

## ИССЛЕДОВАНИЕ РЕОДИНАМИКИ ПОЛИМЕРСОДЕРЖАЩИХ СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

**Н.Н. Михневич, А.В. Михневич**

*Гомельский политехнический институт им П.О. Сухого, Беларусь*

Во многих отраслях техники получили применение полимерсодержащие смазочные материалы, показавшие ряд существенных достоинств в тяжело нагруженных фрикционных сопряжениях. Введение высокодиспергированных порошкообразных полимерных наполнителей в базовые масла позволяет в широких пределах регулировать свойства смазочных материалов, снизить износ сопрягаемых поверхностей.

Однако дальнейшее распространение прогрессивных полимерсодержащих смазочных материалов сдерживается недостаточной изученностью механизма поведения смазочного материала в зоне контакта взаимодействующих поверхностей. Это не позволяет сформулировать научно-обоснованные рекомендации по использованию этих смазочных материалов в различных технологических процессах.

В настоящем сообщении излагаются результаты исследования реологических свойств полимерсодержащих смазочных материалов и, в частности, реодинамики этих материалов в зоне контакта тяжело нагруженных сопряжений. В качестве объекта исследования использовались смазочные композиции на основе масел минерального и органического происхождения, наполненные высокодиспергированными порошкообразными полимерами (ПТФЭ, ПТФХЭ, ПВХ, ПЭ, ПА, ПП, ПВБ и др.).

Исследование реологических свойств смазочных материалов проведено на ротационном вискозиметре Реотест-2 в условиях возрастающих и убывающих скоростей деформации, что позволило обнаружить различные аномалии вязкости полимерсодержащих смазочных материалов, в частности, ярко выраженную их тиксотропию. Для оценки степени аномалии вязкости исследованных смазочных материалов использовался критерий Хаггинса. Установлено, что при одном и том же объемном наполнении нормально-вязких минеральных масел различными полимерами образуются либо "разбавленные" суспензии (с полимерами ПТФЭ, ПВХ), либо "концентрированные" суспензии (ПЭ, ПП, ПА, ПВБ). "Разбавленные" суспензии характеризуются монотонно возрастающими кривыми течения. У "концентрированных" суспензий наблюдается ярко выраженный гистерезис кривых течения. Обнаружен тиксотропный характер течения ряда базовых масел органического происхождения (жировой гудрон и др.). Наполнение этих базовых сред некоторыми полимерами (ПЭ, ПА, ПП) существенно модифицирует реологическое поведение системы. А именно, тиксотропная система переходит в дилатантную. Следует отметить, что дилатантность является ценным свойством смазочных материалов, т.к. в условиях высоких нагрузок они в наибольшей степени сохраняются в зоне контакта.

Исследование реологического поведения тонкого полимерсодержащего разделительного смазочного слоя в зоне контакта проведено методом "стопы слоев". В ходе опытов фиксировалась толщина стопы слоев (200 шт.) в зависимости от величины внешней нагрузки и времени ее приложения. Установлено, что наполнение базовых сред высокодиспергированными полимерами увеличивает толщину смазочных слоев, их грузонесущую способность, время вытеснения смазочного материала из зазора: 3 -

4 раза при наполнении минеральных масел и 30 - 40 раз при наполнении базовых сред органического происхождения (жировой гудрон). Для малополярных минеральных масел повышения грузонесущей способности разделительного смазочного слоя, в основном связано с механическими свойствами введенного полимера (твердостью и дисперсностью). Для полимерсодержащих смазочных материалов на основе сред органического происхождения (жировой гудрон и др.) отсутствует корреляция толщины разделительного смазочного слоя и его грузонесущей способности с твердостью и дисперсностью полимерного наполнителя. При этом, в зависимости от базовой среды грузонесущая способность полимерсодержащих смазочных материалов для исследованных полимеров располагается в ряду : минеральные масла - растительные масла - жировой гудрон.

Анализ изменения толщины слоя при увеличении и уменьшении нагрузки позволил сделать вывод, что тонкий слой полимерсодержащего смазочного материала в зоне контакта сопрягаемых поверхностей обладает как упругими, так и пластическими свойствами. Резко выраженный гистерезис кривых свидетельствует о значительном преобладании остаточной, т.е. пластической деформации над обратимой упругой деформацией слоя. На основании проведенных исследований сделан вывод, что полимерсодержащий слой в зоне контакта следует считать вязкоупругопластичной системой, т.е. средой, упругое и пластическое деформирование которой протекает как вязкое течение. Причем, основным фактором, лимитирующим кинетику деформирования слоя, является процесс выдавливания дисперсионной смазочной среды из зоны контакта. Проведенные исследования позволили разработать реологическую модель вязкоупругопластичности полимерсодержащего разделительного смазочного слоя в зоне контакта. Математическое описание реологической модели вязкоупругопластичности смазочного слоя в зоне контакта составлена в виде системы известных реологических уравнений вязкоупругости Фойхта и вязкопластичности Генки-Ильюшина:

$$P_{ij} = \frac{E}{1+\sigma} \varepsilon_{ij} + \frac{\sigma P_{kk} g_{ij}}{1+\sigma} + 2\mu_0 \varepsilon_{ij};$$

$$P_{ij} = -p g_{ij} + 2 \left\{ \mu_0 + \frac{\tau_0}{\sqrt{2 \cdot \varepsilon_{km} \cdot \varepsilon_{km}}} \right\} \varepsilon_{ij}; \text{ если } \frac{1}{2} (P_{ij} P_{ij}) > \tau_0^2;$$

$$\varepsilon_{ij}^{(p)} = 0, \text{ если } \frac{1}{2} (P_{ij} P_{ij}) \leq \tau_0^2;$$

$$\varepsilon_{ij}^{(e)} + \varepsilon_{ij}^{(p)} = \varepsilon_{ij}; \quad \dot{\varepsilon}_{ij}^{(e)} + \dot{\varepsilon}_{ij}^{(p)} = \dot{\varepsilon}_{ij},$$

где  $P_{ij}$  - тензор напряжений;  $\varepsilon_{ij}^{(e)}$  - тензор упругих деформаций;  $\dot{\varepsilon}_{ij}^{(e)}$  - тензор скоростей упругих деформаций;  $\varepsilon_{ij}^{(p)}$  - тензор пластических деформаций;  $\varepsilon_{ij}$  - тензор полных деформаций;  $g_{ij}$  - метрический тензор;  $\tau_0$  - предельное напряжение сдвига;  $p$  - локальное давление в слое;  $E$  - модуль Юнга;  $\sigma$  - коэффициент Пуассона;  $\mu$  - динамический коэффициент вязкости смазочного материала.

На основании полученной реологической модели представляется возможным более детально прогнозировать эффективность использования полимерсодержащих смазочных материалов в различных фрикционных сопряжениях.