УДК 678.67.02
doi 10.18101/2306-2363-2016-4-48-51

**© В. Е. Рогов**

# ДИСПЕРСНЫЕ ЧАСТИЦЫ КАК ЛОКАЛЬНЫЕ ДЕФЕКТЫ В ОБЪЕМЕ МАТРИЦЫ ИЗ ПОЛИТЕТРАФТОРЭТИЛЕНА И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ

*В статье описывается новая модель взаимодействия дисперсных частиц наполнителя (10-100 мкм) не зависимо от типа и формы в объеме матрицы политетрафторэтилена (ПТФЭ), основанный на усадочных напряжениях возникающих вокруг наполнителей за счет различных коэффициентов тепловых расширений полимера и наполнителей. Наличие высоких температур в поверхностных слоях композита в зоне трибоконтакта создают условия для вращения частиц вокруг своей оси в полимерном гнезде. Проворачивание частиц до оптимального положения в плоскости контакта позволяет увеличить фактическую площадь контакта и тем самым повысить износостойкость.*

**Ключевые слова:** *дисперсные частицы, наполнитель, политетрафторэтилен, фторопласт, дефекты, усадочные напряжения, износостойкостью частицы износа.*

**V. E. Rogov**

# DISPERSE PARTICLES AS LOCAL DEFECTS IN MATRIXES VOLUME FROM POLYTETRAFLUOROETHYLENE AND THEIR INFLUENCE ON WEAR RESISTANCE

*In this article a new model of interaction of disperse particles of a filler (10-100 mkm) is described regardless of the type and form in the volume of polytetrafluoroethylene (PTFE) matrix, based on the shrinkable tension of the fillers arising around at the expense of various coefficients of thermal expansions of polymer and fillers. High temperatures in composite blankets in a zone of a tribokontakt create conditions for rotation of particles around its axis in a polymeric nest. Turning particles to the optimal position in the plane of contact allows to increase the actual area of contact and by that to increase wear resistance.*

**Keywords:** *disperse particles, filler, polytetrafluoroethylene, defects, shrinkage stress, wear resistance of the wear particles.*

Наполнение политетрафторэтилена (ПТФЭ) дисперсными наполнителями, позволяет существенно изменить ряд эксплуатационных свойств самого полимера. Прежде всего, это повышение износостойкости в 1000 и более раз без значительного изменения коэффициента трения и сопротивление ползучести или деформированию под нагрузкой примерно в 10 раз. Из анализа технической литературы (особенно из изобретений и патентов) можно заключить, что в качестве наполнителя для ПТФЭ может быть использован любой дисперсный материал различной формы и размера, способный выдержать температуру спекания ПТФЭ. При этом, нет единого мнения, по размерам и количественному содержанию дисперсных наполнителей в данных композициях. Большинство исследователей считают, что оптимальный раз-

мер частиц наполнителя, составляет 10–50 мкм. При этом установлено, что с изменением содержания наполнителя, интенсивность изнашивания композита проходит через минимум, который составляет 20–35 об. %. По сравнению с другими полимерами ПТФЭ имеет высокую вязкость расплава (1010 Па) при температуре спекания (633-643 К), в связи с чем перерабатывается методами порошковой металлургии. Также он обладает рядом уникальных свойств: низкой поверхностной энергией, минимальной адгезия для всех твердых тел, высоким коэффициентом теплового линейного расширения, аномально низким среди конструкционных материалов коэффициентом трения (0,04-0,05 по стали без смазки), прекрасными изоляционными свойствами [1].

В настоящее время нет научной теории объясняющей повышение износостойких свойств данного полимера при наполнении его дисперсными наполнителями. Предполагается, что повышение износостойких свойств композита с матрицей из ПТФЭ происходит за счет одного из следующих параметров: значительного увеличения степени кристалличности полимера и межслойного расстояния в аморфной фазе матрицы; наполнителя, выступающего в качестве искусственных зародышей в процессе кристаллизации; изменения структуры выраженной в измельчении кристаллической фазы в процессе спекания; в коренной реорганизации структуры полимера, т.е. в трансформации ленточной структуры в сферолитную. В работе [2] представлен новый взгляд на механизм взаимодействия наполнителя с матрицей, за счет различных коэффициентов тепловых расширений полимера и наполнителей.

В работе проведены экспериментальные работы на макроуровне. Во фторопластовый образец заложили стальной шарик диаметром 5-10 мм и спрессовали при соответствующем давлении. После спекания разрезали его и освободили шарик, но шарик в гнездо не садится даже после выдержки при комнатной температуре. То есть происходит изменение размеров гнезда шарика в сторону уменьшения. Это свидетельствует о наличии в полимерной матрице усадочных напряжений вокруг шарика. Данный процесс на микроуровне можно представить в следующем виде: в спрессованном композите, промежутки между частицами наполнителя заполняются деформированными гранулами полимера, который образует непрерывную объемную граничную фазу. Монолитизация полимерных гранул ПТФЭ происходит в процессе нагрева и термообработки за счет образования когезионных связей и диффузионных процессов, возникающих между частицами. Образовавшаяся полимерная масса в виде расплава окружает частицы наполнителя. При охлаждении, вокруг каждой частицы наполнителя осуществляются процессы структурирования — кристаллизация полимера и его усадки. Поскольку коэффициенты теплового расширения полимера и наполнителя значительно отличаются, возникают усадочные сжимающие напряжения в матрице не только в приграничных межфазных областях, но и в объеме связующего, находящегося между частицами наполнителя. Полученные в работе результаты подтверждаются данными работы [3]. Автор показал, что изделия из ПТФЭ с алмазными частицами могут использоваться в качестве абразивного шлифовального инструмента за счет их прочного закрепления в матрице композита.

При трении в контакте с металлической поверхностью, температура в поверхностных слоях композитов на основе ПТФЭ достигает более 300°С. Такая температура естественно приводит к значительному снижению усадочных напряжений полимера вокруг частиц. Практическое отсутствие сжимающих напряжений в матрице вокруг частиц наполнителя приводит к их вращению вокруг своей оси в полимерных гнездах под воздействием скользящего контакта с движущимся металлическим контртелом. Поворачивание частиц длится до тех пор, пока они не установятся в плоскости контакта на грань с наибольшей площадью поверхности. В поверхностном слое композита находится достаточно большое количество частиц наполнителя, и их поворот на грань с наибольшей площадью поверхности способствует увеличению фактической площади трибоконтакта, поэтому увеличивается износостойкие свойства композитов на основе ПТФЭ. Для подтверждения факта поворота частиц наполнителя еще раз вернемся к работе [3], где изделия из ПТФЭ с алмазными частицами работают в качестве абразивного шлифовального инструмента только при использовании охлаждающей жидкостью. При повышении температуры в зоне контакта абразивные свойства композиционного материала исчезают.

При трении любых металлополимерных сопряжений, на металлических поверхностях наблюдается самопроизвольное формирование полимерной пленки переноса на контактной металлической поверхности. После непродолжительной эксплуатации на металлической поверхности образуется также пленка фторопласта-4 независимо от типа наполнителя. Образование пленки переноса происходит за счет различных механизмов адгезионного взаимодействия, возникающего при контакте полимера с металлом. Некоторые исследователи придерживаются мнения о том, что при трении образующаяся на контртеле пленка устойчива лишь на небольшом временном промежутке, фрагменты ее удаляются из зоны фрикционного контакта, в результате чего пленка не стабильна и постоянно обновляется, что приводит к интенсивному изнашиванию фторопластового элемента. В качестве подтверждения данного процесса приводят тот факт, что изнашивание ПТФЭ сопровождается образованием достаточно крупных частиц, которые не могут долго находится в зоне фрикционного контакта [4].

Действительно, по мере наполнения ПТФЭ дисперсными частицами, наблюдается изменение размеров и форм продуктов износа от хлопьевидных миллиметровых частиц для чистого ПТФЭ до микронных частиц для наполненного композита с максимальной износостойкостью.

Наиболее интенсивное изнашивание композита наблюдается в начальный период эксплуатации из-за малой площади контакта и отсутствия пленки переноса. Отделению частиц износа предшествует деформация поверхностных микрообъемов полимерного композита под воздействием эксплуатационного нагружения. Отделение частиц износа может проходить после превышения предела передеформирования, как с поверхности контртела, то есть с пленки переноса, так и из поверхностных слоев композита. Также можно предположить, что частицы износа отделяются одновременно с двух поверхностей, находящихся в контакте. Ясно одно, что нахождение частиц наполнителя в зоне трибоконтакта значительно изменяет как процесс, так и продукты износа.

Таким образом, исходя из предложенной модели, модифицирование ПТФЭ дисперсными наполнителями с развитой поверхностью может повысить износостойкость наполненных фторопластовых композитов.

**Литература**

1. Паншин Ю. А., Малкевич С. Г. Дунаевская Ц. С. Фторопласты. — Л.: Химия, 1978. — 232 с.

2. Рогов В. Е. Исследование взаимодействия дисперсных наполнителей с политетрафторэтиленом в композитах // Научное обозрение. — 2016. — № 5. — С. 166-168.

3. Шиц Е. Ю. Создание инструментальных алмазосодержащих материалов на полиолефиновых матрицах с заданным комплексом свойств: дис. ... д-р техн. наук. — Комсомольск-на-Амуре, 2015. — 257 с.

4. Wang Y., Yan F. Tribological properties of transfer films of PTFE based composites // Wear. — 2006. — V. 261, № 11, 12. — P. 1359-1366.

**Рогов В.Е.,** доктор технических наук, профессор, Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления, старший научный сотрудник, Байкальский институт природопользования СО РАН, Россия, Улан-Удэ, E-mail: rogov54v@mail.ru

**Rogov V.E.,** Doctor of Engineering Sciences, Professor, East Siberia State University of Technology and Management, Leading Researcher, Baikal Institute of Nature Management SB RAS, Ulan-Ude, Russia, E-mail: rogov54v@mail.ru.