

УДК 661.666.232

## ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРНО-МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ ТЕРМОРАСШИРЕННОГО ГРАФИТА НА ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА С КРЕМНИЙОРГАНИЧЕСКИМ СВЯЗУЮЩИМ

© 2013 Д.М. Караваев, А.М. Ханов, Е.В. Матыгуллина, Л.Д. Сиротенко

Пермский национальный исследовательский политехнический университет

Поступила в редакцию 06.11.2013

Исследовано влияние способа измельчения терморасширенного графита на износостойкость композиционных материалов с кремнийорганическим полимерным связующим. Показано, что наиболее эффективно использование в качестве исходного компонента фрагментированного терморасширенного графита с длиной фрагментов 0,1-3,0 мм. Установлено, что повышение износостойкости композиционного материала связано с каркасной структурой терморасширенного графита, стержневые элементы которого выполняют роль армирующих волокон.

Ключевые слова: *терморасширенный графит, композиционный материал, кремнийорганическое связующее, износостойкость, морфология частиц*

В настоящее время в химической, нефтеперерабатывающей, энергетической и других отраслях промышленности существует ряд проблем, связанных с использованием традиционных шаровых кранов в качестве запорной арматуры. В условиях интенсивной эксплуатации, предполагающей переработку горячих жидкостей и газов при высоких давлениях и при температурах до 500-550°C, одним из факторов, ограничивающих надежность шаровых кранов, является недостаточная износостойкость уплотнения в области контакта пары «шар-седло» [1]. В этих условиях актуальной задачей современного арматуростроения следует считать разработку новых износостойких материалов для уплотнительных элементов, повышающих эффективность эксплуатации оборудования в диапазоне температур от 200°C до 550°C [2].

Терморасширенный графит (ТРГ) как уплотнительный материал получил широкое распространение благодаря высоким технологическим характеристикам: температуростойкости, химической стойкости; негорючести, высокой степени сжимаемости и восстанавливаемости; минимальной газопроницаемости; отсутствию

присадок, способных приводить к изменению свойств материала во времени [3]. В тоже время анализ литературных источников [4, 5] показывает, что уплотнения из графита без дополнительных упрочняющих конструктивных элементов не обладают комплексом характеристик, требуемых для материалов седловых уплотнений, поэтому приоритетным направлением развития современного арматуростроения является применение уплотнительных элементов из композиционных материалов (КМ) на основе ТРГ. Триботехнические свойства КМ на основе ТРГ и полимерного связующего в значительной степени зависят от макроструктуры ТРГ, используемого в качестве исходного сырья для получения КМ. Морфология частиц наполнителя во многом определяет его свойства, особенно при взаимодействии с матричным полимерным материалом в композите в процессе механического воздействия. В тоже время имеющиеся работы по исследованию триботехнических свойств вновь создаваемых КМ на основе ТРГ и полимерных связующих не содержат сведений о влиянии состояния и макрогеометрии частиц ТРГ, используемого для получения КМ, на его износостойкость. Поэтому установление закономерности влияния характеристик исходного ТРГ на уровень триботехнических свойств КМ на его основе является актуальной задачей.

В данной работе объектами исследования являлись образцы из КМ на основе ТРГ с модифицированной кремнийорганической смолой, термически стойкой при 600 °С. Порошкообразную

*Караваев Дмитрий Михайлович, ассистент. E-mail: kmitom@ya.ru*

*Ханов Алмаз Муллаянович, доктор технических наук, профессор. E-mail: mtf-dekanat@pstu.ru*

*Матыгуллина Елена Вячеславовна, доктор технических наук, профессор. E-mail: matik68@rambler.ru*

*Сиротенко Людмила Дмитриевна, доктор технических наук, профессор. E-mail: sirotenko@pstu.ru*

кремнийорганическую смолу смешивали в соотношении 40/60 масс.% с одним из порошков следующего происхождения:

1. КМ №1: порошок молотого графита марки ТРГ-М производства ООО «Силур» (г. Пермь), полученный измельчением предварительно деформированного ТРГ (прокаткой, прессованием) с размером среднего диаметра частиц 63-315 мкм (преимущественно отходы производства);

2. КМ №2: фрагментированный червеобразный ТРГ с длиной фрагментов 0.1-3 мм, полученный измельчением червеобразного ТРГ гладкими спиралеобразными измельчителями [6].

3. КМ №3: диспергированный червеобразный ТРГ с размером среднего диаметра частиц 1-100 мкм, полученный измельчением фрагментированного червеобразного ТРГ вращающимися лезвиями [6].

Соотношение компонентов смеси 40/60 масс.% было выбрано на основании предыдущих исследований [7, 8]. Образцы для проведения испытаний изготавливали из смеси компонентов односторонним прессованием в удлиненной вертикальной пресс-форме со съемным дном [9]. Давление прессования варьировалось в диапазоне 30-90 МПа. Спрессованные образцы подвергались термообработке при температуре  $200 \pm 10^\circ\text{C}$  в течении 30 мин. Результаты испытания образцов КМ на сжатие представлены на рис. 1.

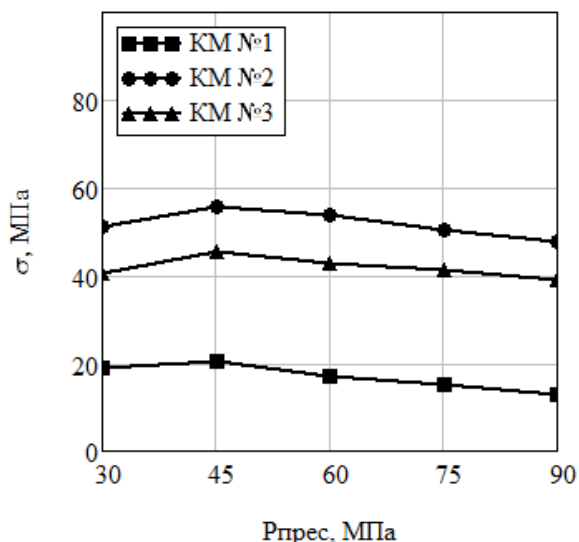


Рис. 1. Зависимость прочности КМ при сжатии от давления прессования

Износостойкость КМ, полученных при давлении прессования 45 МПа, определяли на испытательной машине МИ-40КУ со специально разработанным приспособлением по схеме «кольцо-диск» (рис. 2).

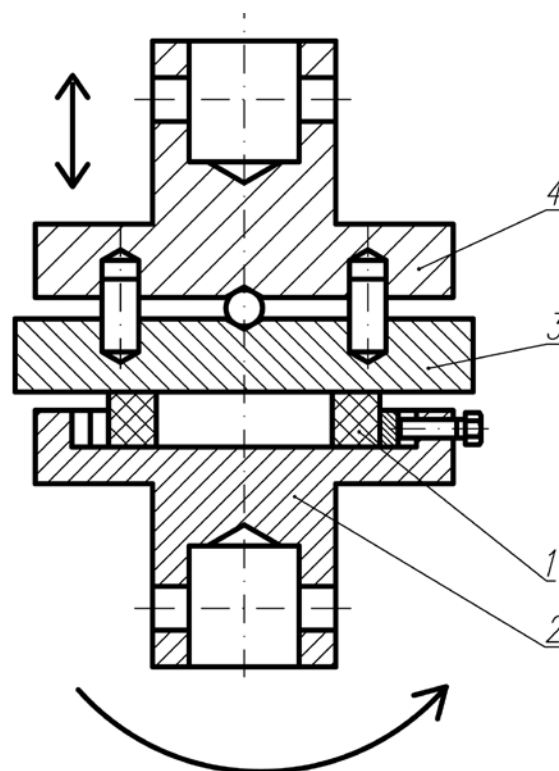


Рис. 2. Приспособление для исследования изнашивания:

1 – кольцевой образец; 2 – захват; 3 – контртело; 4 – самоустанавливающийся захват

Кольцевой образец 1 размером  $\phi 48 \times \phi 74 \times 15$  мм закрепляли в захвате 2, который через переходник крепился к выходному валу кручения испытательной машины МИ-40КУ (на рис. 2 не показаны). Контртело 3 из стали 20Х13 с твердостью 50 HRC и шероховатостью  $Ra=0,84$  мкм устанавливали в самоустанавливающемся захвате 4, который через переходник крепился к комбинированному датчику силы и момента (на рис. 2 не показаны). На расстоянии 2 мм от поверхности скольжения устанавливали конец термопары. Испытания проводили при скорости 1 об/мин. Перед началом каждого испытания поверхность контртела промывали ацетоном. Длительность испытания была принята равной 12 часов с определением износа через 2 часа взвешиванием на аналитических весах. Испытания проводили при нагрузке на образец от 1 до 5 МПа. Каждое испытание проводили на трех образцах, а затем вычисляли среднее арифметическое значение. Результаты испытаний представлены на рис. 3 и 4.

Анализ графика на рис. 3 показывает, что для КМ №3 характерно резкое возрастание износа до недопустимых пределов, для КМ №2 скорость износа на установившейся стадии значительно меньше, но также превосходит допустимую. Лишь для КМ №2 получены удовлетворительные результаты, позволяющие сделать выводы о возможности его применения в качестве

уплотнительных элементов. Зависимость износа КМ от удельного давления после 12 часов испытаний представлена на рис. 4. Как показывают результаты исследований, КМ №1 и №3 не могут эксплуатироваться при давлениях в контакте более 4-5 МПа.

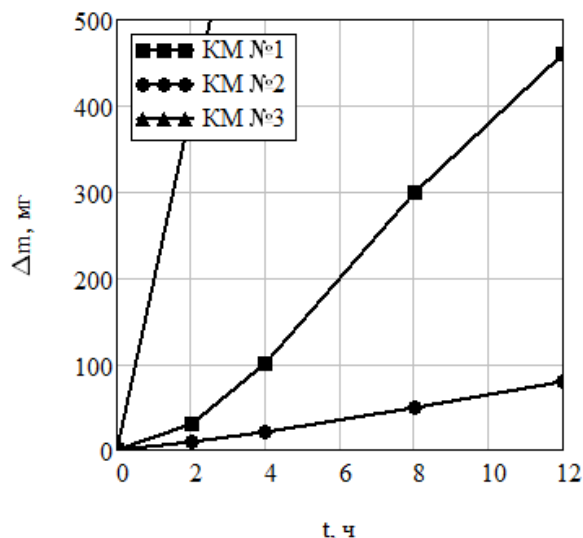


Рис. 3. Зависимость износа композиционных материалов на основе ТРГ и модифицированной кремнийорганической смолы при трении по стали 20Х13 от времени испытания при нагрузке 5 МПа

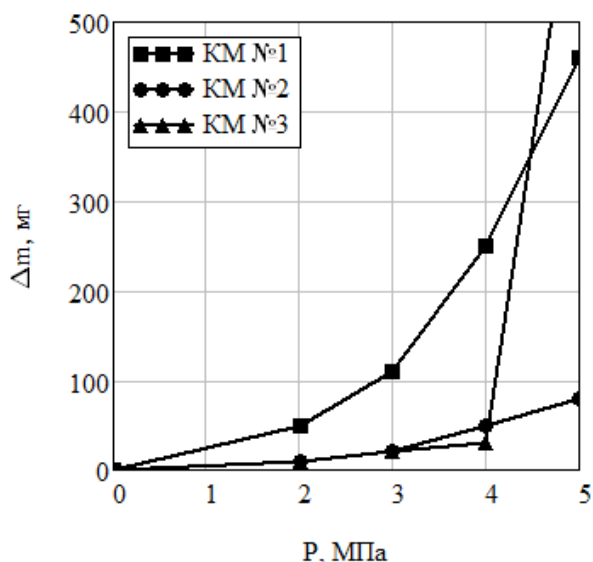


Рис. 4. Изменение износа КМ по стали 20Х13 от удельного давления

Анализ полученных результатов позволил предположить, что наиболее высокая износостойкость КМ №2 связана со структурно-морфологическими особенностями ТРГ, используемого для получения данного КМ. Такого рода особенности, в свою очередь, являются следствием способа, степени и характера механического воздействия в процессе измельчения

ТРГ перед формованием КМ. Изучение морфологии структурных элементов ТРГ [10-11] проводили препарированием «червеобразного» графита на отдельные фрагменты с целью наблюдения укладки лепестков чешуек относительно друг друга на армирующих стержнях, а также изучения морфологии самих стержней. Посредством «мягкого» механического воздействия с помощью специально разработанного оборудования и последующих структурных исследований были выявлены гибкие прямые и спиралевидные стержни – элементы каркаса, на котором держатся частицы графита в виде сложноструктурированных чешуек (рис. 5). Можно предположить, что именно они играют упрочняющую роль при получении КМ №2, демонстрирующего достаточно высокие триботехнические свойства. В то же время интенсивное измельчение исходного ТРГ, характерное для процессов получения КМ №1 и №2, приводит к исчезновению преимуществ природного механизма упрочнения, связанного с особенностью морфологии исходного графита.

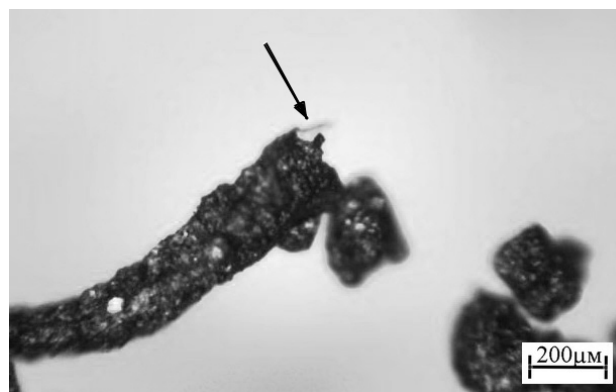


Рис. 5. «Червеобразный» ТРГ с армирующим стержнем (показан стрелкой)

#### Выводы:

1. В результате исследования влияния характера и степени измельчения исходного ТРГ на износостойкость композиционного материала с кремнийорганическим связующим установлено, что наиболее эффективным является использование фрагментированного ТРГ с длиной фрагментов 0,1-3,0 мм.
2. Установлено, что повышение износостойкости композиционного материала связано с каркасной структурой чешуек исходного графита, стержневые элементы которой выполняют роль армирующих волокон.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Смирнов, Д.В. SEALUR-500 – новый уплотнительный материал для шаровой арматуры / Д.В. Смирнов, О.Ю. Исаев, В.П. Лепихин // Арматуростроение. 2011. № 1(70). С. 56-57.

2. *Караваяев, Д.М.* Разработка метода механических испытаний композиционных материалов на основе терморасширенного графита в диапазоне рабочих температур / *Д.М. Караваяев, Е.С. Русин* // *Master's Journal*. 2012. № 1. С. 55-57.
3. *Погодин, В.К.* Об условиях применения изделий из терморасширенного графита в разъемных соединениях и сальниковых уплотнениях промышленного оборудования / *В.К. Погодин, А.А. Погодина, В.А. Балакирев* и др. // *Безопасность труда в промышленности*. 2003. №9. С. 33 -35.
4. *Ангелини, Р.* Шаровые краны для тяжелых условий эксплуатации // *Арматуростроение*. 2006. № 2(41). С. 41-45.
5. НТВ low & high temperature HP ball valves Version: B10-73-Rev.02. URL: <http://www.cesarebonetti.it/en/component/jdownloads/?task=finish&cid=29&catid=12>.
6. *Караваяев, Д.М.* Определение насыпной плотности терморасширенного графита / *Д.М. Караваяев, Л.Е. Макарова, А.И. Дегтярев, К.В. Трошков* // *Известия Самарского научного Центра Российской академии наук*. 2013. Т. 15, №4(2). С. 360-362.
7. *Караваяев, Д.М.* Механические свойства композиционного материала на основе терморасширенного графита / *Д.М. Караваяев, А.М. Ханов, А.И. Дегтярев* и др. // *Известия Самарского научного Центра Российской академии наук*. 2012. Т. 14, № 1(2). С. 562-564.
8. *Караваяев, Д.М.* Анизотропия механических свойств композиционного материала на основе терморасширенного графита / *Д.М. Караваяев, А.М. Ханов, А.И. Дегтярев* и др. // *Известия Самарского научного Центра Российской академии наук*. 2012. Т. 14, № 4(5). С. 1243-1245.
9. Пат. 2469859 Российская Федерация, МПК В30В 15/02 (2006.01), В22F 3/03 (2006.01), В29С 43/02 (2006.01). Устройство для прессования полых изделий / *А.М. Ханов, Д.М. Караваяев, А.А. Нестеров* и др. № 2011125358/02 ; заявл. 20.06.11 ; опубл. 20.12.12, Бюл. № 35. 11 с.
10. *Ханов, А.М.* Особенности строения терморасширенного графита / *А.М. Ханов, Л.Е. Макарова, А.И. Дегтярев* и др. // *Известия Самарского научного центра РАН*. 2011. Т. 13, № 4(4). С. 1119-1122.
11. *Ханов, А.М.* Особенности строения и использования терморасширенного графита / *А.М. Ханов, Л.Е. Макарова, А.И. Дегтярев* и др. // *Вестник пермского национального исследовательского политехнического университета. Машиностроение, материаловедение*. 2012. Т. 14, № 1. С. 92-106.

## INFLUENCE OF STRUCTURAL-MORPHOLOGICAL FEATURES OF THERMOEXPANDED GRAPHITE ON WEAR RESISTANCE OF COMPOSITE MATERIAL WITH ORGANIC SILICON BINDING

© 2013 D.M. Karavayev, A.M. Hanov, E.V. Matygullina, L.D. Sirotenko

Perm National Research Polytechnical University

It was investigated the influence of thermoexpanded graphite refinement way on wear resistance of composites with the organic silicon polymeric binding. It is shown that most effective use as initial component of fragmented thermoexpanded graphite with a length of fragments 0,1-3,0 mm. It is established that increase of composite wear resistance is bound to frame structure of thermoexpanded graphite which rod elements carried out a role of reinforced fibres.

*Key words: thermoexpanded graphite, composite, organic silicon binding, wear resistance, particles morphology*

---

*Dmitriy Karavayev, Assistant. E-mail: kmitom@ya.ru*  
*Almaz Khanov, Doctor of Technical Sciences, Professor.*  
*E-mail: mtf-dekanat@pstu.ru*  
*Elena Matygullina, Doctor of Technical Sciences, Professor.*  
*E-mail: matik68@rambler.ru*  
*Lyudmila Sirotenko, Doctor of Technical Sciences, Professor.*  
*E-mail: sirotenko@pstu.ru*