

Изменение структуры полимерного композиционного материала под воздействием ультразвуковых колебаний

Д.А. Негров, В.Ю. Путинцев, А.Р. Мулюкова, Э.И. Хусаенова

Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия

Аннотация: В статье описано влияние параметров ультразвукового прессования на структуру, механические и триботехнические свойства модифицированного полимерного композиционного материала (ПКМ) на основе политетрафторэтилена. Проведены исследования двух видов прессования в результате которых, были сделаны выводы о качестве прессуемого материала. Применение ультразвуковых колебаний, повышает эффективность модификации структуры матрицы и оказывает существенное влияние на процессы структурообразования в ней, за счет уменьшения пустот и раковин.

Ключевые слова: композиционный материал, ультразвуковые колебания, структура, модифицирование.

Срок эксплуатации современных машин и механизмов во многом зависит от механических и триботехнических свойств материалов узлов трения [1]. В настоящее время детали узлов трения, изготовленные из различных металлов и сплавов, постепенно заменяются полимерами и полимерными композиционными материалами, в частности на основе политетрафторэтилена [2].

Наиболее распространенным методом, повышения механических и триботехнических свойств политетрафторэтилена, является введение в полимерную матрицу наполнителей – модификаторов различного типа: дисперсных, волокнистых, ультрадисперсных [3].

Модификацию выпускаемых промышленностью полимеров можно также осуществлять и физическими методами, как на стадии их получения, так и в процессе переработки полимера в готовое изделие [4]. Физические методы модификации могут быть применены практически для всех полимеров и полимерных композиционных материалов на их основе, так как они вызывают в них химические и структурные изменения. Физические методы модификации можно условно разделить на ряд видов:

- термическое воздействие (низкотемпературная или термохимическая обработка);
- облучение (радиационное, радиационно-термическое, ТВЧ, лазерное, ИК и УФ излучение);
- вакуумно-компрессорная обработка (давление, вакуум, взрывное нагружение);

- воздействие электромагнитных полей (электротермическая или электрическая обработка, воздействие магнитных полей);
- периодическое деформирование (вибрационная или ультразвуковая обработка).

Применение энергии ультразвуковых колебаний при прессовании порошкообразных или гранулированных полимеров и полимерных композиций, находящихся в твердом состоянии или претерпевающих переход в высокоэластическое или вязкотекучее состояние, наблюдается уплотнение материала, сопровождающееся удалением газовой фазы. Указанный эффект обусловлен тем, что при воздействии вибрационных импульсов отдельным частицам материала сообщаются индивидуальные скорости и ускорения, в результате чего разрушаются арочные образования и происходит равномерная укладка частиц порошка.

Если в процессе ультразвукового прессования порошковый полимер переходит в вязкотекучее состояние, то периодические импульсы вызовут в текучей фазе беспорядочную вибрацию отдельных молекул, сопровождаемую их скручиванием и взаимным переплетением, в результате чего происходит интенсивная дегазация, перемешивание и сплавление отдельных частиц в однородную, без пористую массу, обладающую высокой структурной монолитностью и прочностью [5].

Стационарное давление, производимое на прессуемую массу, будет способствовать концентрации звуковой энергии и более эффективному ее использованию. Наилучших, с точки зрения эффективности и энергоемкости, результатов можно добиться при ведении процесса ультразвукового прессования в резонансном режиме, сопровождаемым образованием в формирующей полости стоячих волн.

Целью данной работы является исследование влияния ультразвуковых колебаний на структуру полимерного композиционного материала на основе политетрафторэтилена.

Объектом исследования являлся композиционный материал на основе политетрафторэтилена с комплексным наполнителем-модификатором: 8% - скрытокристаллический графит, 6% - углеродное волокно, 2% - MoS_2 . Для исследования образцы изготавливались холодным прессованием (т.е. без наложения ультразвуковых колебаний), и прессованием с наложением ультразвуковых колебаний.

Для изготовления изделий из полимерных композиционных материалов методом ультразвукового прессования, была разработана и изготовлена специальная установка на базе гидравлического прессы МТ – 50. В качестве источника ультразвуковых колебаний был взят магнитострикционный преобразователь ПМС 15-А-18 (резонансная частота колебаний 17,8 кГц), с ультразвуковым генератором УЗГ 3 – 4, имеющим входную мощность 5 кВт и работающим в частотном диапазоне от 17,5 до 23 кГц.

Для изучения тонкой структуры в данной работе были использованы микроскопы РЭМ-100У (разрешение 10 нм) и JEM – 6460 LV (разрешение 3 нм), при этом для создания на поверхности скола электропроводящего

покрытия применялось напыление серебра (для РЭМ-100У) или золота (для JEM – 6460 LV) в условиях высокого вакуума.

Введение наполнителя приводит к измельчению исходной структуры, что характерно для образцов, изготовленных по обеим технологиям. Данное воздействие можно определить как геометрическое модифицирующее воздействие на матрицу: исходная ленточная структура ПТФЭ разбивается частицами наполнителя, внедряющимися в матрицу (**рис. 1**).

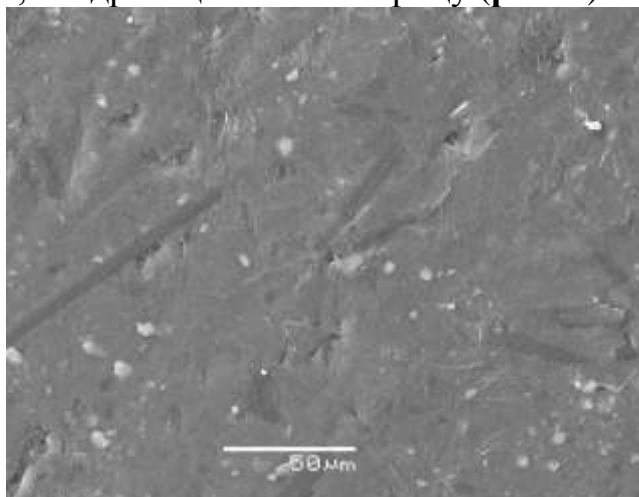


Рисунок 1. Микрофотография скола образца политетрафторэтилена, содержащего 6 % УВ, 8 % СКГ, 2 % MoS_2 и изготовленного ультразвуковым прессованием

В образцах изготовленных ультразвуковым прессованием обнаруженные структурные элементы в наполненном ПТФЭ могут быть идентифицированы как сильно дефектные сферолиты неправильной формы [6]. Образование сферолитов обнаружено вблизи частиц разных размеров, но наиболее сильное - вблизи крупнодисперсного наполнителя (**рис. 2**). При этом центрами кристаллизации выступают участки поверхности частиц наполнителя и углеродного волокна.

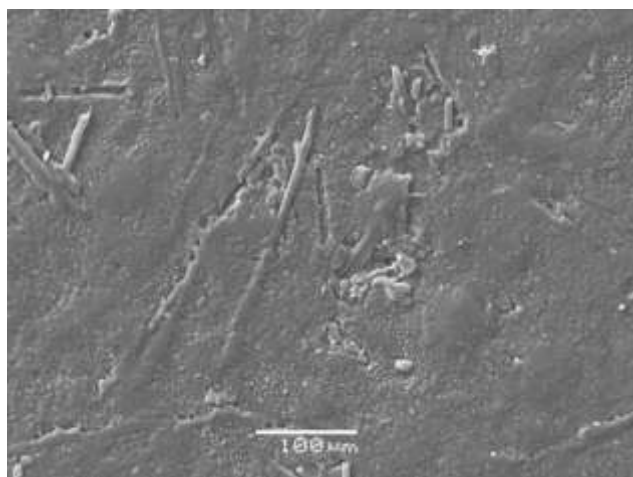


Рисунок 2. Микрофотография скола образца политетрафторэтилена, содержащего 6 % УВ, 8 % СКГ, 2 % MoS_2 изготовленного холодным прессованием

В результате проведенных исследований метод электронно-микроскопического анализа скола образцов, изготовленных холодным прессованием, показал, что на поверхности скола наблюдаются явно выраженные раковины и пустоты. Концентрация пустот выше около углеродного волокна, то есть при обычном способе прессования полимерная матрица плохо облегает углеродное волокно и в дальнейшем это сказывается на механических свойствах материала (**рис. 3**).

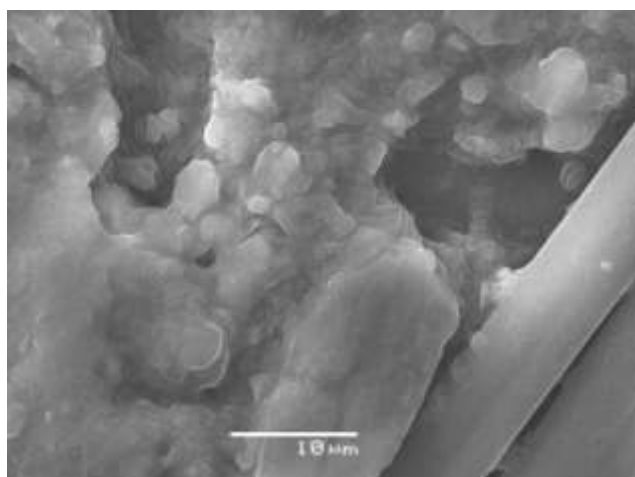


Рисунок 3. Микрофотография скола образца политетрафторэтилена, содержащего 6 % УВ, 8 % СКГ, 2 % MoS₂ изготовленного холодным прессованием

На поверхности скола образцов, изготовленных ультразвуковым прессованием, не наблюдается пустот и раковин. Углеродное волокно находится внутри полимерной матрицы, полимерный композиционный материал более равномерно запрессован и разлом происходит по полимерной матрице.

На основании проведенных исследований установлено, что прессование изделий из полимерных композиционных материалов с применением ультразвуковых колебаний, является активным технологическим приемом, повышающим эффективность модификации структуры матрицы и оказывающим существенное влияние на процессы структурообразования в ней.

Библиографический список

1. Еремин Е.Н., Филиппов Ю.О., Еремин А.Е., Лосев А.С. Совершенствование технологии изготовления изделий из жаропрочных сплавов // Технология машиностроения. 2007. № 6. С. 10-11.
2. Негров Д.А., Еремин Е.Н. Новая технология изготовления подшипников скольжения из композиционного материала на основе политетрафторэтилена // Вестник машиностроения 2012. № 1. С. 49-51.

3. Петрова П.Н., Федоров А. Л. Разработка полимерных композитов на основе политетрафторэтилена с повышенной износостойкостью для узлов сухого трения // Вестник машиностроения 2010. № 9. С. 50–53.
4. Шаталова И.Г., Горбунов П. С., Лихтман В.И. Физико-химические основы вибрационного уплотнения порошковых материалов. М. 1966. – 98 с.
5. Eremin E. N., Negrov D. A. Development of a technology for the fabrication of articles made of complex-modified polytetrafluoroethylene for dry friction assemblies //Chemical and petroleum engineering. 2014. Т. 49. № 9-10. С. 701-704.
6. Негров Д.А., Еремин Е.Н., Путинцев В.Ю. Исследование влияния энергии ультразвуковых колебаний на структуру композиционного материала //Справочник. Инженерный журнал с приложением. 2014. № 7 (208). С. 3-5.