

**Л.Е. Макарова, А.И. Дегтярев, В.А. Москалев,
Д.М. Карavaев, А.А. Нестеров
L.E. Makarova, A.I. Degtyarev, V.A. Moskalev,
D.M. Karavaev, A.A. Nesterov**

Пермский национальный исследовательский политехнический университет
State National Research Politechnical University of Perm

**ВЛИЯНИЕ ПЛАСТИФИКАТОРА
НА СТРУКТУРУ КОМПОЗИЦИИ НА ОСНОВЕ
ТЕРМОРАСШИРЕННОГО ГРАФИТА**

**PLASTICIZER INFLUENCE ON COMPOSITION STRUCTURE
ON THE BASIS OF EXPANDED GRAPHITE**

Исследовалась микро- и макроструктура композиций из терморасширенного графита (ТРГ) в сочетании с термопластом или реактопластом. Проведена предварительная оценка влияния структурных изменений в композиции на ее макромеханические свойства.

Ключевые слова: композиция из порошковых материалов, границы терморасширенного графита, реактопласт, отверждение, пластификатор.

Micro and macrostructure of expanded graphite composition in thermoplastic combination or thermoset combination is examined. Preliminary estimate of the structural changes influence in composition to its macromechanical properties is preformed.

Keywords: composition of powder materials, coverage of expanded graphite, reactive layer, hardening, plasticizer.

Исследуемая композиция состоит из двух фракций: частиц наполнителя из ТРГ и полимерного связующего. Разнородность цветовой окраски – ТРГ темного цвета, полимерное связующее светлого цвета, – позволяет визуально наблюдать и фиксировать структурное состояние композита. Разработанный способ шлифовки, полирования и травления поверхности шлифа образца изучаемого композита сделал возможным исследовать связь компонентов без существенного искажения структуры исследуемого материала.

На рис. 1, *a* и *б* представлена структура из ТРГ и термопласта на основе смеси эпоксидной и полиэфирной смол. Данная смесь образовалась после прессования на прессе УИМ-50М образца диаметром 25 мм (нагрузка на образец – 4500 кг), скорость нагружения 10 мм/мин.

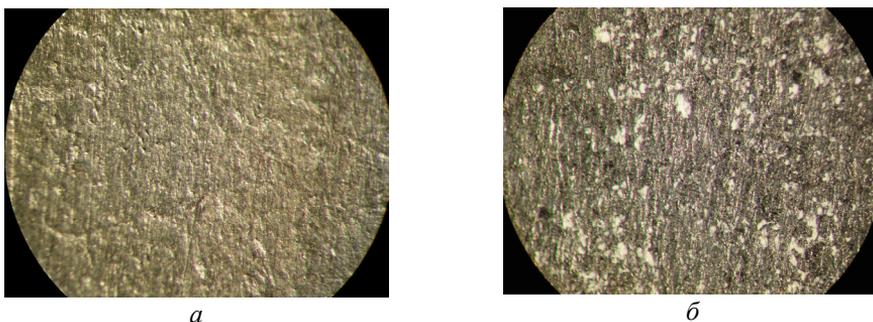


Рис. 1. Микроструктура композита: *a* – после травления торцевой поверхности образца; *б* – после травления боковой поверхности образца. Частицы графита серого цвета закреплены связующим белого цвета, $\times 56$

Анализ данной структуры показывает, что композиция после прессования представляет собой композицию из частиц графита в виде чешуек с рельефной поверхностью и кромкой в виде множества отростков и связующего в виде белого цвета прослоек. Чешуйки графита размещаются в горизонтальной плоскости и скрепляются между собой термопластичным полимером, играющим роль каркаса.

Поскольку поверхности графитовых частиц имеют сложный рельеф, то равномерного покрытия их термопластом не происходит. В целом наблюдается слоистая сложноорганизованная структурная композиция: частицы графита частично покрыты термопластом (рис. 2, *a*), на границах соприкосновения частиц графита имеются разнотолщинные прослойки связующего – термопласта. Аналогичная картина наблюдается и в вертикальной области образца (рис. 2, *б*).

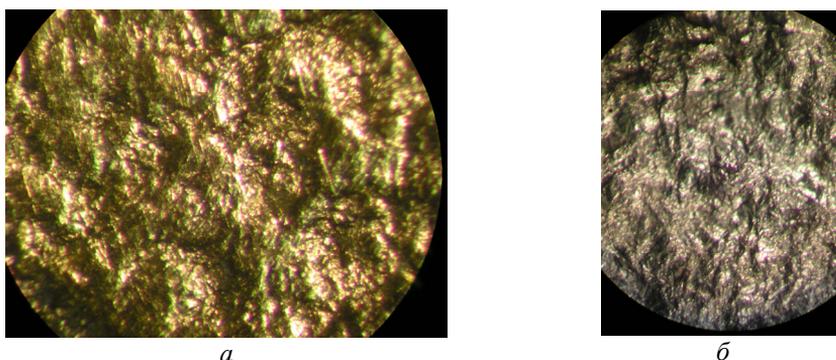


Рис. 2. Микроструктура на поверхности образца: *a* – торцевая часть; *б* – боковая поверхность образца. Видны графитовые чешуйки розеточного типа и связующее (белого цвета). Часть розеток покрыта связующим, $\times 56$

Необходимо отметить, что частицы ТРГ представляют собой в основном розетку с лепестками, размещенными радиально относительно центра розет-

ки, который представляет собой свободную пору. В результате перемешивания компонентов смеси и прессования материал связующего плотно заполняет пору (рис. 3, а и б).

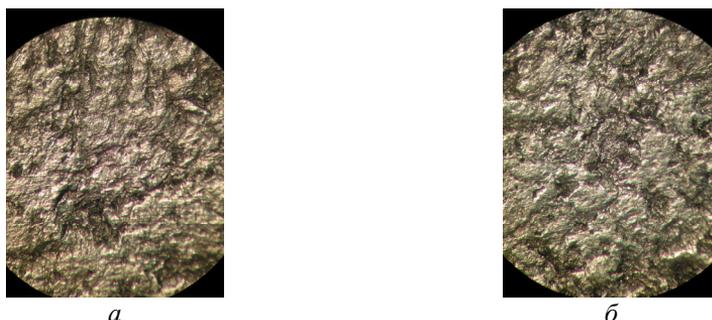


Рис. 3. Микроструктура образца. После прессования смеси порошков пустоты в розетках графитовых чешуек заполнены связующим, $\times 100$

На втором этапе в качестве связующего использовался термореактопласт на основе силиконовой смолы с наполнителем черного цвета.

После проведения холодного прессования смеси из ТРГ с термореактопластом полученный композит подвергался нагреву с целью определения температуры и времени полного отверждения композиции. На рис. 4 представлена структура спрессованных образцов после нагрева при $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение 15 мин. Затем эти образцы подвергались дополнительному нагреву при $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение 15 мин. Полученная структура показана на рис. 5.

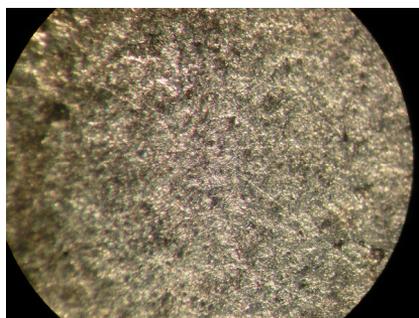


Рис. 4. Микроструктура композита: ТРГ – 70 %, связующее – 30 % – после прессования и термообработки ($100\text{ }^{\circ}\text{C}$, 15 мин) с охлаждением на воздухе, $\times 56$

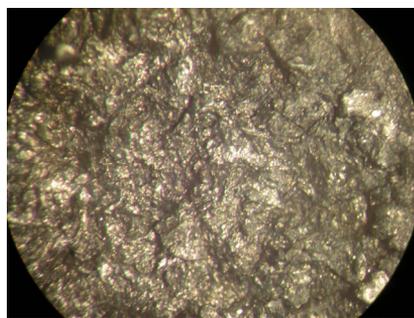


Рис. 5. Микроструктура композита того же состава, что и на рис. 4, после 2-ступенчатой термообработки спрессованного образца: $100\text{ }^{\circ}\text{C}$, 15 мин, затем $200\text{ }^{\circ}\text{C}$, 15 мин, $\times 56$

Сравнение структур на рис. 4, 5 показывает, что проведенный обжиг приводит к увеличению размеров структурных элементов. Объяснить это

можно тем, что обжиг снял внутренние напряжения и нормализовал состояние структуры, возможно также протекание процесса рекристаллизации.

Образцы из ТРГ с реактопластом, полученные холодным прессованием и нагретые до 200 °С в течение 30 мин, для проведения экструдирования оказались непригодны. Было установлено, что при температуре 200 °С завершился процесс отверждения, произошла сшивка надмолекулярной структуры с образованием жесткой сетчатой системы связей макромолекул, что не позволяет проводить деформацию композиции в процессе экструдирования. При увеличении давления на прессуемую массу происходит послойное разделение частей образца из-за перенапряжений в образце.

С целью достижения отверждения, не приводящего к ухудшению свойств композита, было проведено исследование по определению влияния на связующее – реактопласт различных пластификаторов. Было установлено, что наиболее приемлемым компонентом является ацетон. До начала процесса прессования ацетон при смешивании графита со связующим осуществляет вывод воды из пор и с поверхности графита, одновременно происходит обезжиривание стенок пор и поверхности. Это способствует улучшению адгезионных связей между компонентами композиции. Одновременно ацетон переводит связующее в пластичное состояние, что улучшает перемешиваемость компонентов в смеси. Данный эффект подтверждают структурные исследования, представленные на рис. 6.

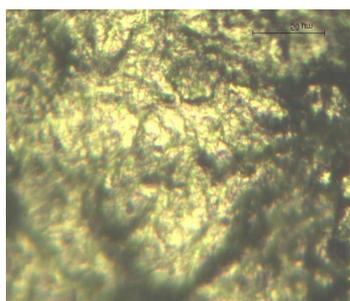


Рис. 6. Пластифицированное связующее позволяет получить однородную смесь, $\times 10$

Таким образом, использование ацетона в качестве псевдопластификатора показало, что в случае использования реактопласта экструдирование композиции происходит, причем с меньшими усилиями и с переориентацией структурных элементов по слоям. Образцы получаются беспористыми и более плотными.

Получено 1.09.2011