



The researches of influence of the cyclically modulated by amplitude high-frequency magnetic field on mechanical and tribotechnical characteristics of composites with polymericfluorine matrix are carried out for the first time.

Т. А. АХМЕТОВ, ОАО «БМЗ», В. П. СЕРГИЕНКО, ГНУ «ИММС им. В. А. Белого» НАН Беларуси, И. А. КОВАЛЕВА, И. Н. РАДЬКОВА, ОАО «БМЗ»

УДК 621.74

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МАГНИТНО–ИМПУЛЬСНОЙ ОБРАБОТКИ НА ФИЗИКО–МЕХАНИЧЕСКИЕ И ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА УЗЛОВ ТРЕНИЯ

Одной из важнейших прикладных проблем полимерного материаловедения является улучшение механических и триботехнических характеристик полимерных материалов и композитов на их основе. Это относится и к композитам с фторполимерной матрицей, которые используются в узлах трения технологического оборудования (подшипники скольжения, тормозные колодки и т. д.). В настоящее время на ОАО «БМЗ» металлокорд производится на канатных машинах типа TD 2/401, TD 2/601, RI, RIR, SDT-10, SDT 2/2 + 1 и др., которые конструктивно содержат большое число узлов трения, в том числе тормозные колодки на устройствах размотки для предотвращения образования слабых проволок при инерционном вращении питающих катушек, спадания и запутывания витков проволоки на катушке, а также обеспечивающих быструю остановку катушки при обрыве проволоки или остановки машины. Постоянный рост производительности оборудования предъявляет повышенные требования к фрикционным материалам узлов трения.

Традиционные подходы, заключающиеся во введении различных наполнителей в полимерную матрицу, практически исчерпали свои возможности по улучшению физико-механических и фрикционно-износных характеристик композитов. Поэтому изыскание новых нетрадиционных способов изменения эксплуатационных свойств полимерных материалов является актуальной научно-технической задачей.

Имеющиеся достаточно многочисленные публикации позволяют рассматривать магнитное поле в качестве перспективного способа воздействия на различные материалы. Наибольшее внимание уделяется вопросу изменения структуры

и свойств железоуглеродистых сплавов в постоянных и переменных магнитных полях, что связано с традиционными представлениями о решающей роли ферромагнетизма в возможности трансформации структуры [1–4]. Тем не менее, литературные данные позволили установить возможность трансформации структуры цветных металлов [5–8] и неметаллических материалов [9] под воздействием магнитного импульсного поля (МИО). В частности, показана трансформация структуры меди и сплавов на ее основе: повышение дисперсности структуры, снижение относительного износа при испытаниях на «сухое» трение, повышение пластичности [10].

В настоящей работе впервые выполнены исследования влияния циклически модулированного по амплитуде высокочастотного магнитного поля на механические и триботехнические свойства композитов с фторполимерной матрицей. Воздействие полем на тестируемые образцы композита осуществлялось на экспериментальной установке, созданной с использованием генератора высокочастотного тока «ВЧИ-62-5-ИГ-101». Установка позволяла возбуждать локализованное в заданном объеме пространства электромагнитное поле на промышленной частоте $f = 5,28$ МГц с амплитудными значениями магнитной и электрической составляющих 835 и 17960 В/м соответственно¹.

Микроструктурный анализ поверхности образцов позволил выявить инициируемое полем изменение морфологии структуры полимерной матрицы (рис. 1, а, б), а также кристаллического напол-

¹ Данные по магнитно-импульсной обработке и изменению морфологии структуры композитов предоставлены А. Г. Анисович (ГНУ «ФТИ НАН Беларуси»), В. В. Ажаронек (ГНУ «Институт физики НАН Беларуси»).

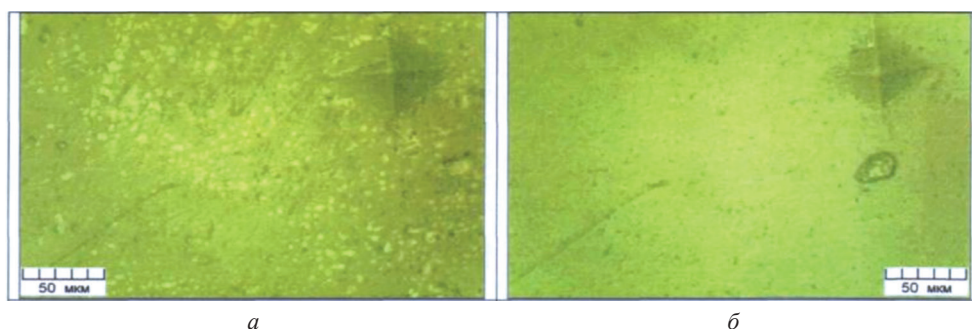


Рис. 1. Металлографическое изображение ненаполненного фторполимера: *а, б* – до и после обработки МИО соответственно. $\times 400$

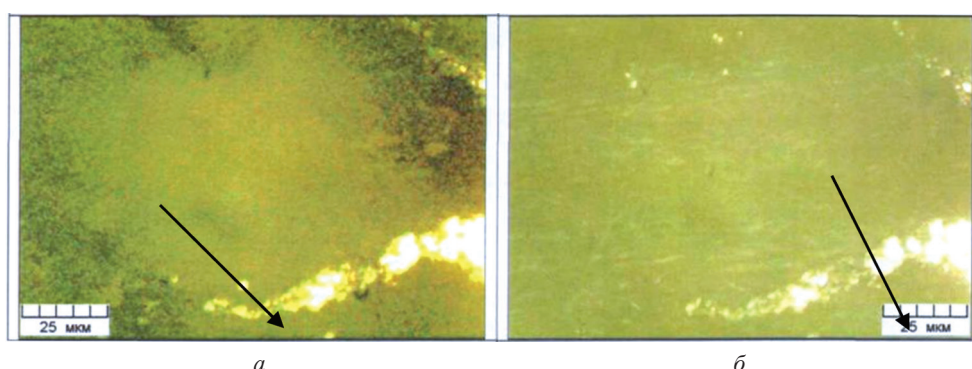


Рис. 2. Металлографическое изображение наполненного фторполимера: *а, б* – до и после обработки МИО соответственно. $\times 800$

нителю (рис. 2, *а, б*). Одновременно наблюдалось изменение расположения частиц наполнителя в полимерной матрице. При этом в некоторых случаях фиксировалось их измельчение. Предположительно изменяется внутренняя структура кристаллического наполнителя.

При исследовании топографии поверхности установлено, что воздействие поля вызывает заметное измельчение исходной композиции (табл. 1).

Таблица 1. Параметры шероховатости для образцов до и после МИО (боковая поверхность)

Параметры шероховатости	Исходное состояние	После МИО	
		два цикла МИО	четыре цикла МИО
Наибольшая высота профиля $R_{\min-\max}$, нм	1678	600	609
Средняя шероховатость R_a , нм	204	72	75
Дисперсия R_q , нм	276	95	93

Увеличение количества циклов обработки МИО на топографию поверхности влияния не оказывает.

Поверхность трения образца, обработанного магнитным полем, в значительной мере отличается от исходной (рис. 3, *а, б*): наблюдается повышение степени упорядоченности в расположении измельченных структурных элементов поверхности,

их очертания приобретают правильную и однородную форму.

Обнаружено изменение величины динамического модуля упругости после обработки магнитным полем (табл. 2), что обусловлено, вероятно, повышением молекулярной (сегментальной) подвижности макроцепей полимерного компонента, сопровождающейся изменением межмолекулярного и межфазного взаимодействия. Данное предположение частично подтверждается незначительным снижением твердости (на 10–12%) полимерных композиций, что может являться следствием аморфизации кристаллических областей связующего и наполнителя.

Таблица 2. Результаты определения динамического модуля упругости и коэффициента потерь исходного (Ф-1) и модифицированного магнитным полем (Ф-1М) композиционного материала

Материал	Нагрузка, Па	Частота, Гц	Динамический модуль упругости E_d , Па	Коэффициент потерь η	Твердость НВ
Ф-1	2,21E+05	227	8,15E+ 08	0,060	60–62
Ф-1М	2,21E+05	208	6,84E+ 08	0,059	56–57

Примечание: Ф-1 – исходный композиционный материал. Ф-1М – композиционный материал, модифицированный МИО.

Величины коэффициента трения и температуры поверхности в зоне фрикционного контакта у образцов, подверженных воздействию поля, су-

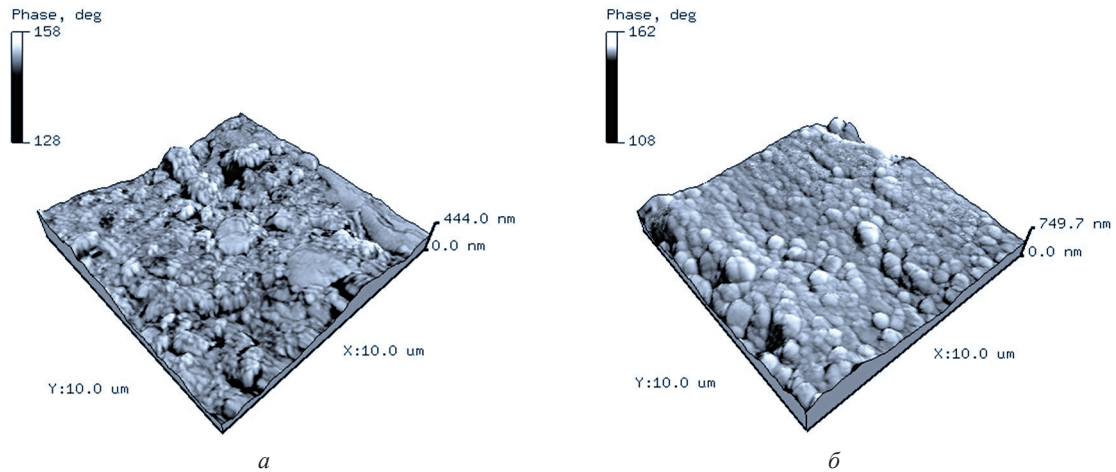


Рис. 3. Топография поверхности трения: а – исходная; б – модифицированная МИО

Таблица 3. Зависимость коэффициента трения (f), температуры фрикционного контакта ($T_{фр}$) и интенсивности изнашивания от нагрузки для исходной и модифицированной композиций

Материал	Нагрузка P , МПа	Коэффициент трения f	Температура фрикционного контакта $T_{фр}$, °С	Интенсивность изнашивания, $I_h \cdot 10^{-9}$	Примечание
Ф-1	2	0,52	149	4,627	$\rho = 2,09 \text{ г/см}^3$
	4	0,27	152	5,305	
Ф-1М	2	0,50	149	2,537	$\rho = 2,09 \text{ г/см}^3$
	4	0,28	164	4,263	

Примечание: Ф-1 – исходный композиционный материал. Ф-1М – композиционный материал, модифицированный МИО.

шественно не отличались в сравнении с соответствующими данными до обработки. Однако интенсивность изнашивания поверхности композиционного материала в результате модифицирования магнитным полем снижается почти в 2 раза при нагрузке 2 МПа и на 20% при нагрузке 4 МПа (табл. 3).

Снижение интенсивности изнашивания представляется важным практическим результатом модифицирования надмолекулярных структур композита высокочастотным магнитным полем. Эффект, вероятно, связан с тем, что частичное разрушение крупных кристаллических образований как в структуре наполнителя, так и связующего, а также измельчение структурных элементов, сопровождающееся «размораживанием сегментальной подвижности макромолекул, создает благоприятные условия как для усиления межфазного взаимодействия на границе раздела связующее – наполнитель, так и способствует образованию более

подвижного и устойчивого к разрушению слоя на поверхности трения полимерного образца.

Тормозные колодки из композиционных материалов на фторполимерной основе, модифицированных МИО с целью увеличения износостойкости, предполагается испытать на канатных машинах при производстве металлокорда. Материал тормозного элемента канатной машины должен обеспечивать стабильные показатели величины усилия натяжения металлокордной нити, приемлемый температурный баланс пары трения, допускаемый по санитарным нормам уровень шума производственных помещений, а также достаточно высокое сопротивление износу в условиях «сухого» трения и соответственно требуемый ресурс эксплуатации изделия.

Следует отметить необходимость дальнейшего и углубленного изучения механизмов структурных изменений, происходящих при предлагаемом способе модифицирования композитов на фторполимерной основе.

Литература

- Аскинази Б. М. Упрочнение и восстановление деталей электромеханической обработкой. Л.: Машиностроение, 1977.
- Степанов В. Г., Шавров И. А. Высокоэнергетические импульсные методы обработки металлов. Л.: Машиностроение, 1975.
- Белый И. В., Фертик С. М., Хименко Л. Т. Справочник по магнитно-импульсной обработке металлов. Харьков: Вища шк., 1977.
- Гаркунов Д. Н., Суранов Г. И., Коптяева Г. Б. О природе повышения износостойкости деталей и инструмента магнитной обработкой // Трение и износ. 1982. № 2.

5. А н и с о в и ч А. Г., М а р у к о в и ч Е. И., А б р а м е н к о Т. Н. Изменение теплового состояния диамагнитных металлов под воздействием магнитного поля // Металлы. Изв. РАН. 2003. № 6. С. 108–110.
6. А н и с о в и ч А. Г., Т о ф п е н е ц Р. Л., М а р у к о в и ч Е. И. Причины повышения пластических свойств сплавов металлов при импульсных воздействиях // Проблемы машиностроения и надежности машин. 2004. № 2. С. 26–30.
7. А н и с о в и ч А. Г., Р у м я н ц е в а И. Н., У р б а н Т. П., А ж а р о н о к В. В. Трансформация структуры литых металлов в магнитном поле // Литье и металлургия. 2008. № 3 (спецвыпуск). С. 250–255.
8. A n i s o v i c h H. G. Method of nonthermal changing the structure of nonferromagnetic metals and nonmetallic phases // Материалы совместного Корейско-Евразийского семинара. Сеул. Ноябрь 2008 г. С. 166–171.
9. А ж а р о н о к В. В., Ф и л а т о в а И. И., В о щ у л а И. В., Д о л г у н о в и ч В. А. и др. Изменение оптических свойств бумаги под влиянием магнитной составляющей высокочастотного электромагнитного поля // Журнал прикладной спектроскопии. 2007. Т.74. № 4. С. 421–426.
10. А н и с о в и ч А. Г. Закономерности процессов структурообразования и термодинамический аспект организации структуры металлов при нестационарных энергетических воздействиях: Дис. ... д-р физ.-мат. наук. Минск, 2005.