

СИНТЕЗ ПОКРЫТИЙ С ЗАДАНЫМИ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ

О.П. Штемпель, А.В. Дудан, В.А. Фруцкий

УО «Полоцкий государственный университет», Новополоцк

Как известно, наибольшей теплопроводностью обладают чистые металлы или гомогенные материалы. Однако весьма сложно выделить материал с однородной структурой. В данной работе сделана попытка изучить влияние микроструктуры гетерогенных материалов на их теплопроводность и, как следствие, поведение при эксплуатации. И сделать рекомендации по применению материалов, обладающих определенными структурами, для различных условий эксплуатации.

Цель работы состоит в изучении взаимосвязи между структурой, температуропроводностью и эксплуатационными свойствами гетерогенных покрытий из различных материалов, установлении возможности воздействия на эксплуатационные свойства создаваемых материалов путем регулирования их теплопроводности.

Материалы и методики исследования. Изучались эксплуатационные свойства, в т.ч. и теплопроводность, различных композиционных материалов с гетерогенной структурой. Ряд материалов был получен в результате плазменного напыления из диффузионно легированных порошков на основе металлоотходов.

Сырьем для получения ДЛ-порошков служила измельченная стружка серого чугуна. Диффузионное легирование бором и медью порошка осуществляли по разработанной технологии во вращающемся герметизируемом контейнере [1]. Газогермические покрытия из ДЛ-порошков получали плазменным напылением на стальную подложку на установке УПУ-3Д в струе азотной плазмы. Полученные покрытия изучали традиционными методами: металлографическим (ГОСТ 9.302), дюротрическим (ГОСТ 200017, ГОСТ 299999), микродюротрическим (ГОСТ 9450). Фазовый рентгеноструктурный полуколичественный анализ проводили по методикам БНТУ. Триботехнические свойства покрытий изучали по методикам [2]. Измеряли также объемную температуру в зоне трения контактным методом [2]. Для определения теплопроводности покрытия был разработан метод определения коэффициента температуропроводности, относящийся к классу инверсных задач [2].



Рис. 1. Структура бронзы
BrOF 8-2, $\times 100$

Результаты исследования и их обсуждение. Анализируемые газотермические покрытия имеют характерное гетерогенное строение (рис. 1). Комплекс выполненных исследований позволяет сформулировать некоторые закономерности структурообразования плазменных покрытий.

Как известно, в общем случае перенос тепла в многофазном, пористом дисперсном твердом теле, каким являются анализируемые покрытия, осуществляется посредством теплопроводности самих частиц материала, теплопроводности оксидных пленок, молекулярной теплопроводности газа, заполняю-

щего поры, контактной теплопроводности межчастичных контактов, а также конвекцией газа в порах и излучением от частицы к частице [3].

Основной тепловой поток проходит через области с более крупнодисперсной структурой. Все границы фаз в данном случае являются плохо преодолимым препятствием на пути теплового потока. При измельчении структуры резко увеличивается количество границ перехода. Следовательно, снижается тепловой поток. То же самое происходит при наличии в структуре эвтектики, представляющей собой различные составляющие с ярко выраженной границей. Как правило, эвтектика мелкодисперсная, в ряде случаев зернистая, что еще больше препятствует прохождению теплового потока.

На основе проведенных исследований было сделано предположение о возможности замены дорогостоящих сплавов на основе меди на менее дорогие на основе металлоотходов с их легированием для получения необходимых эксплуатационных характеристик. За основу материала были приняты отходы серых чугунов, в избытке имеющиеся на металлообрабатывающих предприятиях республики. Для придания более высокой теплопроводности было решено легировать отходы медью. Однако, как известно, медь с железом образует сильно сегрегированные механические смеси. Поэтому для присоединения меди к порошку чугуна в материал было введено определенное количество бора по рекомендациям [4].

Полученные результаты определения коэффициента температуропроводности композиционных сплавов свидетельствуют об определяющем влиянии бора, а не меди, как предполагалось (табл.). Резкое снижение температуропроводности сплава при легировании бором и медью обусловлено гетерогенизацией последнего и является известным фактором [5]. А вот обнаруженная экстремальность влияния бора на температуропроводность сплава требует объяснения.

Влияние содержания бора на теплопроводности покрытий системы Fe-C-B

Содержание бора, % по массе	Коэффициент теплопроводности α , Вт/(м К), для интервала температур, °С					
	50 - 100	100 - 150	150 - 200	200 - 250	250 - 300	300 - 350
Br OF 10-1						34
Br AJ						59
Br OIC 5-5-5						84
Сч 20	32,900	32,317	31,928	31,442	39,734	38,552
Доэвтектическое	18,570	18,563	18,210	17,725	17,403	16,832
Эвтектическое	13,450	13,256	13,181	13,189	13,145	12,966
Заэвтектическое	17,322	16,936	16,552	16,101	15,793	15,583

Установлено, что минимальной температуропроводностью обладают сплавы эвтектической концентрации, для которых характерна наибольшая степень гетерогенности, вследствие преобладания мелкодисперсной механической смеси бористого феррита и бороцементита (рис. 2, 3). Дальнейшее увеличение содержания бора формирует заэвтектическую структуру с преобладанием относительно крупных первичных боридов. Бориды железа Fe_2B обладают низкой теплопроводностью ($\lambda_{20\text{C}} = 0,3$ Вт/см К), однако количество мелкодисперсной эвтектики и, следовательно, степень гетерогенности покрытия в этом случае снижается, поэтому происходит некоторое повышение температуропроводности. Наибольшая температуропроводность в анализируемой системе характерна для доэвтектических концентраций бора. Избыточной фазой в этом случае является бористый феррит, обладающий существенно большей теплопроводностью, а содержание эвтектики в покрытии невелико.

Установленные факторы влияния бора на температуропроводность покрытий позволяют предложить характер взаимосвязи теплофизических и триботехнических свойств газотермических бористых покрытий. Тепловой режим пары трения, как известно, обусловлен протеканием конкурирующих процессов тепловыделения и теплопередачи. При относительно постоянных показателях тепловыделения решающее значение будет иметь теплопередача.

Покрытия, имеющие заэвтектическую концентрацию бора, обладают невысокой температуропроводностью. Для этих покрытий характерна линейная зависимость роста температуры. Покрытия с эвтектической концентрацией бора, как было показано выше, обладают наименьшей температуропроводностью. Этим обусловлен параболический рост температуры покрытия. Температурный режим свидетельствует о слабой работоспособ-

ности этого покрытия. Покрытие с доэвтектической концентрацией бора обладает максимальной температуропроводностью в анализируемой системе. Высокие теплофизические свойства этих покрытий позволяют прогнозировать ее высокую работоспособность в условиях граничного трения скольжения и возможность частичной замены материалов на медной основе при определенных условиях эксплуатации.

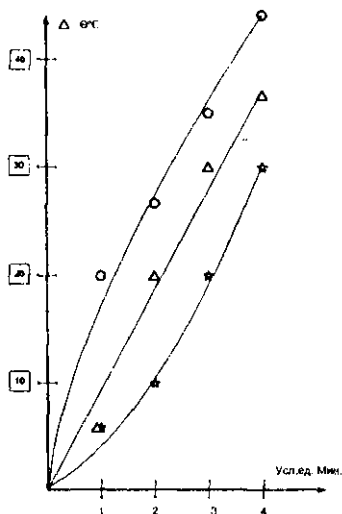


Рис. 3. Структура полученного композиционного материала на основе боромедной чугушной стружки

Рис. 2. Изменение температуры образца с покрытием из боромедной чугушной стружки в процессе испытаний. Содержание бора, % по массе: ★ – доэвтектическое; Δ – эвтектическое; ○ – заэвтектическое

Заключение. На температуропроводность газотермических покрытий из боромедной стружки серого чугуна оказывает существенное влияние их строение. Наименьшая температуропроводность и соответственно неудовлетворительные эксплуатационные свойства характерны для покрытий с эвтектической концентрацией бора. Это обусловлено крайне низкой температуропроводностью дисперсной эвтектической механической смеси бористого феррита и бороцементита. Поэтому количество боридной эвтектики в указанных покрытиях следует ограничивать. Увеличение температуропроводности покрытий с доэвтектической концентрацией бора, обусловленное уменьшением доли эвтектики за счет увеличения количества бористого феррита, обеспечивает повышение эксплуатационных свойств.

Литература

1. Штемпель, О.П. Интенсификация диффузионного легирования металлических порошков для защитных покрытий в подвижных порошковых смесях: автореф. дис. ... канд. техн. наук / О.П. Штемпель; Полоцк. гос. ун-т. – Новополоцк, 2003. – 24 с.
2. Сороговец, В.И. Получение износостойких покрытий плазменной наплавкой диффузионно-легированных самофлюсующихся порошков: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.02.01. / В.И. Сороговец; Полоцк. гос. ун-т. – Новополоцк, 2001. – 24 с.
3. Смирнов, Е.В. Виды переноса тепловой энергии в металлических плазменно напыленных покрытиях и некоторая качественная оценка их теплопроводности / Е.В. Смирнов, В.Е. Ионин // Инженерно-физический журнал. – 1970. – № 4. – С. 17 – 20.
4. Фруцкий, В.А. Антифрикционный материал из легированной бором и медью чугуновой стружки для подшипников скольжения: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.01 / В.А. Фруцкий; Полоцк. гос. ун-т. – Новополоцк, 2006. – 135 с.
5. Медовар, Б.И. Аустенитно-боридные стали и сплавы для сварных конструкций / Б.И. Медовар, Н.И. Пинчук, Л.В. Чикотило. – Киев: Наукова думка, 1970. – 145 с.

УДК 621.792

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ ИЗ МЕТАЛЛООТХОДОВ

О.П. Штемпель, В.А. Фруцкий, С.Ф. Денисенко

УО «Полоцкий государственный университет», Новополоцк

Объектом исследования в данной работе стали подшипники скольжения, применяемые в узлах кузнечно-прессового оборудования (КПО). Как правило, втулки станков кузнечно-прессового оборудования изготавливают цельнометаллическими из материала типа БрОФ 10-1. При достижении зазоров в сопряжении больше допустимых втулки демонтируют и подвергают утилизации как лом цветного материала. За один ремонтный цикл меняют минимум четыре втулки, при массе одной втулки равной 7,0 кг, общий вес одновременно утилизируемых деталей составляет соответственно 28,0 кг. Экономическая ситуация, сложившаяся в Республики Беларусь на сегодняшний день, заставляет предприятия минимизировать расходы на закупку дорогих дефицитных оловянистых бронз. Недостаток антифрикционных материалов приводит к тому, что оборудование работает в аварийных режимах далеко за пределами допустимых границ безопасной эксплуатации. Анализируя вышеизложенные факты, приходим к необходимости капитального ремонта втулок КПО и, возможно, замене дорогостоящего материала менее дорогим с сохранением эксплуатационных свойств.