

ФИЗИКА ПОЛУПРОВОДНИКОВ И ДИЭЛЕКТРИКОВ

УДК 678.073:661.481

DOI: 10.17223/00213411/63/5/141

С.В. ПАНИН^{1,2}, Л.А. КОРНИЕНКО¹, Д.Г. БУСЛОВИЧ^{1,2}, В.О. АЛЕКСЕНКО¹

РОЛЬ УПРУГОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ В ФОРМИРОВАНИИ ТРИБОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СВЕРХВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНОГО ПОЛИЭТИЛЕНА С РАЗНЫМ РАЗМЕРОМ ИСХОДНЫХ ПОРОШКОВ *

Исследованы механические и трибологические характеристики сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ) с идентичной молекулярной массой, но с разным размером исходного полимерного порошка (5–15, 120–150 и 330 мкм) при различных нагрузочно-скоростных параметрах трибоиспытаний ($P \cdot V$). Выполнен структурный анализ подповерхностных слоев под дорожкой трения в исследованном интервале нагрузок и скоростей трибонагружения ($P = 60\text{--}140$ Н, $V = 0.3\text{--}0.5$ м/с). Прослежена взаимосвязь между интенсивностью износа и уровнем упругого восстановления (обратимой деформации) с целью оценки возможности последующего практического использования его величины для прогнозирования ресурса работы изделий в различных условиях эксплуатации. Показано, что размер исходного порошка СВМПЭ определяет параметры структурных элементов (сферолитов), а также уровень кристалличности образцов, полученных горячим прессованием. Для исследованных материалов и диапазона нагрузочно-скоростных параметров показано, что соотношение кристаллической и аморфной фаз, а также величина нагрузки при трибонагружении определяют уровень упругого восстановления. Показано, что при умеренных условиях трибонагружения ($P \cdot V = 60$ Н·0.3 м/с) наибольшей величиной упругого восстановления (63 %) обладает СВМПЭ, полученный из мелкодисперсного порошка и имеющий максимальную степень кристалличности 56.5 %. В образцах СВМПЭ, полученных из средне- и крупнодисперсного порошков, имеющих кристалличность порядка 30 %, уровень упругого восстановления составляет около 40 %. В жестких условиях трибоиспытаний ($P \cdot V = 140$ Н·0.5 м/с) уровень упругого восстановления для всех размеров порошка СВМПЭ не превышает 8 %. Из полученных результатов следует, что уровень упругого восстановления (обратимой деформации) сверхвысокомолекулярного полиэтилена является одним из факторов, лимитирующих допустимые интервалы работы ($P \cdot V$) изделий в трибоузле, и может быть использован для прогнозирования ресурса его работы.

Ключевые слова: сверхвысокомолекулярный полиэтилен, механические свойства, коэффициент трения, интенсивность износа, упругое восстановление, надмолекулярная структура.

Введение

Сверхвысокомолекулярный полиэтилен занимает особое место среди полимерных смол благодаря низкому коэффициенту трения, химической стабильности и износостойкости, и представляет значительный интерес для применения в качестве конструкционного полимера [1, 2], в том числе медицинского назначения [3–8]. Его молекулярное строение (при молекулярной массе более 1.5 млн г/моль) определяет высокое сопротивление воздействию абразивных частиц и изнашиванию при сухом трении. В биомедицинских приложениях основной износ искусственных суставов с СВМПЭ-компонентами происходит именно в условиях отсутствия смазки синовиальной жидкостью [9]. Для биомедицинских приложений также приоритетным остается использование ненаполненного СВМПЭ. При этом недостаток износостойкости компенсируют радиационной сшивкой либо защитой от развития трибоокислительных процессов введением витамина Е (альфа-токоферола).

Одной из основных причин широкого применения СВМПЭ в составе искусственных суставов, помимо высокой износостойкости и стойкости к агрессивным средам (в данном случае щелочной среды человеческого организма), является способность к демпфированию ударных воздействий, что не может быть исключено в процессе жизнедеятельности человека. Указанная способность обеспечивается за счет фибриллярного строения данного полукристаллического полимера. Воздействие динамических нагрузок неизбежно должно приводить к развитию процессов упругого деформирования. В результате конформации молекул полимер после снятия нагрузки должен принимать исходное состояние. Подобно металлическим сплавам [10] данный эффект в литературе именуется памятью формы [11–15].

* Работа выполнена в рамках госзадания ИФПМ СО РАН, проект III.23.1.3 и гранту Президента РФ государственной поддержки ведущих научных школ Российской Федерации НШ-2718.2020.8. Авторы выражают благодарность РФФИ за финансирование исследования в рамках проекта № 19-38-90106.

Уважаемые читатели!

Доступ к полнотекстовой версии журнала
«Известия высших учебных заведений. Физика»
осуществляется на платформе
Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU
на платной основе:

<https://www.elibrary.ru/contents.asp?titleid=7725>