

**Выводы.** 1. Приведены новые решения пространственной контактной задачи применительно к зубчатым передачам с точечной системой зацепления эвольвентных зубьев. Получены выражения максимальных контактных напряжений и размеров эллиптической площадки контакта.

2. Установлено, что нагрузочная способность по контактным напряжениям исследуемой зубчатой передачи при величинах параметра криволинейности  $\Delta = 0,01 \dots 0,025$  мм в торцовых сечениях зубьев в 2...3 раза выше таковой по сравнению с традиционной эвольвентной передачей, характеризуемой линейным контактом зубьев.

3. В дальнейшем целесообразно продолжить исследования зубчатых передач с точечной системой зацепления эвольвентных зубьев, используя различные кривые образующих боковых поверхностей зубьев шестерни.

**Список литературы.** 1. Д. п. № 11414 на корисну модель. Україна. Зубчаста передача Попова О.П. з точковою системою зацеплення евольвентних зубів / Попов О.П. – U200506846; Заявл. 11.07.05; Опубл. 15.12.05. Бюл. № 12. 2. Д. п. № 11414 на корисну модель. Україна. Евольвентна зубчаста передача з точковим контактом зубів / Попов О.П., Каіров О.С. – U200602435; Заявл. 06.03.06; Опубл. 15.08.06. Бюл. № 8. 3. Попов А.П., Каіров А.С., Медведовский А.М. Контактная прочность зацепления Новикова с эллиптическими зубьями // Збірник наук. праць НУК. – Миколаїв: НУК. – 2006. – № 4 (409). – С.162-171. 4. Попов А.П., Каіров А.С. Зубчатая передача с эллиптическими образующими боковых поверхностей эвольвентных зубьев // Труды Междунар. науч.-техн. конф. “Надежность и долговечность механизмов, элементов конструкций и биомеханических систем”. Севастополь: СНТУ. – 2006. – С.22-27. 5. Попов О.П., Попова Л.О. Дослідження моделі контакту напівпросторів, які обмежені криволінійними поверхнями, застосовно до зацеплення Новикова // Вісник аграрної науки Причорномор’я. – Миколаїв: ААП. – 2001. – Вып.1 (10). – С. 121-131. 6. Попов А.П., Попова Л.А. Исследование максимальных контактных напряжений в зацеплении эвольвентных зубьев // Збірник наук. праць Укр. державного морського технічн. ун-ту. – Миколаїв: УДМТУ. – 2002. – № 4 (382). – С.109-118.

Сдано в редакцию 15.01.07

## ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ ЭПОКСИФЕНОЛЬНЫХ ОЛИГОМЕРОВ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ ТЕРМОПЛАСТАМИ

**Прушак В.Я., Дмитроченко В.В., Овчинников Е.В. Костюкович Г.А.** (ЗАО «Солигорский Институт проблем ресурсосбережения с Опытным производством», г. Солигорск; УО «Гродненский государственный университет имени Янки Купалы», Г. Гродно, Беларусь)

*The influence of dispersed thermoplastics on the wear resistance of composite materials on the basis of epoxy-phenol oligomers is investigated. It is obtained that the effect of an increase in the wear resistance is caused by formation on the rubbing surfaces of the antifriction film of thermoplastics.*

**1. Введение.** Защитные покрытия на основе полимерных матриц различного состава относятся к числу наиболее эффективных методов защиты технологического оборудования предприятий по производству химической продукции от коррозионного

разложения [1-4]. Для обеспечения заданных служебных характеристик полимерных покрытий в их состав входят функциональные модификаторы, повышающие прочностные, триботехнические, теплофизические и другие характеристики. Широкое применение в промышленности имеют композиционные материалы на основе олигомеров сшивающихся смол – эпоксидных, полиэфирных, фенолоформальдегидных – имеющих развитую сырьевую базу, относительно невысокую стоимость и обеспечивающих качественную защиту поверхностей оборудования. Дальнейшее совершенствование составов композиционных защитных материалов с целью улучшения их служебных характеристик имеет большую актуальность.

**2. Основное содержание и результаты работы.** В работах [5-7] показано, что весьма высокими показателями физико-механических свойств обладают эпоксидиановые связующие, отвержденные новолачными фенолоформальдегидными олигомерами (ФФО). Получение блок-сополимера, являющегося продуктом взаимодействия эпоксидного и новолачного олигомеров, осуществляют обычно при температурах выше 120°C в течение 0,5-6 ч в присутствии отвердителей.

Отверждение эпоксифенольных олигомеров без введения отвердителей и катализаторов при температурах 160-180°C происходит путем взаимодействия эпоксидных и гидроксильных фенольных групп. Кроме того, возможно взаимодействие эпоксидной группы с вторичной гидроксильной группой. При температурах выше 200°C возможны реакции конденсации между алкидными и фенольными гидроксильными группами макромолекул эпоксифенольного олигомера. Эпоксифенольные полимеры имеют следующие показатели: твердость 190-220 МПа, температуру стеклования 95-100°C.

Существенный интерес представляют исследования влияния состава сополимерного продукта на служебную износостойкость покрытий. Исследованиями установлено, что триботехнические характеристики эпоксифенольных олигомеров зависят от технологических режимов переработки.

Как следует из работы [7], с увеличением продолжительности термообработки кривая износа эпоксифенольного полимера проходит через минимум (рис. 1). Причем с увеличением температуры отверждения наблюдается сдвиг минимума на кривых изнашивания в область меньшего времени термообработки. С увеличением продолжительности термообработки наблюдается определенная тенденция к снижению коэффициента трения. При этом на поверхности трения металлического контртела образуются пленки переноса из сополимера толщиной до 3 мкм. В результате фрикционного взаимодействия с металлическим контртелом происходит разупрочнение полимера, что приводит к снижению твердости поверхности трения по сравнению с твердостью исходного материала (табл. 1 [7]). Одной из причин такого снижения твердости эпоксифенольного полимера может быть переход в процессе трения сополимера в высокоэластичное состояние. При этом в зависимости от термомодеформационных особенностей эпоксифенольного связующего, определяемых подвижностью межузловых фрагментов макромолекулярной сетки отвержденного полимера, защитный слой может покрывать рабочую поверхность полностью или частично. Установлено, что при неизменном химическом составе полимера с уменьшением межузлового фрагмента  $m_c$  снижается возможность образования высокоэластичного слоя.

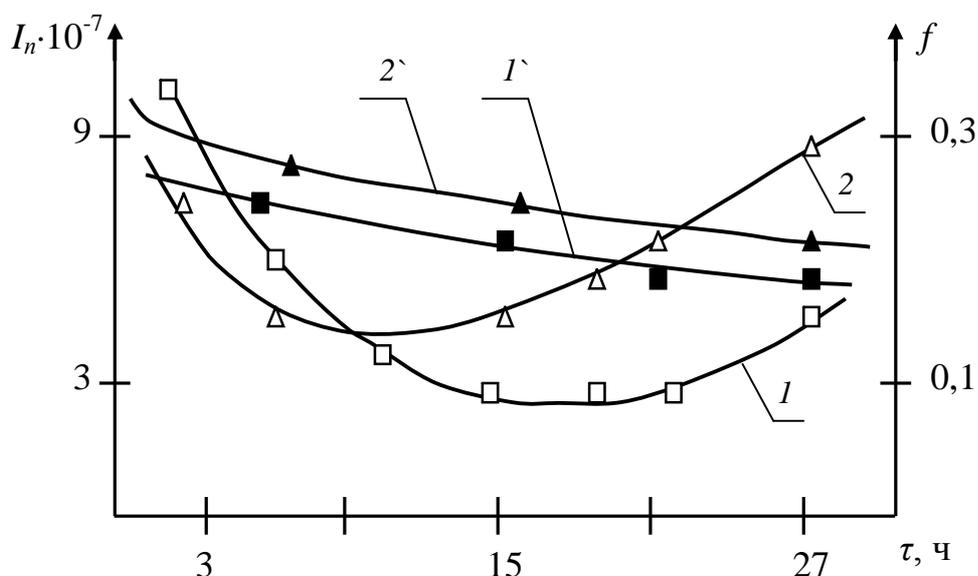


Рис. 1. Зависимость интенсивности линейного изнашивания ( $I, 2$ ) и коэффициента трения ( $I', 2'$ ) от продолжительности термообработки эпоксифенольного связующего при различных температурах:  $1, I' - 180$ ;  $2, 2' - 200^\circ\text{C}$ ; толщина покрытия  $100\ \mu\text{м}$ ; скорость скольжения  $v = 0,012\ \text{м/с}$ ; нагрузка  $P = 1,0\ \text{МПа}$  [7]

Таблица 1. Микротвердость поверхности трения эпоксифенольных полимеров различных марок до и после испытаний [7]

Микротвердость, МПа	16Э010-50-2	16Э10-60-2	16010-60-1	16Э010-60-0,5
<b>исходная</b>	244	260	251	274
после испытания ( $v = 0,01\ \text{м/с}$ ):				
- ЧЕРЕЗ 2 Ч	23,8	24,6	24,0	27,1
- через 6 ч	24,2	25,8	25,0	27,1

Исследовано влияние молекулярной массы блок-сополимера, полученного при взаимодействии оксидианового связующего и фенольного олигомера СФ-010, на величину  $M_c$  структурной сетки связующего. Установлено, что при изменении времени взаимодействия компонентов от 0,5 до 5 ч средняя молекулярная масса олигомера возрастает от 1050 до 2100 (табл. 2).

Повышения сопротивления фрикционно-контактной усталости эпоксифенольного связующего можно достичь путем его химического модифицирования. Так, например, модифицирование эпоксифенольных связующих термопластичными полимерами, поливиниловым спиртом (ПВС), полиолефинами (ПП, пэнд), поливинилбутиралем (ПВБ) позволяет значительно повысить износостойкость полимера при изменении коэффициента трения, характерного для немодифицированного связующего. Исследованы особенности взаимодействия ПВБ с эпоксифенольным олигомером. Методом ик-спектроскопии установлено, что между пвб и эпоксифенольным блок-сополимером могут протекать следующие реакции:

присоединение эпоксидной группы к фенольному гидроксилу; взаимодействие эпоксидной группы с гидроксильной группой ПВБ; дегидратация ПВБ; конденсация вторичных гидроксильных групп; взаимодействие атома водорода в пара- и орто-положении по отношению к фенольному гидроксилу новолачной смолы с гидроксильной группой ПВБ. При этом лучшими физико-механическими свойствами обладает эпоксифенольный полимер, содержащий 20-50 % ПВБ. Фрикционные испытания блок-сополимера показали, что в диапазоне нагрузок 0,5-2,6 МПа кривые износа имеют минимум при содержании 10-30 % ПВБ в полимере (рис. 2). Введение ПВБ в эпоксифенольный блок-сополимер приводит к снижению силы трения и повышению его износостойкости.

Таблица 2. Значения молекулярной массы ( $M_M$ ) и  $M_C$  в зависимости от времени сополимеризации и отверждения [7]

Время сополимеризации при 120°C, ч	$M_M$ блок-сополимера	При различном времени отверждения при 180°C, ч			
		4	5	10	15
0,5	700-1400	1360	1100	780	720
1	700-1600	1440	1320	960	800
2	800-2000	1800	1420	1050	940
3	900-2200	2150	1550	1040	960
5	1100-3100	2350	1800	1260	1050

Существенного повышения триботехнических характеристик совмещенного связующего можно достичь путем модифицирования порошками ПЭНД и полиамида (ПА). При переработке отверждение эпоксифенольного связующего сопровождается химическим взаимодействием эпоксидных и фенольных групп с водородом аминной и амидной групп полиамида. При содержании в смеси выше 50 % эпоксифенольный олигомер оказывает на полиамид структурирующее действие, заключающееся в том, что глобулы сополимера, сформированные в олигомерной фазе, выполняют роль центров кристаллизации термопласта. При этом по сравнению с ПА значительно улучшаются износостойкость и физико-механические свойства смеси. Полиолефиновый модификатор выполняет функцию сухой смазки, обеспечивая снижение интенсивности изнашивания и коэффициента трения (рис. 3).

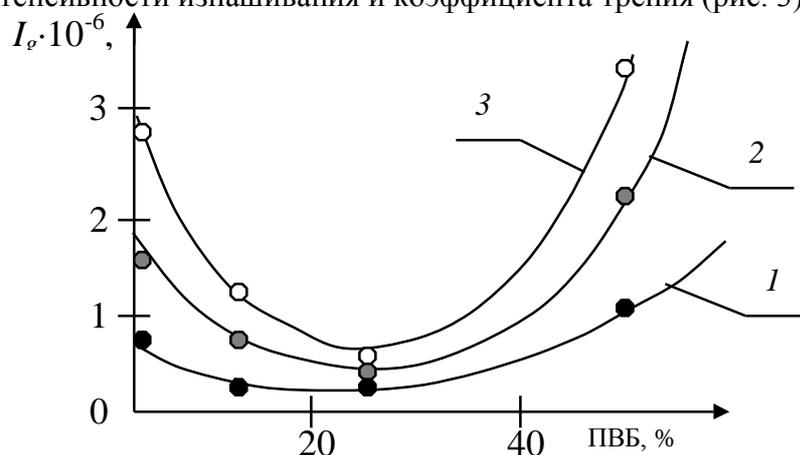


Рис. 2. Зависимость интенсивности изнашивания покрытия из эпоксифенольного связующего от содержания поливинилбутираля (трение без смазки,  $v = 0,012$  м/с);  $P = 0,5$  МПа (1);  $P = 1,6$  МПа (2);  $P = 2,6$  МПа (3)

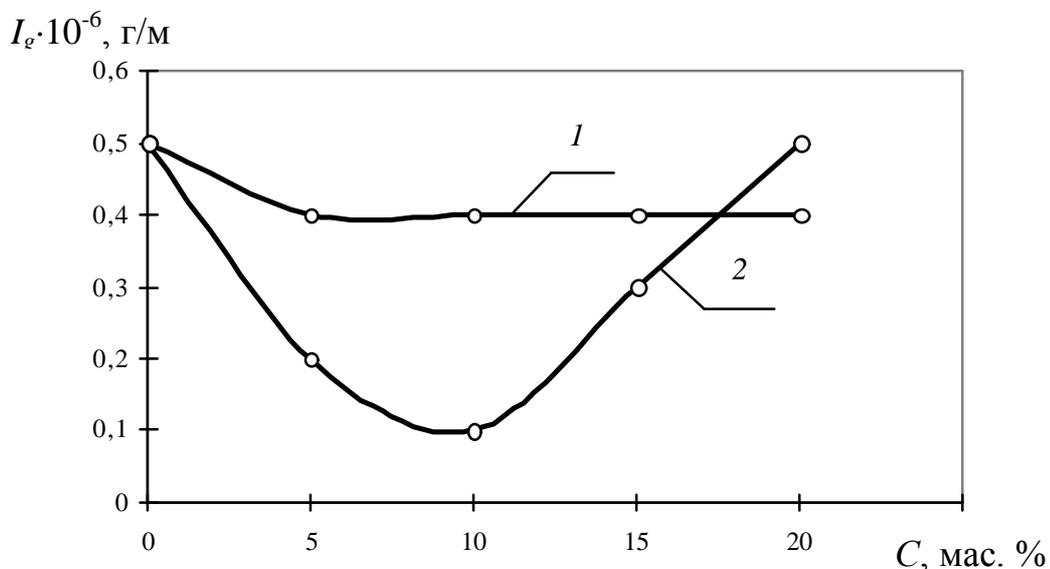


Рис. 3. Зависимость интенсивности изнашивания покрытия из эпоксифенольного связующего, модифицированного 20 мас. % ПВБ, от содержания дисперсного ПАБ (1) и ПЭНД (2) при трении без смазки; скорость скольжения  $v = 0,012$  м/с; нагрузка  $P = 1,0$  МПа

**3. Выводы.** Модифицированные термопластичными полимерами покрытия на базе совмещенной матрицы можно использовать в качестве основы при получении композиционных защитных материалов. При этом целесообразно использовать термопластичный модификатор с высокой стойкостью к изнашиванию, сравнимому с изнашиванием структурированной матрицы. Термопластичный компонент в совмещенной матрице обеспечивает снижение интенсивности изнашивания.

**Список литературы** 1. Белый В.А., Довгяло В.А. Полимерные покрытия. – Минск, 1976. – 260 с. 2. Защитные коррозионно-стойкие покрытия / В.С. Ивашко, И.Л. Куприянов, А.И. Шевцов, Л.А. Мосина. – Минск: Бестпринт, 1996. – 370 с. 3. Королев А.И., Королев Н.В. Современное и перспективное противокоррозионное покрытие для нефтегазовой промышленности: Обзор. информ. / ВНИИОЭНГ; сер. борьба с коррозией и защита окружающей среды. – М., 1988. – 18 с. 4. Юркевич Г.Н., Якубеня Н.А., Юркевич О.Р. Композиционные полимерные материалы и покрытия: Обзор. информ. / БелНИИНТИ; сер. коррозия в эксплуатационных условиях. – Минск, 1990. – 40 с. 5. Химически стойкие эпоксидные покрытия // Ochr. Koroz. – 1997. – № 11. – С. 40. 6. Чернин И.З., Смехов Ф.М., Жердев Ю.В. Эпоксидные полимеры и композиции. – М., 1982. 7. Крыжановский В.К. Износостойкие реактопласты. – Л., 1984.

Сдано в редакцию 19.01.07