

Определим зависимость между продолжительностью испытаний и числом циклов нагружения зубьев ремня. Ремень является неразрывным, совершающим циклические пробеги по контуру передачи между ведущим и ведомым шкивами. За один пробег отдельно взятый зуб ремня испытывает по одному нагружению на обоих шкивах. Зацепление зубьев не допускает упругого скольжения и проскальзывания ремня.

Таким образом, произведение частоты вращения шкива на отношение длины окружности шкива к длине ремня представляет собой количество нагружений отдельно взятого зуба ремня в минуту на соответствующем шкиве, которые обозначим  $N_1$  и  $N_2$ :

$$N_1 = n_1 \frac{\pi d_1}{t_p z_p}; \quad N_2 = n_2 \frac{\pi d_2}{t_p z_p}, \quad (3)$$

где  $n_1, n_2$  – частота вращения ведущего и ведомого шкивов соответственно,  $\text{мин}^{-1}$ ;  $t_p$  – шаг зубьев ремня, мм;  $z_p$  – число зубьев ремня;  $d_1, d_2$  – делительный диаметр ведущего и ведомого шкивов соответственно, мм.

Суммарное количество нагружений отдельно взятого зуба ремня в минуту на обоих шкивах равно

$$N_{\Sigma} = N_1 + N_2 = n_1 \frac{\pi d_1}{t_p z_p} + n_2 \frac{\pi d_2}{t_p z_p} = \frac{\pi(n_1 d_1 + n_2 d_2)}{t_p z_p}. \quad (4)$$

Учитывая, что

$$t_p = \pi m; \quad n_2 d_2 = n_1 d_1; \quad d_1 = m z_1,$$

где  $m$  – модуль зубчато-ременного шкива, мм;  $z_1$  – число зубьев ведущего шкива, получим

$$N_{\Sigma} = \frac{\pi(n_1 d_1 + n_2 d_2)}{t_p z_p} = \frac{2 \pi n_1 m z_1}{\pi m z_p} = \frac{2 n_1 z_1}{z_p}. \quad (5)$$

Общее число циклов нагружения отдельно взятого зуба ремня за время испытаний

$$N_{\text{ц}} = \frac{2 n_1 z_1 t}{z_p}, \quad (6)$$

где  $t$  – общая продолжительность ресурсного испытания, мин.

Частота вращения ведущего шкива исследуемой зубчато-ременной передачи  $n_1 = 10000 \text{ мин}^{-1}$ , число зубьев ведущего шкива  $z_1 = 12$ , число зубьев ремня  $z_p = 90$ , средний ресурс ремней из первой партии  $t_1 = 7200$  мин, второй –  $t_2 = 12000$  мин.

Следовательно, долговечность ремней из первой партии составила  $N_{\text{ц1}} = 1,92 \cdot 10^7$  циклов, второй –  $N_{\text{ц2}} = 3,2 \cdot 10^7$  циклов.

## ВЫВОДЫ

1. Оптимизация режима технологического процесса является эффективным средством по-

вышения долговечности приводных зубчатых ремней.

2. Реализация технологического процесса производства зубчатых ремней с оптимизацией режима по параметрам давление, температура и время вулканизации позволила увеличить долговечность ремней на 67 % и снизить трудозатраты на 10 %.

ЛИТЕРАТУРА

1. Баханович А. Г., Скойбеда А. Т. Зубчато-ременные передачи. – Мн.: БНТУ, 2005. – 364 с.  
 2. Резниковский М. М., Лукомская А. И. Механические испытания каучука и резины. – М.: Химия, 1968. – 500 с.

3. ОСТ 3805227–81. Передачи зубчатым ремнем: Метод расчета. – М.: НИИРП, 1981. – 23 с.  
 4. Скойбеда А. Т., Баханович А. Г., Баханович И. Г. Прогрессивная импортозамещающая технология производства приводных зубчатых ремней из отечественных материалов // Вестник БНТУ. – 2003. – № 3. – С. 38–42.  
 5. А. с. 1481076. СССР, МКИ<sup>5</sup> В29 С35/02. Устройство для изготовления резиновых зубчатых ремней / А. Т. Скойбеда, А. Г. Бондаренко и др.; Бел. политехн. ин-т. – №3685817/23–05; Заявл. 03.01.84; Опубл. 23.05.89. Бюл. № 19 // Открытия. Изобретения. – 1989. – № 19. – С. 67.  
 6. Кошелев Ф. Ф., Корнев А. Е., Буканов А. М. Общая технология резины. – М.: Химия, 1978. – 528 с.  
 7. Белозеров Н. В. Технология резины. – М.: Химия, 1979. – 472 с.  
 8. Лукомская А. И., Евстратов В. Ф. Основы прогнозирования механического поведения каучуков и резин. – М.: Химия, 1975. – 360 с.

УДК 621.923

ОСОБЕННОСТИ ФИНИШНОЙ ОБРАБОТКИ РОЛИКОВ С БОЧКООБРАЗНОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ

Канд. техн. наук КРИВКО Г. П., асп. ЧЕРЕЙ Д. А.

Белорусский национальный технический университет

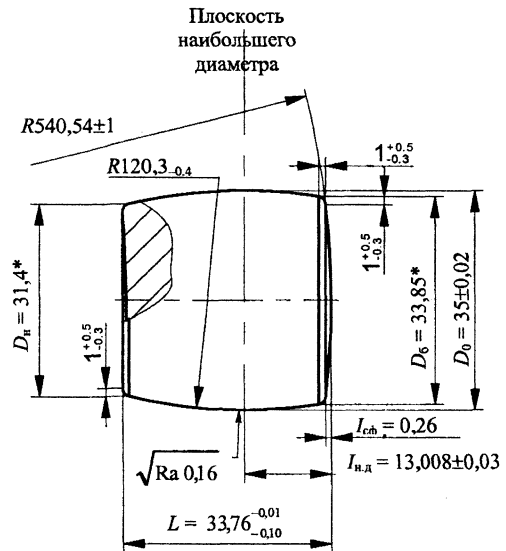
Анализ исследовательских работ и производственного опыта [3] показывает, что процесс суперфиниширования деталей с переменными поперечным и продольным сечениями, например бочкообразного ролика (рис. 1), имеет проблемный характер. Проблема заключается в том, что при суперфинишировании брусок, перемещаясь вдоль оси бочкообразной поверхности, в каждый момент времени контактирует с разной кривизной обрабатываемой поверхности. Исследуем кривизну бочкообразной поверхности в продольных плоскостях, в которых совершают движение абразивные зерна при суперфинишировании.

В любом поперечном сечении ролика, удаленном от плоскости наибольшего диаметра на расстояние  $x_i$  (рис. 2), уменьшение его радиуса составляет величину

$$\Delta y_{обр} = R_{обр}(1 - \cos \alpha_i), \quad (1)$$

где  $R_{обр}$  – радиус образующей;  $\alpha_i = \arcsin \frac{x_i}{R_0}$ ;

$R_0$  – радиус ролика в наибольшем сечении.



\* Размеры для справок

Наименование параметра	Допустимые отклонения по ТУ, мкм
Гранность	5
Волнистость	–
Биеение торца	4
Овальность	2

Рис. 1. Ролик