

**Д.М. Караваев, В.К. Безматерных, В.А. Москалев, Л.Е. Макарова**  
**D.M. Karavaev, V.K. Bezmaternykh, V.A. Moskalev, L.E. Makarova**

Пермский национальный исследовательский политехнический университет  
Perm National Research Polytechnic University

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТВЕРДОСТИ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ТЕРМОРАСШИРЕННОГО ГРАФИТА**

## **DETERMINATION OF THE HARDNESS OF COMPOSITE MATERIALS BASED ON THE EXPANDED GRAPHITE**

Сконструирована и изготовлена оснастка для определения твердости композиционных материалов в соответствии со стандартными методами по ГОСТ 4670–91 и ISO 2039-1:2001. Определена твердость при вдавливании шарика в композиционный материал на основе терморасширенного графита.

**Ключевые слова:** композиционные материалы, терморасширенный графит, модифицированная силиконовая смола, механические свойства, твердость.

The equipment are designed and manufactured for the hardness determination of composites materials in accordance with standard test methods GOST 4670–91 and ISO 2039-1:2001. The ball indentation hardness of composites materials based on the expanded graphite was determined.

**Keywords:** composite materials, expanded graphite, modified silicone resin, mechanical properties, hardness.

В научно-исследовательских целях и для контроля качества широко применяются неразрушающие методы испытаний. Одним из них является метод определения твердости. Под твердостью понимают свойство материала сопротивляться проникновению в него другого, более твердого тела – индентора. Твердость зависит от структуры материала и других его механических характеристик, главным образом модуля упругости при деформации и предела прочности при разрушении, количественная связь с которыми устанавливается теорией упругости. Целью работы является определение твердости композиционного материала на основе терморасширенного графита с модифицированной силиконовой смолой.

Исследование твердости композиционного материала проводили в соответствии со стандартными методами по ГОСТ 4670–91 [1] и ISO 2039-1:2001 [1].

Для проведения испытаний использовали разрывную машину модели Р-0,5. В связи с тем, что в данной испытательной машине не предусмотрено проведение испытаний на твердость, для проведения испытаний модернизировали реверсор для определения механических характеристик при сжатии [2, 3].

Принципиальная схема модернизированного реверсора приведена на рис. 1 и 2.

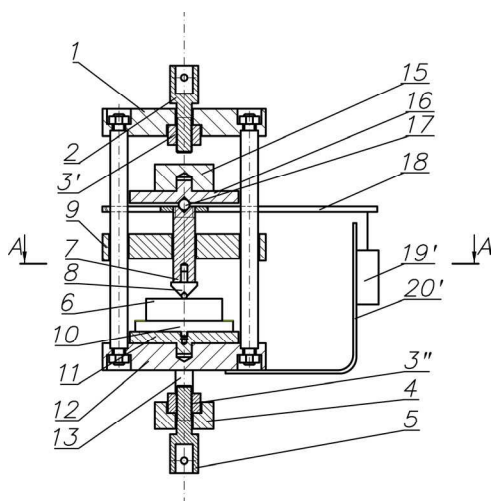


Рис. 1. Модернизированный реверсор в разрезе

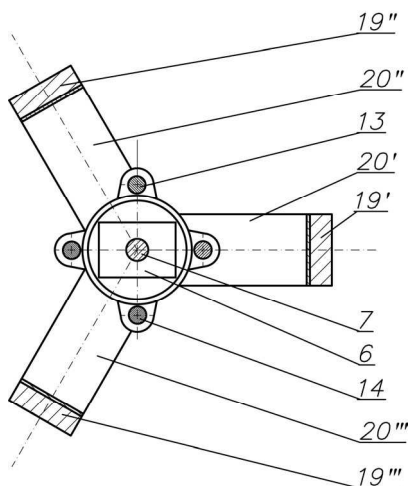


Рис. 2. Модернизированный реверсор, сечение А-А

Скомпонованный реверсор устанавливают в испытательную машину (не показана). Для этого внешнюю неподвижную траверсу 1 реверсора с помощью втулки 2 и гайки 3' соединяют через датчик силы (не показан) с пассивным захватом испытательной машины, а внешнюю подвижную траверсу 4 реверсора с помощью втулки 5 и гайки 3'' – с активным захватом испытательной машины (рис. 1). В случае испытания исследуемого образца 6 на твердость силовой шток 7, взятый из набора, с рабочей поверхностью 8 в виде наконечника твердомера вставляется в свободное отверстие направляющей траверсы 9. Исследуемый образец 6 помещают на опорный стол 10, соединенный с Т-образной в сечении площадкой 11, которая устанавливается в отверстие внутренней неподвижной траверсы 12. Затем опускают силовой шток 7 с соответствующей рабочей поверхностью 8 на поверхность образца. Включают привод испытательной машины (не показан) для перемещения активного захвата машины и связанной с ним внешней подвижной траверсы 4. Усилие (движение) от внешней подвижной траверсы 4 передается через колонки 13 и 14 (рис. 1 и 2) на внутреннюю подвижную траверсу 15, а от нее – на Т-образную площадку 16, через шар 17 в ней – на силовой шток 7 с индентором, внедряющийся в образец 6. Глубина вдавливания торцевой части штока в образец измеряется по перемещению плоского элемента 18, соединенного с силовым штоком 7 и выполненного в виде трехлучевой с усеченными концами звезды, тремя лазерными датчиками перемещения 19', 19'', 19''', жестко закрепленными на державках 20', 20'', 20'''. При испытании сигналы, поступающие с датчика силы (не показан), а также с трех лазерных датчиков перемещения 19', 19'', 19''' регистрируются и обрабатываются ЭВМ.

Твердость при вдавливании шарика определяли как отношение максимальной нагрузки  $F_{\max}$ , приложенной к индентору, к площади поверхности отпечатка  $A$  под нагрузкой через 30 с после ее приложения:

$$H = \frac{F_{\max}}{A}.$$

По стандарту площадь отпечатка рассчитывали по глубине вдавливания индентора  $h_r$ , которую фиксировали при испытании с помощью трех датчиков перемещения. Твердость рассчитывали по формуле [4, 1]

$$H = \frac{F_{\max}}{\pi d h_{\max}}, \quad (1)$$

где  $F_{\max}$  – максимальная нагрузка при испытаниях, Н;  $d$  – диаметр шарикового индентора, мм;  $h_{\max}$  – максимальная глубина вдавливания, мм.

Твердость, определяемая по формуле (1), при малых нагрузках не является постоянной величиной, так как глубина вдавливания меняется непропорционально прикладываемой нагрузке [5].

В ГОСТ 4670–91 твердость принято определять при единой глубине вдавливания, равной 0,25 мм. При этом должны использоваться нагрузки из ряда 49, 132, 358, 961 Н, а глубина вдавливания, полученная при использовании одной из этих нагрузок, должна находиться в интервале 0,15–0,35 мм. За начальное значение глубины вдавливания принимали значение после приложения предварительной нагрузки. Пересчет твердости на глубину вдавливания, равную 0,25 мм, подробно описан в стандартах [4, 1]. Стандарт рекомендует проводить 10 испытаний.

Были проведены исследования влияния процентного содержания модифицированной силиконовой смолы на значение твердости при вдавливании шарика в поверхность образцов из композиционного материала на основе ТРГ со средней плотностью  $\rho = 1,67 \text{ г/см}^3$ . Поскольку композиционный материал, как показали испытания на сжатие [3] и исследования структуры [6], является анизотропным, твердость определяли на двух поверхностях: перпендикулярной и параллельной оси прессования. Результаты испытаний приведены на рис. 3 и 4.

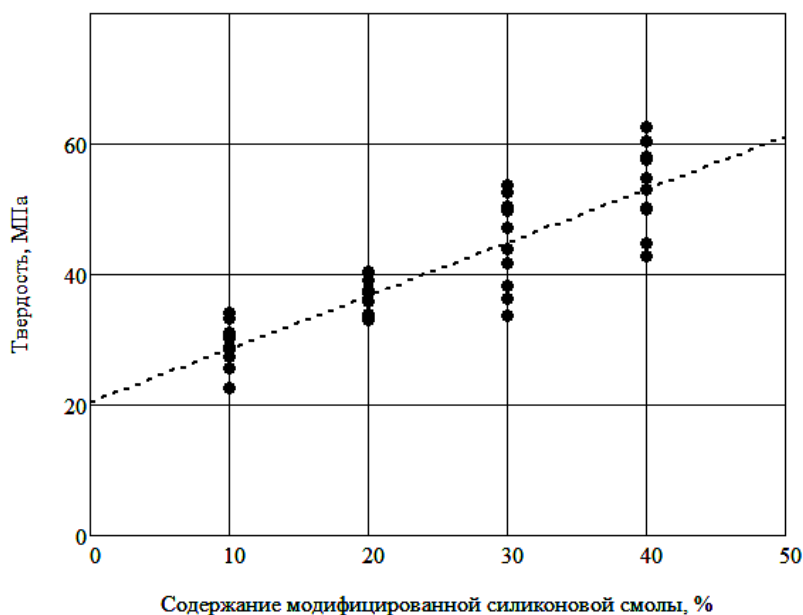


Рис. 3. Влияние процентного содержания модифицированной силиконовой смолы на значение твердости при вдавливании шарика в поверхность, перпендикулярную оси прессования образцов, со средней плотностью  $\rho = 1,67 \text{ г/см}^3$

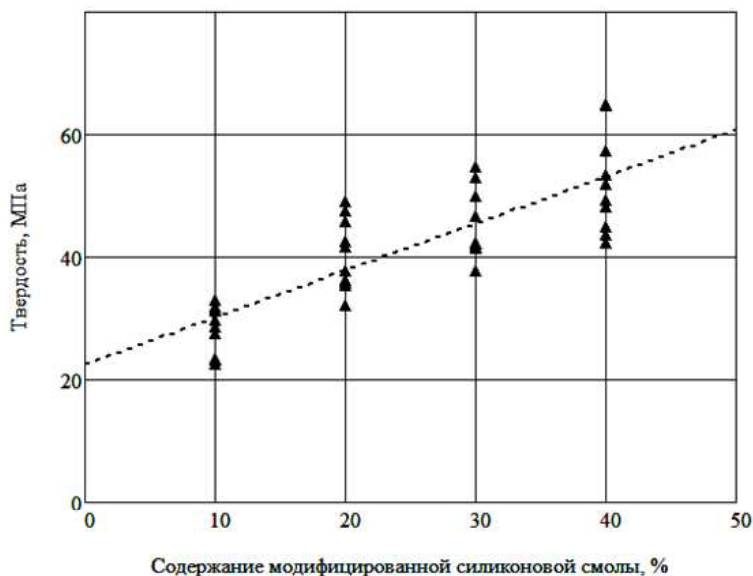


Рис. 4. Влияние процентного содержания модифицированной силиконовой смолы на значение твердости при вдавливании шарика в поверхность, параллельную оси прессования образцов, со средней плотностью  $\rho = 1,67 \text{ г/см}^3$

Исследования показали, что при содержании модифицированной силиконовой смолы от 10 до 40 % от массы смеси твердость при вдавливании шарика пропорционально возрастает с увеличением содержания модифицированной силиконовой смолы. При этом средняя твердость на поверхности образца, перпендикулярной и параллельной оси прессования, оказалась одинаковой.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант РФФИ-Урал № 11-01-96033).

### Список литературы

1. ISO 2039-1:2001. Determination of hardness – Part 1: Ball indentation method, 2001. – 6 p.
2. Караваев Д.М., Русин Е.С. Разработка метода механических испытаний композиционных материалов на основе терморасширенного графита в диапазоне рабочих температур // Журнал магистров. – 2012. – № 1. – С. 55–57.
3. Механические свойства композиционного материала на основе терморасширенного графита / Д.М. Караваев, А.М. Ханов, А.И. Дегтярев, Л.Е. Макарова, Д.В. Смирнов, О.Ю. Исаев // Известия Самарского научного Центра Российской академии наук. – 2012. – Т. 14, № 1(2). – С. 562–564.

4. ГОСТ 4670–91 Пластмассы. Определение твердости. Метод вдавливания шарика. – М.: Изд-во стандартов, 1992. – 8 с.

5. Крень А.П., Рудницкий В.А., Садовников А.О. Влияние скорости деформации на измерение твердости фторопласта-4 методом динамического индентирования // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2006. – Т. 72, № 10. – С. 42–46.

6. Особенности строения и использования терморасширенного графита / А.М. Ханов, Л.Е. Макарова, А.И. Дегтярев, Д.М. Караваев, В.А. Москалев, А.А. Нестеров, Д.В. Смирнов, О.Ю. Исаев // Вестник ПНИПУ. Машиностроение, материаловедение. – 2012. – Т. 14, № 1. – С. 92–106.

Получено 3.09.2012

**Караваев Дмитрий Михайлович** – ассистент, Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: kmcm@ya.ru).

**Безматерных Виталий Константинович** – магистрант, Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: kmcm@ya.ru).

**Москалев Владимир Алексеевич** – кандидат технических наук, доцент, Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: kmcm@ya.ru).

**Макарова Луиза Евгеньевна** – ведущий инженер, лауреат премии ВОИР, изобретатель СССР, Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: kmcm@ya.ru).

**Karavaev Dmitriy Michailovich** – Assistant, Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, Komsomolsky av., 29, e-mail: kmcm@ya.ru).

**Bezmaternykh Vitaliy Constantinovich** – Undergraduate Student, Research Polytechnic University (614990, Perm, Komsomolsky av., 29, e-mail: kmcm@ya.ru).

**Moskalev Vladimir Alekseevich** – Candidate of Technicals Sciences, Associate Professor, Research Polytechnic University (614990, Perm, Komsomolsky av., 29, e-mail: detali@pstu.ru).

**Makarova Luiza Evgenievna** – Lead Engineer, VAIR award winner, inventor of the USSR, Research Polytechnic University (614990, Perm, Komsomolsky av., 29, e-mail: kmcm@ya.ru).