

РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДА МАКРОИНДЕНТИРОВАНИЯ НА БАЗЕ СЗМ-ДЕТЕКТИРОВАНИЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ

Суслов А. А., Комков О. Ю., Чижик С. А.

Институт механики металлополимерных систем им. В. А. Белого НАН Беларуси, ул. Кирова 32а, 246050 г. Гомель, Беларусь.

An instrument for macroindentation of highly elastic materials is described. For the indenter nanodisplacement detection it uses an AFM probe and its circuit. The computer-aided system controls instrument operation and data acquisition. The instrument was applied to estimate rheological and viscoelastic properties of different materials.

Одна из проблем при решении задач измерения упругих и вязкоупругих характеристик высокоэластичных материалов в тонких слоях традиционными методиками непрерывного вдавливания индентора заключается в точных оценках глубины внедрения индентора [1].

Предлагаемый вариант решения подобной задачи основывается на известных методиках индентирования образцов и объединяет в себе макро- и нанотехнологии. Аппаратная реализация описываемого метода основывается на измерении с нанометровой точностью внедрения макроскопического индентора (например, шарового) в образец исследуемого материала под заданной нагрузкой (рис. 1).



Рис. 1. Схема устройства для индентирования.

Сочетание макроскопического индентора с регистрацией его наноперемещений позволяет прикладывать к образцу минимальные давления, не превышающие предела текучести исследуемых материалов и исследовать механические свойства в тонких поверхностных слоях. Измерение глубины индентирования с нанометровой точностью достигается применением в описываемом устройстве высокочувствительного датчика вертикальных перемещений, в качестве которого используется зонд атомно-силового микроскопа с соответствующей системой регистрации перемещений.

Калибровка датчика перемещений производится по традиционной для СЗМ схеме. Система нагружения реализована на базе электромагнита и калибруется по схеме компенсации весовой нагрузки. Нагружение и сбор данных в устройстве осуществляются автоматизированно с управляющего компьютера. При этом могут быть реализованы две схемы нагружения образцов – циклическая и статическая (рис. 2). В первом случае нагрузка увеличивается постепенно до максимума с последующим быстрым сбросом и повторением такого цикла заданное количество раз (рис. 2а). Во втором случае цикл нагружения/разгрузки осуществляется однократно, однако по достижении максимума нагрузка выдерживается на постоянном уровне в течение некоторого времени (рис. 2б).

Взаимодействие индентора с исследуемыми образцами в пределах прикладываемой нагрузки (до 10 г) носило упругий характер. В связи с этим приведенный модуль упругости находился по известной формуле Герца

$$E = \frac{3}{4} \frac{P}{R^2 \delta^{3/2}}$$

где P – нагрузка; R – радиус внедряемого индентора; δ – глубина индентирования.

В качестве примера использования описанного устройства было произведено индентирование мягких полиуретанов и резины. Нагружение производилось в статическом режиме. Обработка кривых изменений глубины внедрения от времени нагружения полимера позволила получить соответствующие зависимости вязкоупругого поведения материалов (рис. 3).

Анализ кривых показал, что вязкоупругое поведение полимеров достаточно хорошо может быть описано вязкоупругим элементом Фойгта [2], для которого

$$E = E_0 - dE_0(1 - e^{-t/t_0}),$$

где E_0 – мгновенный модуль упругости, d – масштабный коэффициент, t_0 – характерное время релаксации.

Другой иллюстрацией использования описанного устройства является оценка модуля упругости

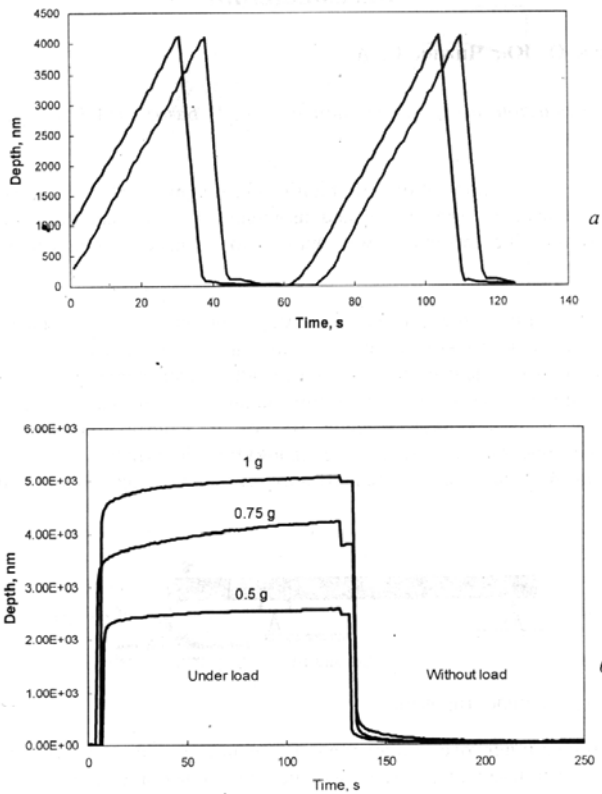


Рис. 2. Диаграммы циклического (а) и статического (б) нагружения образцов при макроиндентировании.

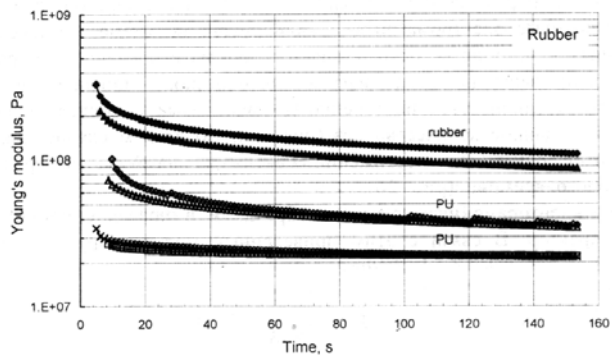


Рис. 3. Кривые вязкоупругого поведения материалов.

тонкого слоя жидких кристаллов. Измерения были проведены для твердой фазы мезогенов, поскольку известно, что в граничных условиях жидкие кристаллы находятся в упорядоченном состоянии и демонстрируют упругую реакцию на нормально приложенное давление, т.е. проявляют свойства кристаллов [3].

Для экспериментов на стеклянную подложку равномерным слоем наносился расплавленный жидкий кристалл, который затем охлаждался до твердого состояния. Индентирование образцов производилось в статическом режиме при различных нагрузках.

Полученная в эксперименте величина (рис. 4) на два-три порядка превосходит известные данные для объемного модуля упругости жидких кристаллов в мезоморфном состоянии [4]. Однако в граничных

условиях модуль упругости жидкокристаллического слоя смазки может быть даже выше, что и позволяет ему демонстрировать высокую несущую способность в контактом зазоре и успешно экранировать контактирующие поверхности при трении, защищая их от износа и снижая коэффициент трения за счет перераспределения контактных давлений [5].

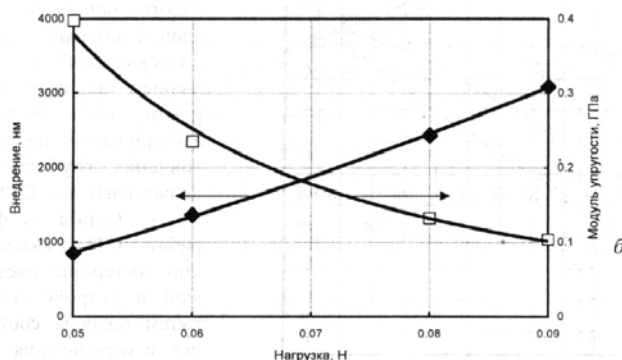
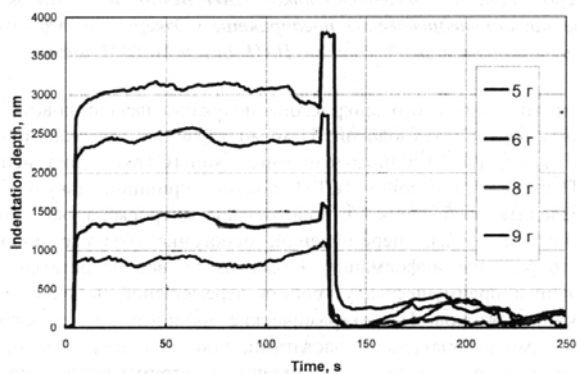


Рис. 4. Диаграмма статического нагружения образца жидкого кристалла в твердой фазе (а) и зависимость глубины индентирования и модуля упругости от нагрузки (б).

Таким образом, использование методик измерений, развивающихся в связи с разработкой СЗМ, может быть эффективным, для решения ряда задач испытаний материалов, в частности упругого микроиндентирования.

Работа выполнена при финансовой поддержке Белорусского Республиканского Фонда фундаментальных исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. Булычев С. И., Алехин В. П. Испытание материалов непрерывным вдавливанием индентора. – Москва: Машиностроение, 1990. – 224 с.
2. Ферри Дж. Вязкоупругие свойства полимеров / Пер. с англ. под ред. В. Е. Гуля. – Москва: Издательство иностранной литературы, 1963. – 536 с.
3. Сонин А. С. Введение в физику жидких кристаллов. – Москва: Наука, 1983. – 320 с.
4. Купчинов Б. И., Родненков В. Г., Ермаков С. Ф. Введение в трибологию жидких кристаллов. – Гомель: Информтрибо, 1993. – 156 с.
5. Сулов А. А., Ермаков С. Ф. Жидкие кристаллы в триботехнике (обзор) // Материалы, технологии, инструменты, 1997, №1, С.5–11.