

НАНОКОМПОЗИЦИОННЫЕ ПЛАСТИЧНЫЕ СМАЗКИ ДЛЯ ТЯЖЕЛОНАГРУЖЕННЫХ УЗЛОВ ТРЕНИЯ

В.И. ЖОРНИК, А.В. ИВАХНИК

**Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси,
г. Минск, Республика Беларусь**

Изложены технологические подходы к получению пластичных смазочных материалов, модифицированных наноразмерными наполнителями, с формированием гибридной дисперсной фазы (ГДФ). Представлены две возможные технологические схемы получения нанокomпозиционных пластичных смазочных материалов (НК ПСМ) с реализацией процесса синтеза ГДФ в режиме ex-situ или in-situ. Приведены основные реологические и трибологические характеристики некоторых НК ПСМ с ГДФ и обозначены области их рационального применения.

Пластичные смазочные материалы (ПСМ) широко применяются в узлах трения машин различного функционального назначения вследствие их хороших трибологических качеств (антифрикционность, противоизносность, противозадирность), а также благодаря такому их уникальному свойству как тиксотропность (способность проявлять в зависимости от условий нагружения как свойства твердого тела, так и жидкости) [1].

По своему строению пластичные смазки – многокомпонентные системы, основными составляющими которых являются дисперсная фаза (структурный каркас в виде совокупности различных волокон или высокодисперсных частиц) и дисперсионная среда (масло), удерживаемая в структурном каркасе дисперсной фазы за счет сил адсорбции. Наряду с этими основными компонентами в ПСМ вводятся также различные функциональные добавки в виде маслорастворимых присадок и нерастворимых в масле микро- и наноразмерных наполнителей. Дисперсная фаза в значительной степени определяет нагрузочную способность и долговечность ПСМ, поэтому повышение прочности и степени разветвленности дисперсной фазы может существенно повысить ряд функциональных свойств и ресурс ПСМ. Особенно эффективно может быть действие наноразмерных наполнителей, характеризующихся увеличенной поверхностной энергией и химической активностью. Однако введение наноразмерных наполнителей в состав ПСМ по традиционной технологической схеме на завершающей стадии процесса синтеза оказывается малоэффективным из-за сложности их равномерного распределения в вязкой массе ПСМ и невозможности полного диспергирования агрегатов наночастиц с помощью высокоэнергетических дезинтеграторов без разрушения уже сформировавшейся волокнистой структуры дисперсной фазы.

В связи с этим нами был предложен новый технологический подход к получению ПСМ с нанонаполнителями, предусматривающий введение (или синтез) частиц

наполнителя в реакционной среде (в данном случае, в масле) до начала процесса формирования дисперсной фазы, которая формируется на последующей стадии в ходе реакции нейтрализации вводимой в масляную суспензию высокомолекулярной кислоты при добавлении щелочи (гидроокиси лития, кальция или другого металла). При этом агрегаты наночастиц относительно просто дезинтегрируются в жидкой среде (масле), и затем наночастицы, проявляя высокую структурирующую активность, выступают в качестве дополнительных центров кристаллизации при формировании дисперсной фазы. В результате, у модифицированной смазки формируется более разветвленный (чем у ПСМ без наномодификатора, например, у смазки Литол-24 (рисунок 1, а)), структурный каркас в виде волокон, содержащих в своей структуре наночастицы наполнителя, т.е. формируется гибридная дисперсная фаза (ГДФ), включающая волокна из солей высокомолекулярных кислот (мыл) и наночастицы наполнителя (рисунок 1, б, в) и характеризующаяся более высокой прочностью и маслоудерживающей способностью. Пластичную смазку с подобной дисперсной фазой можно отнести к разряду нанокомпозиционных пластичных смазочных материалов (НК ПСМ).

Нами разработаны два подхода к синтезу НК ПСМ, при одном из которых используются наночастицы, которые вводятся в реакционную массу в готовом виде (физический принцип модифицирования или *ex-situ*-синтез), при другом – наночастицы синтезируются непосредственно в процессе получения смазки (химический принцип модифицирования или *in-situ*-синтез). Физический принцип модифицирования был реализован при получении комплексной литиевой (*kLi*-) (рисунок 1, б) и комплексной кальциевой (*kCa*-) смазок (рисунок 1, в), а химический принцип модифицирования – при синтезе комплексной сульфонат кальциевой (*kSulCa*-) смазки (рисунок 1, г). При этом в первых двух случаях в реакционную массу вводились имеющиеся наночастицы соответственно алмазно-графитовой шихты и диатомита, а для *kSulCa*-смазки наночастицы кальция синтезировались непосредственно в процессе получения пластичной смазки.

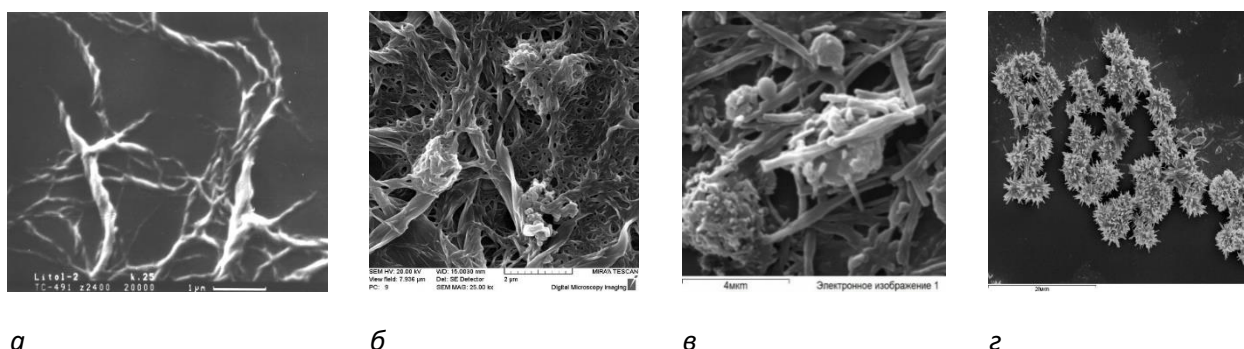


Рисунок 1. – Микроструктура дисперсной фазы литиевой смазки Литол-24 (а), *kLi*-смазки ИТМОЛ-150П (б), *kCa*-смазки БИНОЛ-180 (в) и *kSulCa*-смазки OIMOL KSC WR 2 (г)

Формирование более разветвленных и упрочненных волокон ГДФ позволяет, в частности, повысить коллоидную стабильность пластичного смазочного материала в 1,5–4,0 раза, улучшить механическую стабильность в 1,2–1,5 раза, увеличить нагрузочную способность в 1,5–2,5 раза, повысить верхний диапазон рабочих температур

на 20–30 °С, увеличить ресурс ПСМ в 1,4–2,0 раза. Также следует отметить, что при использовании НК ПСМ, содержащих частицы наноалмаза, может проявляться эффект трибомодифицирования поверхностей трения, который может быть проиллюстрировано на примере применения пластичной смазки Литол-24, модифицированной наноразмерными частицами алмазно-графитовой шихты ША-А. Так, приработка в этой НК ПСМ газотермического покрытия из стали аустенитного класса 12Х18Н10Т, малоприспособной в обычном состоянии для узлов трения, способствует повышению его нагрузочной способности до контактных давлений, достигающих уровня $p=100$ МПа, в то время как в смазке Литол-24 стандартного состава задир пары трения быстро наступает уже при удельной нагрузке $p = 50$ МПа.

Особенность *kSulCa*-смазки состоит не только в способе получения ГДФ, но и в ее строении. Если другие мыльные смазки (литиевые, кальциевые) имеют мыльную дисперсную фазу в виде переплетающихся волокон, то дисперсная фаза сульфонат кальциевой смазки представляет собой совокупность отдельных микроразмерных частиц (мицелл), образующих пространственный подвижный каркас за счет сил межмолекулярного взаимодействия между отдельными мицеллами, что обуславливает более высокую адаптивность этого НК ПСМ к уровню механической и термической нагруженности. Так, нагрузка сваривания для этой смазки превышает 6000 Н, в то время как, например, для литиевой смазки Литол-24 она составляет примерно 2000 Н; температура каплепадения равна 250 °С, а для Литола-24 – только 150 °С. Особенность подобной дисперсной фазы заключается в том, что, в отличие от волокон, которые при многоцикловом нагружении в узле трения разрушаются и теряют маслоудерживающую способность (при этом смазка вытекает из узла), ГДФ *kSulCa*-смазки способна быстро восстанавливать свое пространственное строение после того, как нагрузка в трибоконтакте снизится, что обуславливает чрезвычайно высокий уровень механической стабильности этой смазки.

Разработанные НК ПСМ с комплексной литиевой, комплексной кальциевой и комплексной сульфонат кальциевой мыльной составляющей ГДФ рекомендуются для смазывания тяжелонагруженных и высокотемпературных узлов трения, работающих при низких и средних скоростях. В высокоскоростных узлах трения применение этих смазок менее эффективно из-за их повышенной вязкости.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ищук, Ю.Л. Состав, структура и свойства пластичных смазок / Ю.Л. Ищук. – Киев : Наук. думка, 1996. – 512 с.