

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЭЛАСТОПЛАСТИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ПОКРЫТИЙ ИНДЕНТИРОВАНИЕМ

*Терещенко В.Г.*

*Северо-Кавказский федеральный университет, г.Ставрополь*

**Ключевые слова:** индентор, приведённый модуль упругости, методы испытаний, контактное взаимодействие.

**Аннотация.** Статья посвящена решению проблемы определения механических характеристик эластичных, пластичных и эластопластичных материалов и покрытий. Определяются те характеристики, которые необходимы для расчёта контактного взаимодействия. Метод позволяет определять свойства таких материалов и покрытий, из которых невозможно изготовить стандартный образец и проводить испытание на растяжение. Получаемые значения в большей мере адаптированы к расчётам контактного взаимодействия, чем полученные стандартным способом.

## DETERMINATION OF MECHANICAL PROPERTIES OF ELASTOPLASTIC MATERIALS AND COATINGS BY INDENTATION

*Tereshchenko V.G.*

*North-Caucasus Federal University, Stavropol*

**Keywords:** indenter, reduced modulus of elasticity, test methods, contact interaction.

**Abstract.** The article is devoted to solving the problem of determining the mechanical characteristics of elastic, plastic and elastoplastic materials and coatings. The characteristics that are necessary for calculating the contact interaction are determined. The method allows you to determine the properties of such materials and coatings from which it is impossible to make a standard sample and conduct a tensile test. The obtained values are more adapted to the calculations of contact interaction than those obtained by the standard method.

Днища кузовов и рамы автомобилей, лопасти и корпуса вентиляторов, детали сепараторов, циклонов, дробемётных аппаратов и многое другое оборудование работает в условиях контактного взаимодействия со свободными, переносимыми потоком газа, ударяющими абразивными частицами. Детали насосов подвергаются воздействию твёрдых частиц, увлекаемых потоком жидкости. В этих случаях детали испытывают газоабразивное, гидроабразивное изнашивание, изнашивание потоком незакреплённого абразива в сочетании с коррозионным воздействием среды. Способы защиты от этих видов изнашивания можно разделить на те, в которых применяются материалы и покрытия повышенной твёрдости, и те, в которых применяются эластичные, пластичные, эластопластичные податливые материалы и покрытия. В данной статье рассматриваются материалы второй группы – податливые. Выбор материала, подходящего для конкретных условий, связан с большим количеством длительных, трудоёмких и дорогостоящих лабораторных и производственных испытаний. Сделать поиск целенаправленным помогут расчётные и расчётно-экспериментальные методы. Установлены зависимости износостойкости под воздействием свободно ударяющих частиц от характеристик частиц, параметров

удара и от механических свойств материала или покрытия [1]. Требуется знание тех механических характеристик, которые используются в формулах контактного взаимодействия: приведённый модуль упругости контактирующих тел, предел текучести материала детали или покрытия. Но для некоторых податливых материалов и покрытий стандартные методы испытаний неприменимы, невозможно даже изготовить стандартный образец. Это относится к герметикам, гуммировочным составам, невулканизированной резине, невысыхающим покрытиям. Стандартные испытания не могут учитывать влияние подложки на контактное взаимодействие относительно тонкого покрытия. Если в результате стандартного испытания удастся определить модуль упругости, то для вычисления приведённого модуля упругости придётся дополнительно определить коэффициент Пуассона, а приведённый модуль упругости вычислять по известной формуле. Всё это усложняет определение требуемой величины и снижает точность.

Поэтому необходимо было разработать метод определения воспринимаемых при контактном взаимодействии (эффективных) механических характеристик податливых материалов, а также композитных многослойных материалов, каковыми являются детали с покрытием. Цель работы заключалась в создании метода измерения и в его применении.

Измерение глубины внедрения индентора или диаметра пятна контакта под нагрузкой имеет свои технические сложности, связанные с влиянием на результат измерения деформаций деталей измерительного устройства. Этому влиянию удалось избежать в предложенном и признанном изобретении методе определения механических характеристик, используемых в расчётах контактного взаимодействия [2, 3]. Этот перспективный метод пока мало применяется из-за отсутствия серийного производства устройств и отсутствия стандарта на устройство и методику. Очень актуально в настоящее время проведение отработки методики таких испытаний, сравнение результатов с данными, полученными другими методами.

Предложенный метод определения эффективного приведённого модуля упругости можно коротко представить так. Твёрдый шарик заданного радиуса  $R$  вдавливают в плоскую поверхность эластичного образца с заданным усилием  $N$ . Через определённое время после начала действия нагрузки область контакта вместе со свободной частью сферического индентора фотографируют сбоку (рисунок 1). На фотографии определяют отношение диаметра пятна контакта  $2a'$  к диаметру индентора  $2R'$ . Зная реальный диаметр индентора  $2R$ , определяют действительный диаметр пятна контакта  $2a$  или его радиус  $a$

$$a = R \cdot a' / R'.$$

Для измерений на фотографии её загружают в один из графических редакторов. Поверх слоя фотографии создают слой чертежа. По трём точкам на границе изображения сферического индентора вычерчивают окружность. Измеряют радиус начерченной окружности и указывают его на чертеже. Находят на фотографии границы пятна контакта, проводят диаметр пятна контакта, измеряют его длину и указывают её на чертеже.

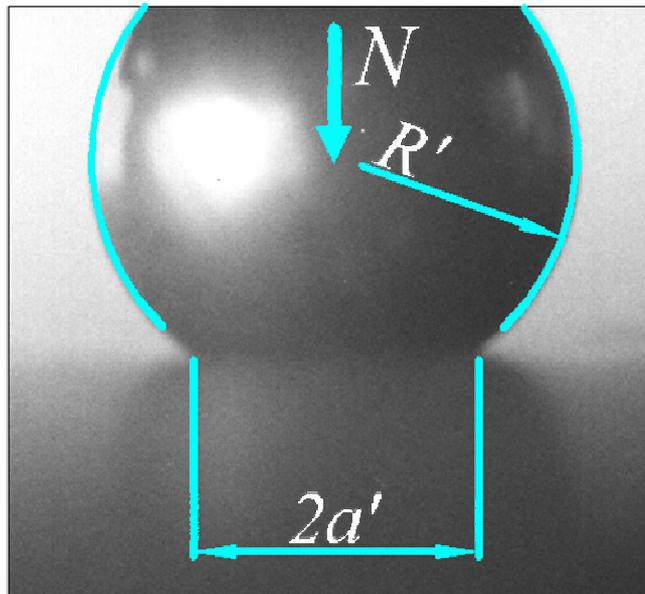


Рис. 1. Схема опыта

При контакте податливого материала с гораздо более твёрдым индентором приведённый модуль упругости [3]

$$E^* \equiv \frac{E}{1 - \mu^2},$$

где  $E$  – модуль упругости материала,  $\mu$  – коэффициент Пуассона. Эффективным (действующим, воспринимаемым) называют приведённый модуль воображаемого однородного материала, который сопротивляется внедрению индентора так же, как реальный многослойный материал (материал с покрытием).

По значениям  $a$ ,  $R$  и нормальной силы вдавливания  $N$  рассчитывают эффективный приведенный модуль упругости [3, 4] по формуле

$$E_e^* = \frac{3NR}{4a^3}.$$

Удобно использовать цифровую фотографию, а измерения на ней делать в электронном виде с использованием программ векторной графики. Наш практический опыт проведения измерений показал, что устройство и методика просты и доступны, но предполагают умение выполнять качественную цифровую макросъёмку, работать со слоями и размерами в графическом редакторе.

Для апробации метода был определён эффективный приведенный модуль упругости резины разных марок при толщине образца 6 мм и диаметре шарового индентора 7,938 мм. Поскольку напряжённое состояние в области контакта является сложным и неоднородным, графики модуля (рисунок 2) построены в зависимости от силы вдавливания.

Если материал обладает пластичностью, как, например, невулканизованная смесь на основе хлоропренового каучука, то индентированием можно определить предел текучести  $\sigma_T$  или эффективный предел текучести  $\sigma_{Tc}$ , учитывающий влияние подложки. Сила вдавливания должна быть достаточной для того, чтобы образовалась остаточная лунка с чёткими краями.

$$\sigma_{Tc} = \frac{N}{3\pi a^2}.$$

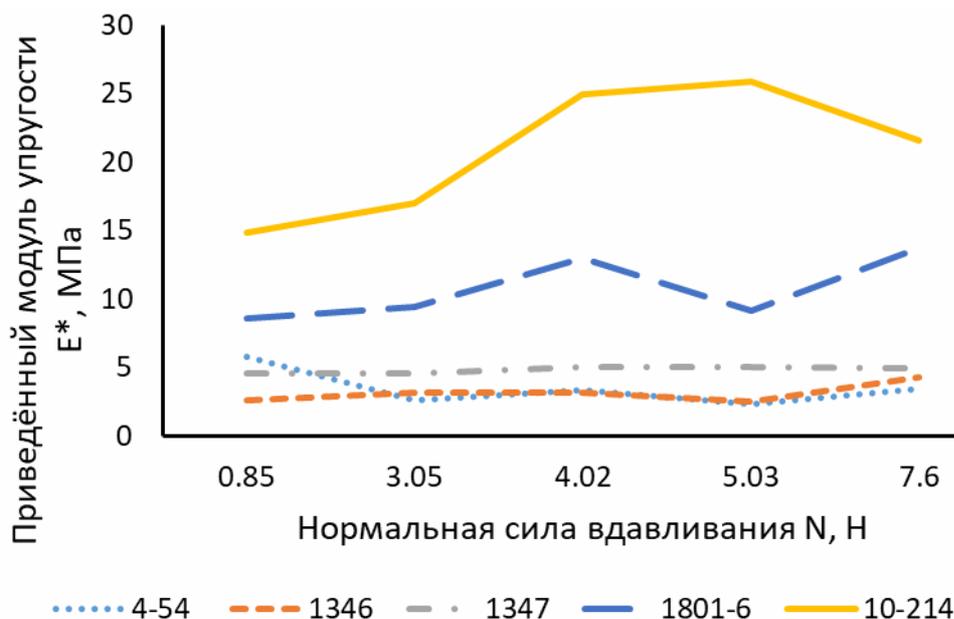


Рис. 2. Зависимость приведённого модуля упругости от силы вдавливания для резины марок 4-54, 1346, 1347, 1801-6, 10-214

Для исследований в качестве базового состава был взят материал ГС-П-5, сочетающий высокие антикоррозионные свойства с высокой износостойкостью как в вулканизованном, так и невулканизованном состоянии [3]. С целью определения влияния количества технического углерода П-803 в невулканизованном составе были изготовлены и испытаны смеси, отличающиеся количеством наполнителя с шагом в 10 массовых частей. Результаты измерений при  $H/R_0=2,7$  приведены на рис. 3.

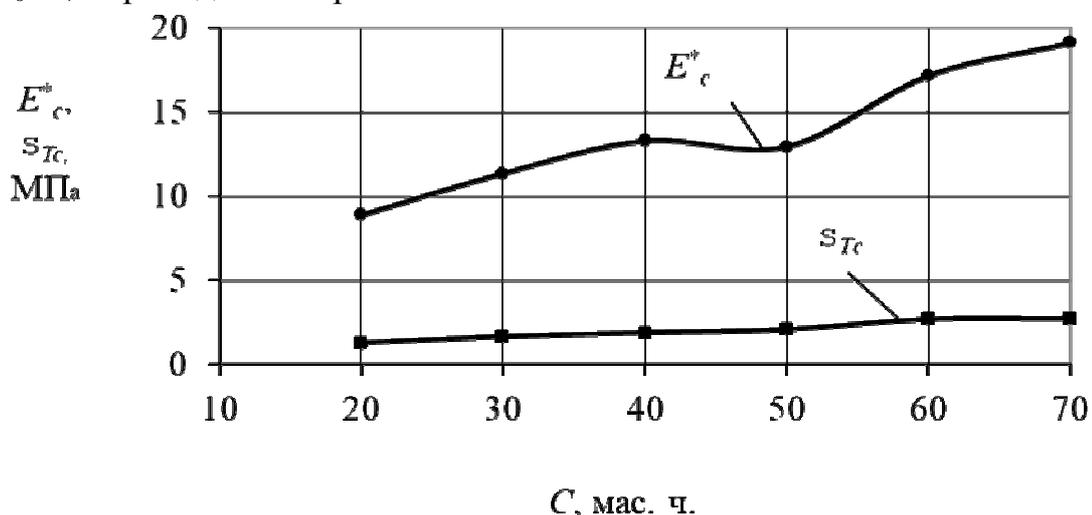


Рис. 3. Зависимость механических характеристик от содержания техуглерода

Испытания тех же покрытий на газоабразивное изнашивание позволили установить влияние приведённых эффективных механических характеристик на износостойкость [3].

Выводы. Разработанный метод оказался востребованным, показал свою эффективность и надёжность. Высокая точность определения механических характеристик сочетается с простотой проведения испытания. Измеряемые

механические характеристики наилучшим образом подходят для расчётов контактного взаимодействия и газоабразивного изнашивания.

#### **Список литературы**

1. Терещенко В.Г. Газоабразивное изнашивание гуммировочных покрытий // Современные проблемы машиноведения и высоких технологий: Тр. Междунар. науч.-технич. конф. – Ростов н/Д: ДГТУ. – 2005. – Т. 2. – С. 70-77.
2. Патент № 2333472 РФ Способ определения механических характеристик, используемых в расчётах контактного взаимодействия / Терещенко В.Г. – Оpubл. 10.09.08.
3. Терещенко В.Г. Механические характеристики и износостойкость в газоабразивных средах композиционных покрытий на основе полихлоропренов // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. 2006. Прилож. № 5. – С. 42-47.
4. Джонсон К. Механика контактного взаимодействия: Пер. с англ. – М.: Мир, 1989. – 510 с.

#### **Сведения об авторе:**

*Терещенко Владимир Григорьевич* – к.т.н., доцент, доцент кафедры технической эксплуатации автомобилей, СКФУ, г. Ставрополь.