

пряжения под роликовой парой в конце того же пролета, при начальном радиусе кривизны слитка  $R=10$  и ширине слитка  $L=2$  м для различных значений скорости разливки и интенсивности наружного охлаждения.

Результаты вычислений показывают, что увеличение скорости разливки приводит к существенному росту прогибов корки слитка и росту величин растягивающих напряжений, возникающих в зоне соприкосновения корки с жидкой фазой, где по существующим натурным наблюдениям возникают внутренние трещины. На основе проведенного анализа можно утверждать, что при соответственном подборе скорости разливки и интенсивности охлаждения наружной поверхности слитка можно предотвращать или довести до минимума возможность возникновения внутренних трещин в непрерывнолитом слэбе в ЗВО.

Полученные результаты использованы в НИИтяжмаш ПО «Уралмаш» при выборе оптимальных технических решений и определении параметров проектируемых машин непрерывной разливки.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Мурадян Л. М., Барсегян Р. Н. Напряженно-деформированное состояние корки затвердевающего слитка // Изв. АН АрмССР, Сер. ТН—1983.—Т. XXXVI, № 4.—С. 17—22.
2. Grill A., Brimacombe J. K., Wenberg F. Mathematical analysis of stresses in continuous casting of steel // Ironmaking and Steelmaking, — 1976. — № 3. — P. 36—47.
3. Kohel Fakaва, Hitomi Matsumoto. Rheologic analysis of bulging of continuously cast slabs with elementary bending theory // Teiry To Karans. — 1982. — № 7. — P. 794—798.
4. Wray P. J. Effect of carbon content on the plastic flow of plain carbon steels at elevated temperatures // Metallurgical Transactions. — 1982. — V. 13A, № 1. — P. 125—134.
5. Dorn J. E. Some fundamental experiments on high-temperature creep // Journ. Mech. Phys. Solids. — 1955. — № 2. — P. 61—69.
6. Новожилов В. В. Теория танков оболочек.—Л.: Судпромгиз, 1962—431 с.

ЕрІН им. К. Маркса

20. VIII. 1985

Изв. АН АрмССР (сер. ТН), т. XLII, № 1, 1989, с. 7—11

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

УДК 678.5:621.891

А. К. ПОГОСЯН, А. Н. КАРАПЕТЯН

### ВЛИЯНИЕ МОДИФИЦИРОВАННЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ НА ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИИ НА ОСНОВЕ СОПОЛИМЕРА СФД

Приведены результаты исследования триботехнических свойств полимерных композиций на основе сополимера СФД, наполненных обычными и предварительно модифицированными минеральными наполнителями.

Показано, что при введении и сополимер СФД молибдидированных минеральных наполнителей, прошедших специальную химическую обработку, значительно повышается износостойкость (в 4—6 раз) и снижается коэффициент трения (в 1,2—1,7 раза). Высокая износостойкость полученных материалов объясняется тем, что в процессе трения на металлической поверхности образуется прочная пленка фрикционного переноса.

Ил. 2. Табл. 3 Библиогр.: 5 назв

*Քրքան են նամագործեր ֆորմալդեհիդի հիմքի վրա պոլիմերային կազմաթյունների (որոնք հարստացված են սպորտիան և նախապես վերափոխված ներքային լցանյութերով) արհեստական կապակաթյունների ակունեստիտային արդյունքները*

*Ցույց է տրված, որ նամագործեր ֆորմալդեհիդի նստակ բիմիական ծրված ածցած փրափորված լցանյութերով հարստացնելու դեպքում բազալանաչափ մեծանում է մոտակայունությունը (4—6 անգամ) և փոքրանում շփման գործակիցը (1,2—1,7 անգամ): Ստացված նյութերի բարձր մաշակունտությունը բացատրվում է նրանով, որ շփման պրոցեսի ընթացքում մետաղական մակերևույթի վրա առաջանում է ամուր պոլիմերային թաղանթ:*

Известно [1—3], что при создании новых композиционных самосмазывающихся полимерных материалов (КСИМ) с заданными свойствами первостепенной задачей является подбор наиболее эффективных типов наполнителей из большого количества потенциально возможных, а также их рациональное использование в зависимости от эксплуатационных условий узла трения.

Настоящая работа посвящена исследованию триботехнических свойств новых КСИМ на основе сополимера СФД в зависимости от используемых наполнителей. Для создания КСИМ в качестве связующего был выбран сополимер формальдегида с диоксолоаном (СФД), освоенный и выпускаемый промышленностью. Сополимер СФД характеризуется комплексом ценных физико-механических, антифрикционных и химических свойств, благодаря которым получил широкое распространение в нашей стране и зарубежом и является одним из перспективных материалов класса термостойких полимеров. Однако, ввиду сложности его синтеза и переработки, невысокой технологической точности изготовления деталей на его основе, а также ухудшения триботехнических характеристик при высоких скоростях скольжения, затрудняется дальнейшее расширение границ и сфер его использования.

Для получения композиций в качестве наполнителей применялись как обычные минеральные материалы, не обладающие самосмазывающей способностью (травертин, мрамор, базальт и туф разных месторождений с различной степенью абразивности), так и те же минеральные наполнители, предварительно прошедшие специальную химическую обработку. Основные физико-механические свойства минеральных наполнителей приведены в табл. 1.

Наполнители вводились в СФД в количестве от 1 до 60 мас. %. По результатам триботехнических испытаний, проведенных на машине трения СМЦ-2 по схеме «вал-частичный вкладыш», получены зависимости линейного износа, коэффициента трения и поверхностной температуры от продолжительности скольжения, позволяющие судить о скорости изнашивания и потери на трение исследуемых материалов в период испытания. Результаты испытаний (рис. 1 и 2) показывают, что

на снижение износа и коэффициента трения влияет как содержание наполнителя, так и, в большей степени, природа материала наполнителя.

Таблица 1

Параметр	Туф арктический	Базальт	Травертин	Мрамор
Плотность, г/см <sup>3</sup>	2,57	2,53	2,93	2,7
Предел прочности, МПа				
при сжатии	13,3	136,7	113,8	122,2
при изгибе	1,5	15,4	18,2	16,5
Модуль упругости, МПа	1266,8	2986,4	3261,5	3312,6
Твердость по шкале Мооса	4—6	4—6	2,5—3,5	2,5—3
Пористость, %	46,6	9,7	7	1,36
Водопоглощение по весу, %	23,3	1	1,7	0,23

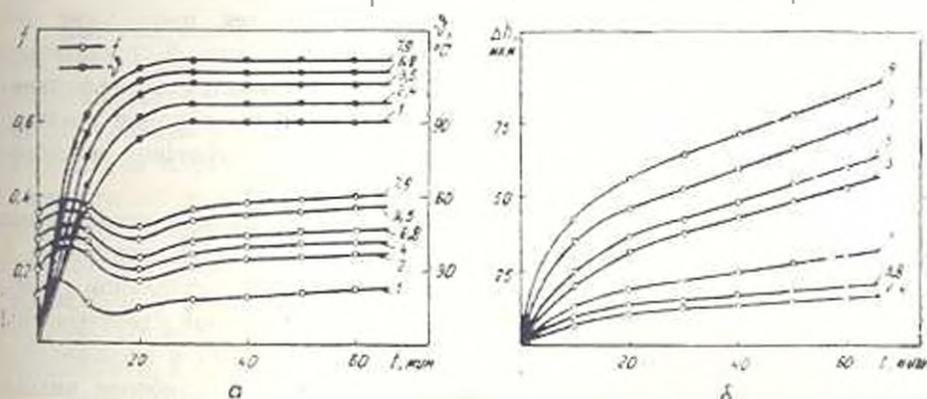


Рис. 1. Зависимости коэффициента трения  $f$  и поверхностной температуры  $\theta$  (а), а также линейного износа  $\Delta h$  (б) от продолжительности скольжения по стали 45: 1—СФД; 2 и 3—СФД+5 и 10 вес. % травертина; 4 и 5—СФД+5 и 10 вес. % мрамора; 6 и 7—СФД+1 и 5 вес. % туфа; 8 и 9—СФД+1 и 5 вес. % базальта

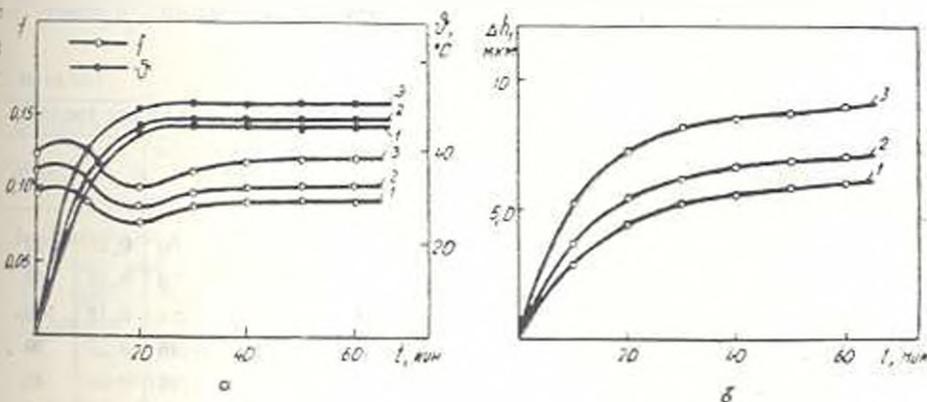


Рис. 2. Зависимости коэффициента трения  $f$  и поверхностной температуры  $\theta$  (а), а также линейного износа  $\Delta h$  (б) от продолжительности скольжения по стали 45: 1—СФД—вес. % модифицированный травертин; 2—СФД+вес. % модифицированный мрамор; 3—СФД+вес. % модифицированный туф

Как видно из рис. 1, для уменьшения износа полимера (СФД) в 1,5—1,7 раза, практически сохраняя коэффициент трения на исходном уровне, потребовалось всего лишь 5% травертина для мрамора, а в случае использования более абразивных минералов (базальт, туф) с той же целью понадобилось еще меньше—около 1%. С увеличением содержания первых до 10% и вторых до 5%, резко (в 1,5—2 раза) возрастают значения коэффициента трения и износа композиций. В этих условиях, вследствие увеличения суммарной контактной площади наполнителя с металлическим контртелом и повышения истирания между ними, возрастает генерируемое при трении тепло, приводящее к размягчению поверхностного слоя полимера и, как результат этого, значительному износу материалов [4]. С увеличением скорости скольжения  $v > 1 \text{ м/с}$  триботехнические свойства исследуемых материалов еще более ухудшаются из-за дополимеризации поверхностного слоя.

Совершенно иная картина наблюдается при введении в сополимер-СФД модифицированных минеральных наполнителей, прошедших специальную химическую обработку. Как следует из рис. 2, значительно повышается износостойкость (в 4—6 раз) и снижается коэффициент трения (в 1,2—1,7 раза). При этом имеют место расширение температурных границ стабильного трения и увеличение нагрузочной способности композиционных материалов.

Для сравнительной оценки триботехнических свойств исследуемых материалов в табл. 2 приведены значения скорости изнашивания  $\dot{I}$ , удельной скорости линейного изнашивания  $I_{\text{уд}}$ , относительной износостойкости  $\eta$ , коэффициента трения  $f$  и поверхностной температуры  $\theta$ , а также линейного износа  $M$  образцов с обычными и модифицированными минеральными наполнителями. Как видно, наиболее низкой скоростью изнашивания (0,64—0,91  $\text{мкм/ч}$ ) и одновременно наиболее низким коэффициентом трения (0,09—0,12) обладают композиции, наполненные модифицированными минеральными наполнителями.

Триботехнические характеристики композиций на основе СФД с оптимальным количеством обычного (О) и модифицированного (М) минерального наполнителя при  $P_{\text{н}} = 1,91 \text{ МПа}$  и  $v = 0,78 \text{ м/с}$

Таблица 2

СФД — наполнитель	После 50 мин испытания $M$ , $\text{мкм}$	При установившемся режиме трения				
		$\dot{I}$ $\text{мкм/ч}$	$I_{\text{уд}}$ $\text{мкм/ч}$	$\eta$	$f$	$\theta$ , °С
Без наполнителя	30	3,82	0,0255	1,00	0,15	90
Травертин — О	16	2,28	0,0152	1,68	0,18	90
Мрамор — О	17,2	2,47	0,0165	1,54	0,18	90
Туф — О	20,6	2,61	0,0174	1,46	0,22	90
Травертин — М	6,0	0,64	0,0041	5,94	0,09	45
Мрамор — М	6,8	0,71	0,0047	5,36	0,10	48
Туф — М	9,0	0,91	0,0061	4,20	0,12	55

Материал	Условия трения		Адгезионная прочность пленок ФП $\times 10^{-3}$ , Дин/д <sup>2</sup>
	Время, мин	Температура на фрикционном контакте, °С	
СФД	10	30	21
СФД	360	110	72,36
СФД+модифицированный травертин	10	30	38
СФД+модифицированный травертин	360	52	101,26
СФД+модифицированный мрамор	10	30	31
СФД+модифицированный мрамор	360	55	97
СФД+модифицированный туф	10	35	26
СФД+модифицированный туф	360	72	66,5

Высокая износостойкость полученных модифицированных материалов объясняется тем, что в процессе трения на металлической поверхности образуется прочная пленка фрикционного переноса (ФП), которая играет главную роль в механизме самосмазывания при их трении. С образованием пленки ФП наступает период установившегося износа, зависящего от свойств и долговечности перенесенной пленки. Расчетные значения адгезионной прочности пленок фрикционного переноса исследуемых материалов, полученных с помощью соотношения Дюпре [5], приведены в табл. 3. Как видно, адгезионная прочность пленок, образованных после установившегося режима трения модифицированных композиций, в 1,2—1,5 раза больше, чем у исходного материала.

Таким образом, введение в сополимер СФД модифицированных минеральных наполнителей приводит к значительному повышению износостойкости и снижению коэффициента трения. Эти материалы можно рекомендовать для изготовления, например, подшипников скольжения, эксплуатирующихся в условиях отсутствия смазки при значениях  $P \cdot V \leq 2$  МПа·м/с.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Трение и износ материалов на основе полимеров / В. А. Белий, А. И. Свириденко, М. И. Петроковец и др.—Минск: Наука и техника, 1976—431 с.
2. Погосян А. К. Трение и износ наполненных полимерных материалов.—М: Наука, 1977.—135 с.
3. Триботехнические свойства антифрикционных самосмазывающихся пластмасс. Обзор информации / Под ред. Г. В. Сигалова и Шембля Н. Л.—М: Изд-во стандартов, 1982—64 с.
4. Погосян А. К., Карасяня А. И., Авестисян Ю. Л. Исследование механохимических явлений при трении материалов на основе сополимера СФД // Теория и конструирование машин: Межвуз сборник.—Ереван: Изд-во ЕрПИ, 1986.—С 3—7.
5. Ван Кревелен Д. В. Свойства и химическое строение полимеров. Пер. с англ. / Под ред. А. И. Малкина.—М.: Химия, 1976—416 с.