ИЗВЕСТИЯ РАН. СЕРИЯ ФИЗИЧЕСКАЯ, 2021, том 85, № 12, с. 1758–1760

УДК 538.94

ВЛИЯНИЕ НАПЫЛЕННОЙ ПЛЕНКИ СЕРЕБРА НА ДЕФОРМАЦИОННО-ПРОЧНОСТНЫЕ СВОЙСТВА ТРЕКОВЫХ МЕМБРАН

© 2021 г. Н. П. Ковалец*

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования “Московский педагогический государственный университет”, Москва, Россия

**E-mail: zabalueva_1991@mail.ru*

Поступила в редакцию 05.07.2021 г.
После доработки 26.07.2021 г.
Принята к публикации 27.08.2021 г.

Исследовано влияние напыленного на трековую мембрану слоя серебра на ее деформационно-прочностные свойства в широком диапазоне скоростей растяжения. С увеличением толщины слоя металла при всех скоростях разрывная деформация снижается, а прочность увеличивается. Скоростная зависимость прочности свидетельствует о термофлуктуационном механизме разрушения.

DOI: 10.31857/S0367676521120152

ВВЕДЕНИЕ

Напыление металла на поверхность трековых мембран (ТМ) является первым этапом многих экспериментальных манипуляций с ними: получения композитов и нанокомпозитов ТМ/металл [1, 2], выращивания вторичных структур [3–7] и др. При этом поры ТМ в той или иной степени “запыляются”, т.е. их опасность как поверхностных дефектов меняется. Сам напыленный слой, обычно имеющий толщину 50–200 нм, достаточно тонок по сравнению с ТМ (толщина порядка 10 мкм), поэтому обычно предполагается, что он не вносит существенного аддитивного вклада в прочность конструкции металлический слой/ТМ.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

В работе использовали ТМ на основе полиэтилентерефталата (ПЭТФ) толщиной 10 мкм, изготовленные в Лаборатории ядерных реакций им. Г.Н. Флерова ОИЯИ (г. Дубна). Исследовали коммерческие ТМ с системой пересекающихся пор, направленных к поверхности под углом около 30°, с плотностью пор $8.4 \cdot 10^9$ см$^{-2}$ и диаметром пор 30 нм. Среднее расстояние между порами составляло порядка 5 диаметров, что означало уже на начальном этапе наличие взаимодействия полей механических напряжений вокруг пор [8]. Толщина пленки серебра, напыленной термовакуумным методом, равнялась 50 и 100 нм.

Деформационно-прочностные свойства образцов исследовали на универсальной разрывной машине AG-10kNX производства Shimadzu Corp. Все три серии образцов (ТМ и напыленные ТМ) испытывали при семи значениях скоростей растяжения w в диапазоне от 1 до 250 мм/мин при комнатной температуре. Образцы представляли собой полоски с размером рабочей части 5 × 30 мм, вырезанные с помощью ручного вырубного пресса REY RAN. Для увеличения точности результатов измерений были проведены испытания не менее 10 образцов для каждой скорости растяжения.

На рис. 1 показана диаграмма растяжения для исследованных серий образцов. При всех значениях скорости растяжения деформация развива-

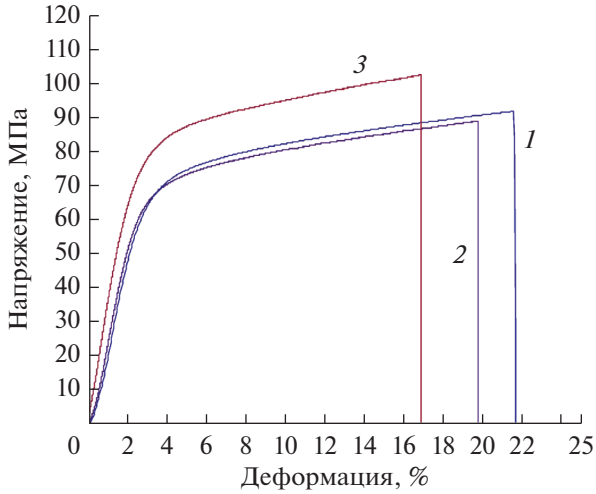

Рис. 1. Кривые растяжения для ТМ (*1*) и ТМ с напылением толщиной 50 (*2*) и 100 нм (*3*) при скорости растяжения 5 мм/мин.

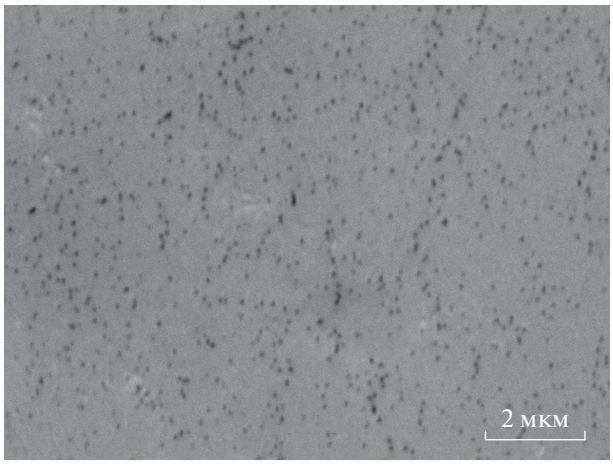

Рис. 2. СЭМ изображение ТМ с покрытием толщиной 50 нм.

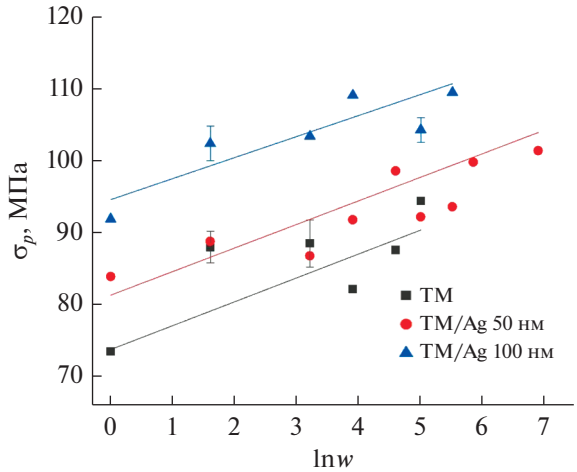

Рис. 3. Зависимость фактической прочности ТМ и металлизированной ТМ от скорости растяжения.

ется однородно, шейка образуется вдоль всего образца с постепенным упрочнением.

При нанесении на ТМ пленки серебра толщиной 50 нм металл частично закрывает поры. На металлизированной поверхности от них остаются следы в виде “ямок”, которые на фотографиях нерастянутой пленки выглядят как темные точки (рис. 2). Они являются своеобразными начальными дефектами металлического покрытия и, вероятно, способствуют его разрушению. После приложения напряжения вся металлизированная поверхность ТМ покрывается множеством мелких трещин, ориентированных в основном перпендикулярно направлению растяжения. При толщине покрытия 100 нм поры “закрываются” серебром в большей степени и как дефекты покрытия становятся менее опасны. Однако металлизированная пленка разрушается за счет развития дефектов в полимере. Основными такими дефектами являются поры, а металлизация поверхности приводит только к частичному заполнению их металлом на одном конце.

Из данных, показанных на рис. 3, следует, что при всех скоростях растяжения прочность σ_p увеличивается со скоростью. Само наличие временного фактора (скоростная зависимость прочности) свидетельствует о термофлуктуационном характере процесса разрушения [9].

По степени влияния скорости нагружения на прочность можно качественно судить о дефектности образцов: чем эта зависимость сильнее, тем дефектность больше. Близкий наклон прямых для образцов трех серий свидетельствует о близком значении их дефектности. Видимо, запыление концов пор не влияет существенно на концентрацию напряжения вокруг них. Однако при этом прочность в целом повышается при напылении слоя в 50 нм и еще в большей степени – при напылении слоя 100 нм. Разрывная деформация снижается при увеличении толщины слоя металла. Эти факты заставляют предположить, что напыленный слой все же влияет на деформационные свойства конструкции металлическое покрытие/ТМ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проанализированы прочностные и деформационные характеристики не металлизированных и металлизированных ТМ при различных скоростях растяжения. Полученные результаты отражают наличие временной зависимости прочности, тем самым подтверждая термофлуктуационный характер процесса разрушения.

Зависимость прочности от скорости нагружения позволяет оценить вклад покрытия в дефектность металлизированной пленки. С увеличением толщины покрытия прочность металлизированной ТМ увеличивается, разрывная деформация снижается. Таким образом, при исследовании механических свойств образцов на основе ТМ следует учитывать вклад напыленного слоя в их деформацию и прочность.

Автор выражает благодарность И.В. Разумовской за ценные замечания при подготовке статьи.

Работа выполнена по теме государственного задания Московского педагогического государственного университета (МПГУ) “Физика наноструктурированных материалов: фундаментальные исследования и приложения в материаловедении, нанотехнологиях и фотонике” при поддержке Министерства Просвещения Российской Федерации (АААА-А20-120061890084-9) совместно с Центром коллективного пользования “Структурная диагностика материалов” Федерального

исследовательского центра РАН “Кристаллография и фотоника”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бедин С.А., Рыбалко О.Г., Поляков Н.Б. и др.* // Перспектив. матер. 2010. № 1. С. 98; *Bedin S.A., Rybalko O.G., Polyakov N.B. et al.* // Inorg. Mat. Appl. Res. 2010. V. 1. P. 359.
2. *Гумирова В.Н., Абдурашидова Г.С., Бедин С.А. и др.* // ФТТ. 2015. Т. 57. № 2. С. 328.
3. *Doludenko I.M., Zagorskii D.L., Frolov K.V. et al.* // Phys. Sol. St. 2020. V. 62. P. 1639.
4. *Gayen S., Sanyal M.K., Satpati B. et al.* // Appl. Phys. A. 2013. V. 112. P. 775.
5. *Ковалец Н.П., Кожина Е.П., Долуденко И.М. и др.* // Изв. РАН. Сер. физ. 2021. Т. 85. № 8. С. 109; *Kovalets N.P., Kozhina E.P., Doludenko I.M. et al.* // Bull. Russ. Acad. Sci. Phys. 2021. V. 85. No. 8. P. 1097.
6. *Toimil-Molares M.E.* // Beilstein J. Nanotechnol. 2012. V. 3. P. 860.
7. *Zhao Y.P., Fan J.G.* // Appl. Phys. Lett. 2006. V. 88. Art. No. 103123.
8. *Ландау Л.Д., Лившиц Е.М.* Теория упругости. М.: Наука, 2001. 264 с.
9. *Аскадский А.А., Хохлов А.Р.* Введение в физико-химию полимеров. М.: Научный мир, 2009. 384 с.

Influence of the silver deposition film on the deformation-strength propertie of track membranes

N. P. Kovalets*

Moscow State Pedagogical University, Moscow, 119435 Russia

**e-mail: zabalueva_1991@mail.ru*

The influence of a silver layer deposited on a track membrane on its deformation and strength properties in a wide range of stretching rates has been investigated. With an increase in the thickness of the metal layer at all speeds, the breaking deformation decreases, and the strength increases. The velocity dependence of strength indicates a thermal fluctuations mechanism of fracture.