

В области 3 большая часть деформации ПФ восстанавливается практически мгновенно (за время порядка десятых микросекунды) и лишь небольшая часть деформации ($\sim 0.65\%$) со скоростями менее $2 \cdot 10^{-5} \text{ с}^{-1}$. Наличие такого плавного участка свидетельствует о том, что даже при максимальных деформациях ПФ в образцах наряду с γ_1' фазой остается доля β_1' мартенсита.

По представленным данным сделана нижняя оценка доли объемной метастабильной фазы необходимой для проявления взрывоподобного восстановления деформации памяти формы. Для этого достаточно наличия ее в объеме образца $\sim 2.5 \cdot 10^{-3}\%$.

Список литературы

1. С.А. Пульнев, В.И. Николаев, А.А. Прядко, А.В. Рогов, А.В. Чикиряка, С.П. Никаноров // Известия РАН. Серия Физическая, 2009, том 73, Н. 10, С. 1482-1485
2. В.И. Николаев, П.Н. Якушев, Г.А. Малыгин, С.А. Пульнев // Письма в ЖТФ, 2010. Т. 36. В. 19. С. 83–90
3. В.И. Николаев, П.Н. Якушев, Г.А. Малыгин, А.И. Аверкин, А.В. Чикиряка, С.А. Пульнев // Письма в ЖТФ, 2014, том 40, В. 3. С. 57–63

СМАЗОЧНОЕ ДЕЙСТВИЕ ЖИДКОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ ХОЛЕСТЕРИНА ПРИ ТРЕНИИ ТВЕРДЫХ ТЕЛ

Ермаков С.Ф.¹, Мышкин Н.К.¹, Рыбаков А.А.²

¹ *Институт механики металлополимерных систем НАН Беларуси, Гомель, Республика Беларусь;*

erm-s@yandex.ru

² *ОАО «Завод горного воска», г.п. Свислочь, Республика Беларусь*

Разработка новых эффективных смазочных материалов (СМ) является одним из путей повышения долговечности узлов трения и снижения энергоемкости современной техники [1]. Опыт показывает, что важную роль при этом играют жидкокристаллические соединения холестерина (ЖКСХ). Действительно, согласно работам [1–2], добавки в СМ ЖКСХ, склонных к планарной ориентации на опорных поверхностях, обуславливают снижение трения смазанных поверхностей твердых тел и повышение нагрузочной способности трибосопряжений. Можно предположить, что данный эффект достигается вследствие реализации в зоне трения мезоморфного состояния СМ, для которого характерно упорядоченное ориентированное расположение молекул как мезогенной добавки, так и смазочной среды и эффективность смазочного действия при таких условиях будет зависеть от содержания ЖКСХ в СМ.

С целью подтверждения этого предположения триботехнические испытания осуществляли на машине трения СМТ-1, по схеме “вал — частичный вкладыш”. Тела пары трения изготавливали из стали 45: шероховатость поверхности $R_a = 0,64 \div 0,35$ мкм (вал) и $1,40 \div 1,50$ мкм (вкладыш). В качестве смазочной среды использовали вазелиновое масло (ВМ, ГОСТ 3164—72), в которое вводили ЖКСХ, имеющее жидкокристаллическую фазу при комнатной температуре и сохраняющее ее до $345\text{--}359 \text{ К}$ (ТУ-6-09-06-1065-82). Концентрацию ЖКСХ в ВМ варьировали от 0,5 до 100 мас.%. Исследование СМ проводили при скорости скольжения $v = 0,5 \text{ м/с}$ и нагрузке $p = 3,5 \text{ МПа}$.

Время, через которое наступает установившийся режим трения в паре, определяли путем нахождения точки перегиба на экспериментальных временных зависимостях коэф-

коэффициентов трения в зоне контакта в моменты их снижения и перехода к стабильному режиму трения.

В таблице приведены значения времени, через которое наступает установившийся режим трения в исследуемых парах для СМ с различным содержанием ЖКСХ, а также величины коэффициента трения и температуры в зоне контакта при установившемся режиме фрикционного взаимодействия.

Зависимость триботехнических характеристик пары трения сталь 45–сталь 45 от содержания ЖКСХ в ВМ

Состав СМ	Время до начала установившегося режима трения t , кс	Коэффициент трения f	Температура в зоне трения T , К
1. ВМ	–	0,130	370
2. ВМ + 0,5 мас.% ЖКСХ	73,3	0,030	316
3. ВМ + 1,0 мас.% ЖКСХ	62,1	0,030	316
4. ВМ + 5,0 мас.% ЖКСХ	50,4	0,025	313
5. ВМ + 7,5 мас.% ЖКСХ	33,3	0,020	308
6. ВМ + 9,0 мас.% ЖКСХ	25,2	0,020	308
7. ЖКСХ	0	0,020	308

Примечание. $p = 3,5$ МПа.

Анализ полученных результатов показывает, что при введении ЖКСХ в ВМ наблюдается снижение коэффициента трения и температуры в зоне контакта, но в зависимости от содержания ЖКСХ это происходит за различные промежутки времени от начала взаимодействия.

Как следует из таблицы, увеличение концентрации ЖКСХ в СМ приводит к сокращению времени до начала снижения коэффициента трения и температуры в области динамического контакта.

Если для ВМ без добавки ЖКСХ (состав 1) не наблюдается изменения коэффициента трения и температуры в зоне трения, то при смазывании индивидуальным ЖКСХ, т. е. при 100%-ном его содержании в смазочной жидкости (состав 7), время, через которое происходит снижение этих триботехнических характеристик, практически равно нулю.

Была изучена кинетика изменения микрогеометрии контактирующих поверхностей при трении в ВМ с добавками ЖКСХ. Установлено, что топография стальных поверхностей в начальный период фрикционного взаимодействия претерпевает существенные изменения и стабилизируется в установившемся режиме трения. Исследования микрорельефа поверхностей контактирующих тел до и после трения показали, что средняя высота микронеровностей изменяется в зависимости от продолжительности фрикционного контакта и концентрации ЖКСХ в СМ. Было установлено, что при высоких концентрациях ЖКСХ высота микронеровностей практически не изменяется. Наибольшие изменения имеют место при малых концентрациях ЖКСХ.

Полученные результаты свидетельствуют, что низкое трение в исследуемой паре реализуется лишь при достижении определенных значений параметров микрорельефа, характерных для каждого состава СМ (с добавкой ЖКСХ). При этом отмечено, что топография образцов, трущихся в таких СМ, характеризуется появлением плосковершинного, с множеством мелких впадин, микрорельефа на поверхностях трения. Очевидно, что такой микрорельеф приводит к низким контактным напряжениям в зоне трения (фактическая площадь контакта увеличивается) и, как следствие, к уменьшению тепловыделения и деформационных потерь при динамическом контакте, что и наблюдается экспериментально.

Если предположить, что низкое трение достигается при условии образования на поверхностях трения смазочной пленки, обладающей жидкокристаллической структурой, то

при низких концентрациях ЖК, по-видимому, вероятность образования такой пленки, исключая взаимодействие микронеровностей, мала. Причиной этому может быть: а – низкая концентрация ЖК в СМ; б – ограниченная адсорбция молекул ЖК на поверхностях трения; в – относительно большая высота микронеровностей поверхностей трения.

В таких условиях на начальном этапе фрикционного взаимодействия изменение микрорельефа поверхностей трения происходит в результате взаимодействия микронеровностей. При этом микрорельеф может изменяться как за счет передеформирования микровыступов, так и за счет их изнашивания. Металлический контакт при передеформировании микронеровностей не достигается, т. к. он, по-видимому, предотвращается молекулами масла и ЖК, расположенными в субмикровпадинах на склонах микровыступов поверхностей трения. Это предположение основано на том, что при описанных выше условиях испытаний не наблюдалось случаев заедания пар трения и катастрофического изнашивания. Коэффициент трения при изменении топографии поверхности относительно высокий. Он снижается, когда микрорельеф поверхностей трения становится таким, что при данном содержании ЖК возможно образование сплошной смазочной пленки из молекул ЖКСХ, исключая непосредственное контактирование микронеровностей поверхностей трения. В этом случае скольжение происходит в слое ЖК. Профилометрирование поверхностей трения после динамического контакта в СМ с ЖК-присадкой свидетельствуют об образовании сглаженного микрорельефа с микронеровностями меньшего порядка, чем при использовании СМ без ЖК. Более детальные исследования, проведенные на СТМ, показали, что при введении ЖК-присадки в ВМ происходит формирование микронеровностей меньшего размера (рис. 1).

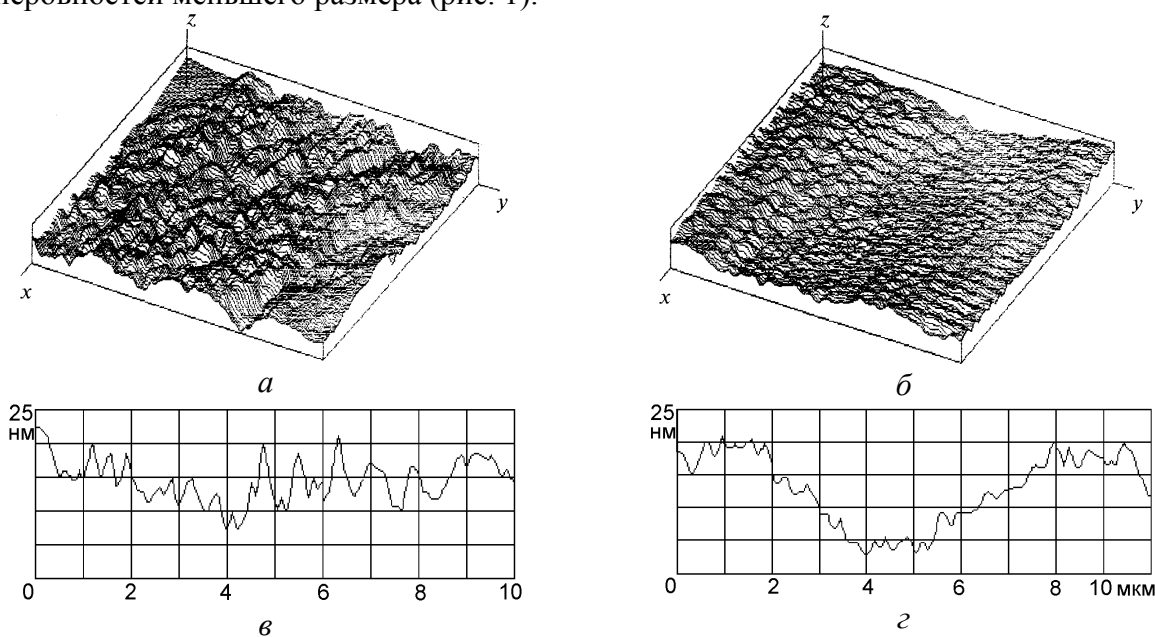


Рис. 1. СТМ-изображения (10×10 мкм) (а, б) и профили (в, з) поверхностей трения стальных образцов после работы в среде ВМ без добавки (I) и с добавкой (II) ЖКСХ

Видно (рис. 1), что для СТМ-профиля образца, работавшего в среде чистого ВМ (рис. 1, а), характерна одноуровневая организация микрорельефа с периодом $\approx 0,3 \div 1,0$ мкм и высотой выступов $\approx 5 \div 10$ нм. В то же время на профиле поверхности, работавшей в ВМ с ЖК-присадкой (рис. 1, б), отчетливо видна двухуровневая организация, где на микрорельеф с периодом ≈ 8 мкм и высотой ≈ 15 нм накладывается субмикрорельеф с параметрами $\approx 0,3 \div 0,5$ мкм и $\approx 1 \div 3$ нм соответственно. Сопоставление результатов СТМ-анализа с экспериментальными данными, полученными методом профилометрии показывает, что на рис. 1, б имеет место субмикрорельеф отдельных выступов плосковершинного микрорельефа.

По нашему мнению, на начальном этапе фрикционного контакта происходит изменение микрорельефа поверхностей трения в основном за счет передеформирования микронеровностей, непосредственный контакт которых предотвращается молекулами ЖК, расположенными, как уже отмечалось, во впадинах субмикрорельефа [2]. В результате такого постепенного дозированного и регулируемого действием молекул ЖКСХ, изнашивания образуется плосковершинный микрорельеф поверхностей трения. После этого, становится возможным при данной концентрации ЖКСХ формирование их молекулами сплошной смазочной пленки, что и приводит к снижению коэффициента трения, т. к. сдвиг начинает реализовываться в самой пленке (молекулы скользят относительно друг друга).

Список литературы

1. Kolesnikov, V.I. Thermoinduced Effect of Reversible Lubricating Ability of Cholesteric Liquid-Crystalline Nanomaterials in Friction of Solids / V.I. Kolesnikov, N.K. Myshkin, S.F. Ermakov, A.P. Sychev // Doklady Physical Chemistry, 2014. – Vol. 457, Part 2, pp. 123-126.
2. Ермаков, С. Ф. Трибология жидкокристаллических материалов и систем/ С. Ермаков – Мн: Беларуская навука, 2012. – 380 с.

ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННОГО АВТОКЛАВНОГО ЯЧЕЙСТОГО БЕТОНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕХАНОАКТИВАЦИИ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТА

Мечай А. А., Мисник М. П., Гарабажиу А. А.,
Пенязьков О. Г.*, Колпащиков В. Л.*

БГТУ, Минск, Беларусь, AA_M@tut.by

**ИТМО, Минск, Беларусь*

В строительном комплексе Республики Беларусь автоклавный ячеистый бетон прочно занимает одно из ведущих мест как универсальный материал, который обеспечивает современное качество и конкурентоспособность строительной продукции.

После введения с 2010 г. повышенных нормативных показателей сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций (для наружных стен $R_{T \text{ норм}} = 3,2 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$, для совмещенных покрытий, чердачных перекрытий и перекрытий под проездом $R_{T \text{ норм}} = 6,0 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$) ячеистый бетон с учетом объемов его производства и качества изделий остался практически единственным строительным материалом в стране, обеспечивающим выполнение нормативных требований строительной теплотехники без применения других эффективных теплоизоляционных материалов. В соответствии с принятой в стране программой по энергосбережению с 2015 года 60% жилья должно вводиться в энергосберегающем исполнении, что требует обеспечения термического сопротивления стен $R_{T \text{ норм}} = 6 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$. Получить такие показатели для стен из ячеистого бетона плотностью 400–500 кг/м³ затруднительно. Для этого необходимо использовать конструкционно-теплоизоляционные ячеистые бетоны пониженной плотности.

Снижение плотности стеновых блоков из ячеистого бетона на каждые 50 кг/м³ позволяет снизить расход топлива на обогрев зданий на 1 кг условного топлива на 1 м² стены в год. Кроме того, производство ячеистого бетона с плотностью 200–350 кг/м³ вместо 400–500 кг/м³ обеспечит снижение расхода цемента и извести на 20–30%, сокращение энергозатрат на помол сырья за счет снижения его удельного расхода на 30–40%,