

УДК 621.891

МЕХАНИЧЕСКИЕ И ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ СВЕРХВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНОГО ПОЛИЭТИЛЕНА

В.Д. Данилов

В работе представлены результаты исследований полимерматричных композиционных материалов на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ) с наполнителем, в качестве которого использовалась ультрадисперсная бронзовая пудра, подвергнутая предварительной механоактивационной обработке. Описан процесс механохимического синтеза порошковых композиционных смесей, в процессе которого в аппарате механохимического синтеза в ходе низкотемпературного процесса обрабатываются порошки наполнителя и полимерной матрицы. Приводятся результаты экспериментальных исследований изготовленных образцов.

Интерес к существующим и разрабатываемым полимерматричным композитам (ПК) обуславливается возможностью управления их физико-механическими и трибологическими свойствами применительно к условиям работы трибосопряжений различных машин и механизмов. Это успешно развивающееся направление рассматривается практически одним из немногих способов создания функциональных материалов, позволяющим получить изделия с лучшими эксплуатационными свойствами. В настоящее время ПК широко используются в качестве конструкционных и триботехнических материалов, заменяя традиционные черные металлы и цветные сплавы. Им отводится важная роль в снижении материалоемкости машин и механизмов, в повышении их надежности и долговечности.

Невысокая стоимость и коммерческая доступность термопластичных полимеров и ультрадисперсных порошковых наполнителей, возможность использования традиционных технологий и оборудования для получения ПК обеспечивают высокую эффективность и экономичность их производства и внедрение этих материалов в машиностроение.

Конструирование перспективных полимерматричных композитов основывается на анализе условий функционирования таких узлов трения, как подшипниковые и уплотнительные конструкции различных машин. Для узлов трения, не испытывающих ударных нагрузок, композиционные материалы могут быть модифицированы сферическими частицами-упрочнителями без использования дорогостоящих волокнистых материалов – стекловолокна и, особенно, углеродного волокна. Это обстоятельство позволяет наиболее эффективно применять механохимические методы модификации и синтеза исходных материалов для полимерматричных композиционных материалов.

В ходе конструирования полимерматричных композиционных материалов решается задача по подбору полимерной матрицы и наноструктурного наполнителя (частиц упрочняющей фазы). К полимерной матрице предъявляются такие требования, как высокая (или достаточная) механическая прочность, стойкость к воздействию агрессивных сред, удовлетворительные трибологические характеристики, прежде всего антифрикционные свойства, достаточная термостойкость и противозносная стойкость.

Наноструктурный наполнитель должен характеризоваться более высокой твердостью и прочностью, чем у материала матрицы, высокими или удовлетворительными антифрикционными свойствами, высокой теплопроводностью, удовлетворительной адгезией к материалу матрицы или реакционной связью с ней

В работе представлены результаты исследований полимерматричных композиционных материалов на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ) с наполнителем, в качестве которого использовалась ультрадисперсная бронзовая пудра, подвергнутая предварительной механоактивационной обработке. Режимы этой обработки выбраны исходя из требуемой дисперсности и сфероидизации частиц наполнителя. После чего следовал механохимический синтез порошковых композиционных смесей, в процессе которого в аппарате механохимического синтеза в ходе низкотемпературного процесса обрабатываются порошки наполнителя и полимерной матрицы. Для приготовления порошковых композиционных смесей применены высокоэнергетические активаторы двух типов: шаровой планетарный и вибрационный. Таким образом, были подготовлены порошковые композиционные смеси полимерной матрицы и наполнителя с различным соотношением их массовых частей. Экспериментальные образцы для исследования механических и триботехнических свойств изготовлены горячим прессованием порошковых композиционных смесей.

Исследования механических характеристик ПК с различной концентрацией наполнителя проводились по стандартным методикам. В ходе механических испытаний на растяжение определялись следующие характеристики: модуль упругости E_p , предел прочности σ_{pp} и относительное удлинение ε_{pp} , предел текучести σ_T и соответствующее ему относительное удлинение ε_T .

Исследование трибологических характеристик ПК осуществлялось в режиме сухого трения, который является экстремальным при функционировании подшипниковых и уплотнительных конструкций различных механизмов. Применена следующая схема трения: экспериментальный плоский образец из ПК – вращающийся диск из стали 40Х с твердостью 55 HRC. Нагрузка Q на контакте варьировалась в пределах 7 – 19 Н, скорость скольжения $v=2,56$ м/с. По результатам испытаний определялись величины интенсивности изнашивания I (отношение толщины изношенного слоя к пути трения), коэффициента трения f , микротвердости H поверхности трения.

На рис. 1 - 3 приведены зависимости, связывающие физико-механические характеристики ПК при растяжении с концентрацией бронзовой пудры в композите. Оценивалось влияние способа механоактивации на различных механоактиваторах на свойства готового материала. Анализируя полученные зависимости σ_{pp} и ε_{pp} , можно отметить, что они имеют достаточно ярко выраженные экстремумы. Для предела прочности при растяжении эти экстремумы соответствуют примерно 10 – 20 %-ному содержанию бронзовой пудры. Кривые зависимостей прочности от содержания бронзовой пудры практически одинаковы, как для планетарного, так и для вибрационного механоактиватора. Модуль упругости E_p , с увеличением процентного содержания порошка бронзы возрастает от ~500 МПа до 3500 МПа и выше. Хотя на полученных кривых наблюдаются экстремумы, тем не менее, полученные зависимости с высокой степенью вероятности могут быть описаны экспоненциальными зависимостями, имеющими практически одинаковый характер, как для планетарного, так и для вибрационного механоактиваторов. О подобном монотонном характере зависимости модуля упругости от содержания бронзовой пудры говорит и тот факт, что при очень высоких концентрациях бронзы встречаются единичные значения модуля в 6000 МПа, и даже 8000 МПа.

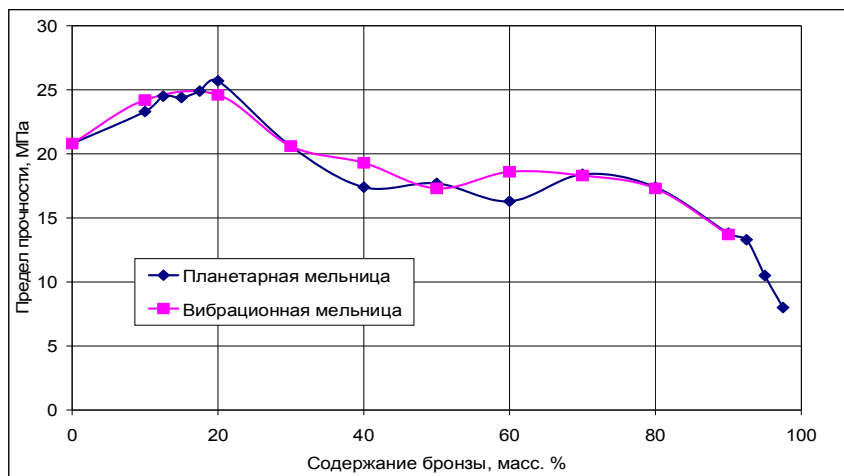


Рис. 1. Предел прочности ПК на основе СВМПЭ.

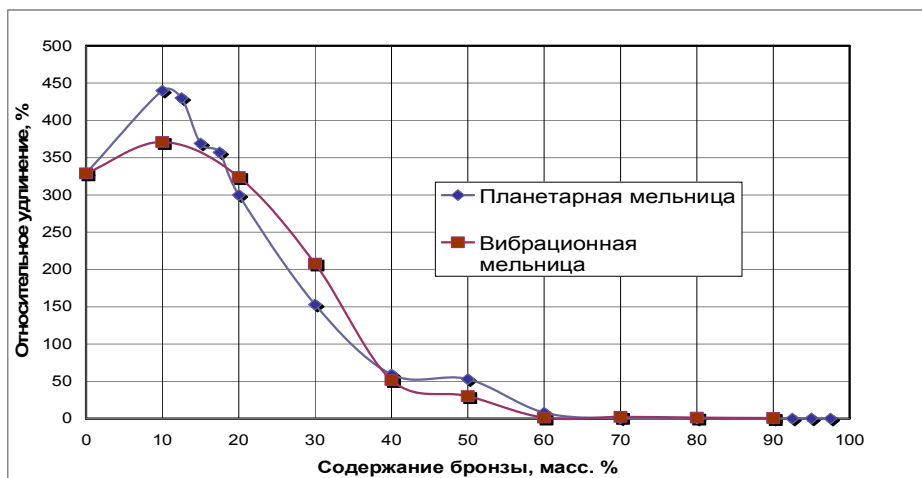


Рис.2. Относительное удлинение при разрыве ПК на основе СВМПЭ.

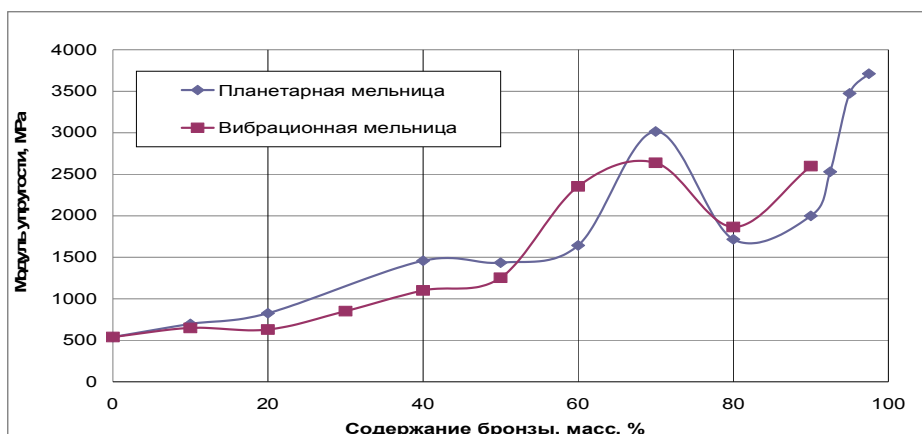


Рис.3. Модуль упругости при растяжении ПК на основе СВМПЭ.

На рис. 4 представлены зависимости коэффициента трения от прилагаемой нагрузки. Как следует из приведенных кривых, оптимальная концентрация наполнителя, при которой наблюдаются минимальные значения коэффициента трения, составляет 20 и 10 масс. % для образцов, приготовленных с помощью планетарной и вибрационной мельницы, соответственно. Коэффициент трения для ненаполненного СВМПЭ, обработанного в мельнице, превышает минимальные значения, полученные на наполненных материалах в 1,6 - 2 раза; для образца, полученного компактированием исходного, не подвергнутого каким-либо обработкам СВМПЭ, значения f заметно выше, чем для подвергнутого предварительной механоактивации.

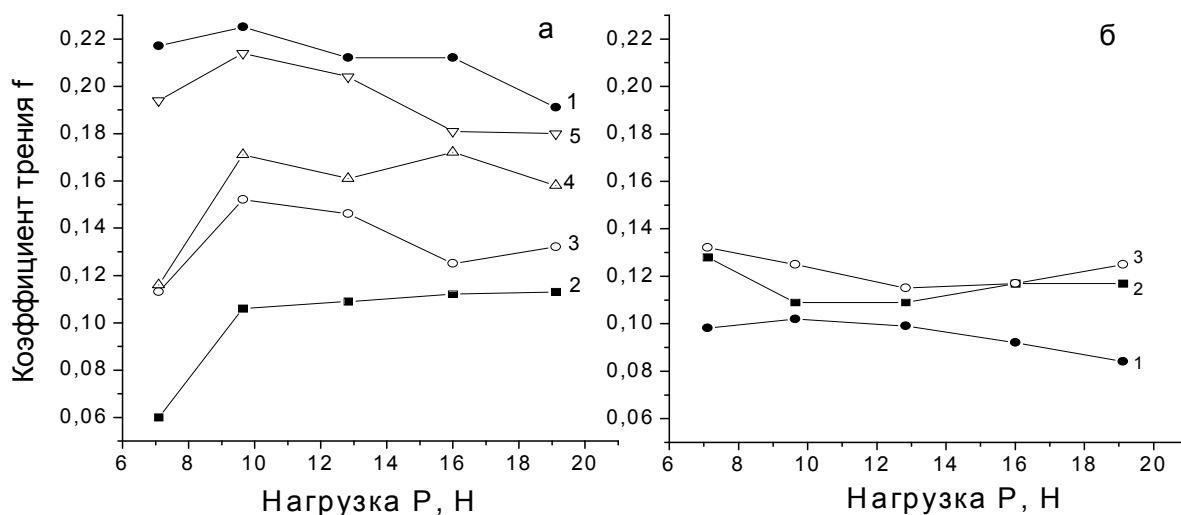


Рис.4 (а) - планетарный активатор; содержание бронзы: 4 – 0 % масс, 1 - 10, 2 – 20; 3 – 40 % масс; кривая (5) – образец без механоактивации. (б) – вибрационный активатор; содержание бронзы 1 - 10, 2 – 20 и 3 - 30 % масс..

На рис. 5 представлены концентрационные зависимости величин f , I и H , полученные при максимальной нагрузке, равной 19 Н. Величина износа снижается с увеличением концентрации наполнителя, одновременно с этим растет микротвердость поверхности. Величины износа, микротвердости, а также коэффициента трения заметно ниже для образцов, полученных с помощью вибрационной мельницы.

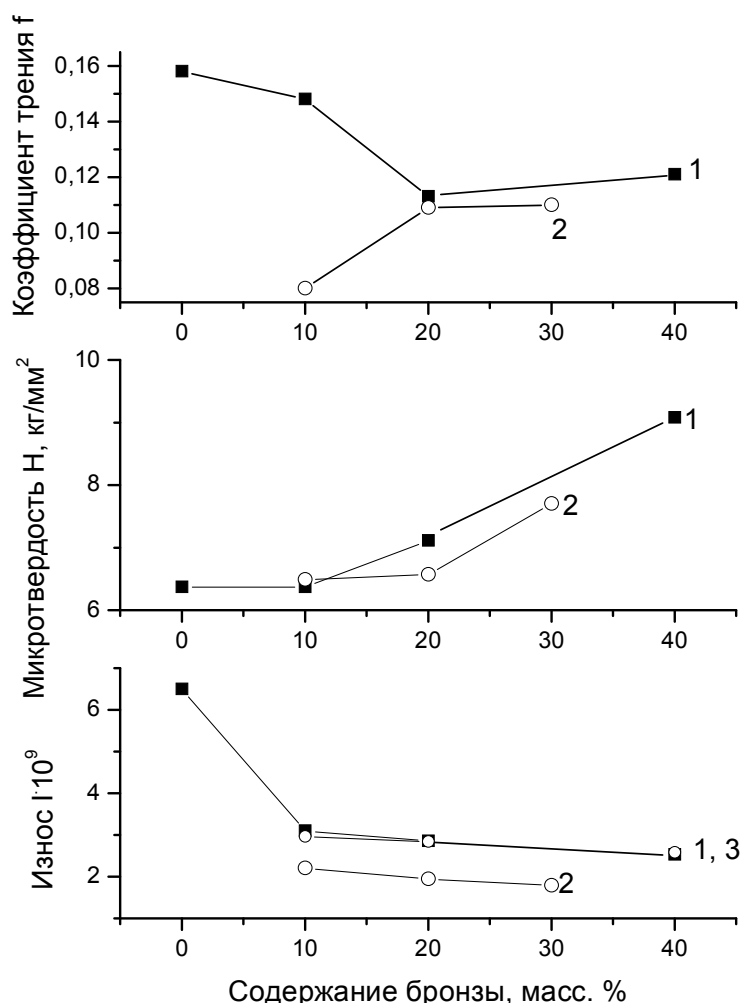


Рис.5. Изменение параметров при нагрузке 19 Н: 1 – планетарный активатор; 2 – вибрационный активатор; 3 – расчетная интенсивность изнашивания.

Контактное и фрикционное взаимодействие полимерных композиционных материалов, как это следует из анализа проведенных исследований, подчиняется молекулярно-механической теории трения и изнашивания. Фрикционное взаимодействие обуславливает износ ПК, который является характерным поверхностным разрушением композита. Очевидно, что изнашивание исследуемых материалов происходит вследствие как адгезионного так и деформационного взаимодействий. Для большинства испытанных образцов представительным видом фрикционного взаимодействия и разрушения фрикционных связей можно считать упругое деформирование. Усталостное изнашивание при пластическом деформировании наблюдалось в ходе приработки образцов, полученных с помощью вибрационной мельницы при испытании с максимальной нагрузкой. При продолжении испытаний этот вид взаимодействия вырождается в упругое деформирование контакта образца с жесткой поверхностью диска.

Расчетная оценка интенсивности изнашивания полимерматричного композиционного материала базируется на учете многих факторов, к которым относятся физико-механические свойства материала изнашиваемой поверхности, параметры шероховатости жесткой поверхности диска, параметры, характеризующие нагружение

контакта и фрикционная усталость материала [1-2].

Анализ выполненных в настоящей работе исследований, равно как результаты, полученные ранее [3-5], дают основание предположить, что определяющими изнашивание образцов полимерного композиционного материала параметрами являются контактное давление p , коэффициент трения f , твердость H поверхности, средние значения R и r соответственно максимальной высоты неровностей и радиуса кривизны вершин неровностей, параметры b и v степенной аппроксимации начального участка опорной кривой.

Интенсивность изнашивания I образцов ПК, синтезированных на планетарном механоактиваторе с концентрацией бронзовой пудры 10 - 40 % масс., удовлетворительно описывается следующей аналитической зависимостью (рис.5, кривая 3):

$$I = 11,3 \cdot 10^{-7} \cdot \left(\frac{R}{r \cdot b^{\frac{1}{v}}} \right)^n \cdot \frac{(p \sqrt{1 + f^2})^{0,5}}{H^{0,52}}, \text{ где критерий } \left(\frac{R}{r \cdot b^{\frac{1}{v}}} \right)^n = 0,0158 \text{ получен}$$

по результатам исследования параметров шероховатостей поверхности трения диска методом профилографирования. Как видно из рис.5, расчетные значения I практически совпадают с экспериментальными.

Таким образом, разработаны новые полимерматричные композиты с улучшенными механическими и трибологическими характеристиками для уплотнительных и подшипниковых конструкций различных машин и механизмов.

Литература

1. В.П.Когаев, Ю.Н.Дроздов. Прочность и износостойкость деталей машин. М.: Высшая школа, 1991, с.318.
2. И.В.Крагельский, Н.М.Михин. Узлы трения машин. М.: Машиностроение, 1994, с.280.
3. В.Д.Данилов, С.Д.Калошкин, В.В.Чердынцев. Композиционные материалы с наноструктурными наполнителями для экстремальных условий функционирования. Трение и смазка в машинах и механизмах. 2007, №2, с.21-27..
4. V.D. Danilov, S.D. Kaloshkin, V.V. Tcherdyntsev, V.A. Sudarchikov, A.A. Dorofeev, A.I. Korshunov. Contact and Frictional Interaction of Polymer-Bronze Composite with Hard Surface. International Symposium on "Friction, Wear and Wear Protection". 9-11 April, 2008, Aachen, Germany.
5. A.A.Dorofeev, S.D.Kaloshkin, V.V.Tcherdyntsev, V.D.Danilov. Properties of a mechanoactivated composite based on super-high-molecular polyethylene filled with Bronze powder. 13 th European Conference on Composite Materials. June 2-5, 2008, Stockholm, Sweden.

Институт машиноведения РАН, Россия, Москва

Поступила: 17.11.08.