

сорбционных процессов. Климатические испытания гильз цилиндров из чугуна марки СЧ21-40 показали, что применение ингибирующей СОЖ на операции хонингования увеличивает срок службы

инструмента и обеспечивает межоперационную консервационную защиту в течение не менее 50 часов, что позволяет достигнуть поставленной цели.

#### Список литературы

1. Абрамзон А. А. Поверхностно-активные вещества. Свойства и применение. Л., 1975.

2. Улич Г. Г., Ревя П. У. Коррозия и борьба с ней. Л., 1989.

3. Гольдаде В. А., Струк В. А., Песецкий С. С. Ингибиторы изнашивания металлополимерных систем. М., 1993.

4. Дехант И., Дану Р., Киммер В. и др. Инфракрасная спектроскопия. М., 1976.

Получено 19. 09. 97

**N.V. Drobyshevsky, S.I. Sukhoparov, D.D. Suprun.** Cutting fluid-inhibitor for honing of internal-combustion engine cylinder lines.

Test data of anticorrosive properties of new cutting fluid for honing of engine cylinder liners are given in the article.

**Вестник Белорусского государственного университета транспорта: Наука и транспорт. 2000. № 1**

УДК 678.6:539.4

*Ю. Д. ТЕРЕШКО, доцент кафедры «Материаловедение, обработка и упрочнение материалов» Белорусского государственного университета транспорта, г. Гомель, М. М. БЛИЗНЕЦ, ст. научный сотрудник Гомельского государственного университета, В. А. ДОЛОНГОВСКИЙ, начальник службы локомотивного хозяйства Белорусской ж. д., г. Минск, Т. Н. МАТУЛЬ, ст. преподаватель кафедры «Физика» Белорусского государственного университета транспорта, г. Гомель.*

### ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ АРМИРОВАННЫХ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ФЕНОЛФОРМАЛЬДЕГИДНЫХ СМОЛ

Исследовано влияние латекса, модифицированного стеаратом цинка, измельченной древесины и вязкого волокна на триботехнические и физико-механические свойства фенолформальдегидных композитов.

Отвержденные фенолформальдегидные полимеры являются хрупкими материалами, и их износ в процессе трения соответствует закономерностям как абразивного, так и усталостного механизмов изнашивания [1]. Повысить их износостойкость предложено путем модифицирования связующего линейными полимерами, например поливинилбутиралем [1,2]. Это позволяет получать полимерные матрицы со структурой типа полувзаимопроникающих сеток, обладающих более широким спектром свойств в сравнении с индивидуальными полимерами [3]. Исследования показывают, что такие модифицированные связующие имеют недостаточно высокую эластичность и при эксплуатации в узлах трения, подверженных вибрации, наблюдается их низкая износостойкость, обусловленная высокой скоростью трещинообразования. В значительной мере этих недостатков лишены фенолформальдегидные полимеры, модифицированные латексом [4]. Однако в настоящее время практически не исследовано взаимное влияние латекса и армирующих наполнителей на

триботехнические и физико-механические свойства фенолформальдегидных полимеров.

В настоящей работе исследовано влияние бутадиенового латекса, измельченной древесины и вязкого волокна на триботехнические и физико-механические характеристики отвержденных фенолформальдегидных полимеров. В экспериментах использовали фенолформальдегидную смолу марки ЛБС-3 (ГОСТ 901-71), модифицированную бутадиеновым латексом (ГОСТ 11808-88), и отвердитель – гексаметиленetetрамин (ТУ 6-09-36-70). В качестве наполнителей применяли измельченные отходы вязкого кордного волокна (ТУ 39-190-75) и древесины. Для улучшения антифрикционных свойств материала латекс модифицировали стеаратом цинка в соотношении 4:1. Образцы изготавливали методом компрессионного прессования при температуре 160 - 170 °С с выдержкой под давлением 40 МПа в течение 1 минуты на 1 мм толщины изделия. Износостойкость композиционных материалов исследовали на машине трения СМЦ-2 при нагрузке 1,5 МПа и ско-

рости относительного скольжения 0,5 м/с в условиях трения без смазочного материала по стальному контртелу. Физико-механические свойства материалов исследовали по соответствующим ГОСТам.

Для экспериментов использовали центральное композиционное ротатбельное планирование второго порядка [5]. В качестве параметров оптимизации были выбраны интенсивность изнашивания  $I$ , коэффициент трения  $f$ , удельная ударная вязкость  $\alpha$ , кДж/м<sup>2</sup>, твердость НВ, МПа, и разрушающее напряжение при сжатии  $\sigma_c$ , МПа, а в качестве факторов – содержание в фенолформальдегидной смоле латекса ( $X_1$ ), модифицированного стеаратом цинка, измельченной древесины ( $X_2$ ) и вязкого волокна ( $X_3$ ). Содержание модификаторов, соответствующих основному уровню варьирования независимых переменных, составляло:  $C_1 = 4 \pm 2$  мас. ч. латекса, модифицированного стеаратом цинка;  $C_2 = 15 \pm 5$  мас. ч. измельченной древесины;  $C_3 = 100 \pm 20$  мас. ч. вязкого волокна.

После обработки экспериментальных данных на ЭВМ были получены уравнения, отражающие влияние ингредиентов на триботехнические и физико-механические свойства фенолформальдегидного композиционного материала:

$$I \cdot 10^8 = 5,284 + 0,306X_1 - 0,327X_2 - 0,705X_3 + 0,011X_1X_2 + 0,504X_1X_3 - 1,591X_2X_3 + 0,114X_1^2 + 0,194X_2^2 + 0,604X_3^2; \quad (1)$$

$$f = 0,4104 + 0,0846X_1 + 0,0065X_2 - 0,0189X_3 + 0,0472X_1X_2 + 0,0267X_1X_3 - 0,0743X_2X_3 - 0,0052X_1^2 + 0,0227X_2^2 + 0,0552X_3^2; \quad (2)$$

$$\alpha = 35,79 - 1,547X_1 + 1,254X_2 + 5,093X_3 - 0,144X_1X_2 - 1,992X_1X_3 + 2,831X_2X_3 - 3,083X_1^2 - 0,983X_2^2 - 3,403X_3^2; \quad (3)$$

$$HB = 381,8 + 2,528X_1 + 4,291X_2 + 15,79X_3 - 3,083X_1X_2 - 12,5X_1X_3 + 6,667X_2X_3 - 3,648X_1^2 - 6,182X_2^2 - 12,84X_3^2; \quad (4)$$

$$\sigma_c = 189 - 4,459X_1 + 7,512X_2 + 0,31X_3 - 1,208X_1X_2 + 2,958X_1X_3 - 2,708X_2X_3 - 1,531X_1^2 - 6,716X_2^2 - 5,656X_3^2. \quad (5)$$

Проверку адекватности математических моделей проводили по критерию Фишера ( $F_T = 5,05$ ) [5]. Экспериментальные значения этого критерия и доверительные интервалы коэффициентов уравнений регрессии составляют: для уравнения (1) –  $F_3 = 5,02$ ;  $\Delta b_i = 0,0678$ ;  $\Delta b_{ii} = 0,066$ ;  $\Delta b_{ij} = 0,896$ ; для уравнения (2) –  $F_3 = 5,96$ ;  $\Delta b_i = 0,0033$ ;  $\Delta b_{ii} = 0,0032$ ;  $\Delta b_{ij} = 0,0043$ ; для уравнения (3) –  $F_3 = 3,87$ ;  $\Delta b_i = 0,1683$ ;  $\Delta b_{ii} = 0,1638$ ;  $\Delta b_{ij} = 0,2199$ ; для уравнения (4) –  $F_3 = 1,32$ ;  $\Delta b_i = 3,679$ ;  $\Delta b_{ii} =$

$3,582$ ;  $\Delta b_{ij} = 4,807$ ; для уравнения (5) –  $F_3 = 3,24$ ;  $\Delta b_i = 3,077$ ;  $\Delta b_{ii} = 2,996$ ;  $\Delta b_{ij} = 4,02$ .

Анализ уравнений (1) и (3) показывает, что триботехнические и физико-механические свойства композиционного материала существенно зависят как от индивидуальных свойств использованных наполнителей, так и от их взаимного влияния. Так, например, наибольшее влияние на снижение интенсивности изнашивания и повышение ударной вязкости разработанного композиционного материала оказывает эффект взаимодействия измельченной древесины и вязких волокон. Это связано с сильным влиянием указанных наполнителей на процесс структурирования связующего и повышением его сопротивления фрикционно-контактной усталости.

Так как срок службы антифрикционных композиционных материалов определяется предельно допустимым износом, то оптимизацию состава материала осуществляли по координатам точки минимума функции (1). В результате машинной обработки установили, что минимальную интенсивность изнашивания  $I = 2,753 \cdot 10^{-8}$  имеет композит на основе фенолформальдегидного полимера, содержащего 2 мас. ч. латекса, модифицированного стеаратом цинка, 20 мас. ч. измельченной древесины и 120 мас. ч. вязкого волокна на 100 мас. ч. фенолформальдегидной смолы (в пересчете на сухое вещество).

На основе фенолформальдегидной композиции оптимального состава разработан еще один вариант износостойкого пресс-материала, который получали путем дополнительного введения в связующее 10 мас. ч. графита. В результате проведения экспериментальных исследований установили, что разработанный антифрикционный материал характеризуется следующими показателями: разрушающее напряжение при сжатии – 148 МПа; твердость – 370 МПа; удельная ударная вязкость – 32 кДж/м<sup>2</sup>; интенсивность изнашивания  $I = 1,83 \cdot 10^{-9}$  и коэффициент трения – 0,18 – 0,23 при трении без смазочного материала.

Таким образом, проведенные исследования показывают, что использование графита, латекса, измельченной древесины и вязкого волокна в качестве наполнителей позволяет в широких пределах регулировать износостойкость и физико-механические свойства композитов на основе фенолформальдегидных смол.

#### Список литературы

1. Крижановский В. К. Износостойкие реактопласты. Л.: Химия, 1984.

2. Лисовский В. В., Резник В. Д. Кинетика отверждения модифицированной резольной фенолформальдегидной смо-

лы // Известия АН БССР. Серия хим. наук. 1986. № 1. С. 90–93.

3. *Липатов Ю. С., Сергеева Л. М.* Взаимопроникающие полимерные сетки. Киев: Наукова думка, 1979.

4. *Барчан Г. П., Хван К. С., Хохловкин А. Е.* Изучение влияния термического отверждения фенолкаучукового свя-

зующего на свойства композиционных покрытий // Новое в производстве и применении фено- и аминопластов. М.: МДНТП, 1989. С. 53–58.

5. *Евдокимов Ю. А., Колесников В. И., Тетерин А. И.* Планирование и анализ экспериментов при решении задач трения и износа. М.: Наука, 1980.

Получено 22. 09. 97

**Y.D. Tereshko, V.A. Bliznets, V.A. Dolongovsky, T.N. Matul.** Endurance of reinforced composites based on modified phenol-formaldehyde resins.

Influence of crushed timber, viscose fiber and latex modified by zinc stearate on tribotechnical-and –physical properties of phenol-formaldehyde is analyzed in the article.