

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗНАШИВАНИЯ ДЕТОНАЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ СИСТЕМЫ CR-SI-B В УСЛОВИЯХ ГРАНИЧНОЙ СМАЗКИ

Проведены исследования разработанного структурно-фазового состава детонационных покрытий системы Cr-Si-B. Полученные результаты позволяют рекомендовать их использование для повышения износостойкости, трущихся в условиях граничной смазки сопряжённых деталей машин и оборудования.

Researches of the developed struktarno-fazovogo composition of detonation coverages of the system of Cr-si-b are conducted. The got results allow to recommend their use for the increase of wearproofness, attended details of machines and equipment ground in the conditions of the border greasing.

Ключевые слова: детонационные покрытия, износостойкость.

Вступление. Значительные возможности повышения эксплуатационной надежности деталей машин, работающих в условиях трения, связаны с формированием высококачественных поверхностных слоев, обладающих высоким сопротивлением износу.

Разработка износостойких покрытий, минимизирующих параметры трения, является одним из современных направлений триботехнического материаловедения. Внедрение перспективных трибостойких материалов сегодня не менее важно, чем их создание, при этом главным является прикладной эффект, получаемый от них в технике.

Одним из современных технологических методов, позволяющих наносить высококачественные износостойкие покрытия, значительно повышающих ресурс восстановленных и упрочненных деталей, является детонационно-газовое напыление. Однако широкое применение износостойких покрытий, полученных детонационно-газовым методом, сдерживается недостаточным объемом информации об их триботехнических возможностях, отсутствием научно обоснованных областей их оптимальной работоспособности, ограниченностью ассортимента качественных порошковых материалов.

В условиях смазки наиболее полно изучены закономерности трения и изнашивания спеченных порошковых материалов [1–3 и др.], у которых отмечается развитая пористость структуры, положительно влияющая на их триботехнические характеристики.

Цель работы: разработка структурно-фазового состава детонационных покрытий, на основе Cr, легированного Si и B, исследование их триботехнических возможностей в условиях граничного трения. При выборе компонентов композиционных покрытий учитывалась реализация комплекса свойств материала и смазочной среды, способствующих устойчивому проявлению структурной приспособляемости в процессе трения.

Методика исследований. Для раскрытия взаимосвязей между свойствами материалов в условиях трения, их структурой и составом фаз, влиянием внешних факторов, определяющих эксплуатационную устойчивость системы трения, были использованы современные физические методы. Изучение физико-химических свойств покрытий, микрофазовый анализ проводили на электронном сканирующем микроскопе типа «Камскан», исследование зон локализации структурных составляющих и количественный химический анализ – методами качественного и последующего количественного рентгеновского анализа.

Испытания на износостойкость проводили на установке типа УМТ-1 по торцевой схеме контакта в условиях граничной смазки. Для сравнительной оценки триботехнических свойств детонационных покрытий были использованы образцы из закаленной стали 30ХГСНА и азотированной 38ХМЮА в паре с бронзой Бр.014 и антифрикционным сплавом АО-20. Как известно, эти материалы наиболее широко применяются в реальных узлах трения, работающих в режиме граничной и гидродинамической смазки.

Результаты исследований и обсуждения результатов. В связи с принципиальным теоретическим и практическим значением рассматриваемого вопроса были проведены исследования процессов трения и изнашивания детонационных покрытий в неактивной смазке (вазелиновое масло) и в той же смазке, активированной добавками поверхностно-активных веществ.

При определении степени влияния поверхностно-активных веществ на закономерности трения и изнашивания детонационных покрытий в качестве смазочной среды использовалось как чистое (неполярное) вазелиновое масло, так и вазелиновое масло с добавкой 2 мас. % одноосновной ненасыщенной олеиновой кислоты. Оптимальную концентрацию олеиновой кислоты находили экспериментально, при этом оценку смазочных свойств определяли по величине коэффициента трения. Было установлено, что по мере повышения содержания олеиновой кислоты до 2 %, величина коэффициента трения, уменьшаясь, достигает постоянного уровня, на котором остается стабильной вплоть до концентрации одноосновной кислоты, соответствующей почти 45 мас. %. Таким образом, оптимальная концентрация олеиновой кислоты в вазелиновом масле, соответствующая минимизации параметра трения, составила 2 мас. %. Кроме того, для сравнения полученных результатов аналогичные пары трения по тем же программам испытывали в среде

минерального масла МС-20.

Результаты исследования представлены на рис. 1 и 2, при испытании покрытий в среде вазелинового масла, в котором не содержатся поверхностно-активные вещества, наблюдается минимальная величина износа при максимальном коэффициенте трения. При добавлении в вазелиновое масло поверхностно-активных веществ интенсивность изнашивания увеличивается почти в два раза при одновременном снижении коэффициента трения. При этом необходимо отметить, что диапазон нормального изнашивания по нагрузке при смазочном действии вазелинового масла сравнительно невысокий, до 8 МПа, и значительно расширяется при введении поверхностно-активных веществ – до 13 МПа.

Заметное понижение коэффициента трения и увеличение границы устойчивости, определяющей диапазон эксплуатации, связано с хемосорбцией кислорода на поверхности трения и образования защитных вторичных структур оксидов, а также с эффектом физически адсорбирующихся поверхностно-активных веществ, обуславливающих пластифицирование. Причем увеличение нагрузки оказывает более действенное влияние, чем повышение скорости скольжения, что, исходя из проявления эффекта Ребиндера, связано с неравновесным активированным состоянием поверхностного слоя и ориентированной в процессе трения структурой. Вазелиновое масло, содержащее в своем составе поверхностно-активные вещества, адсорбирующиеся на поверхностях деформируемого при трении покрытия, вызывает адсорбционное пластифицирование, т.е. способность к более интенсивной деформации (скольжение идет по многим системам кристаллографических плоскостей) в тонком поверхностном слое толщиной в доли микрометра, при этом поверхностно-активные вещества облегчают выход дислокаций к поверхности деформируемого покрытия, что уменьшает внутренние напряжения и предотвращает распространение деформации вглубь образцов. На рис. 3 показаны изменения дислокационной структуры при трении в среде вазелинового масла (а) и в условиях смазки с добавлением поверхностно-активных веществ (б).

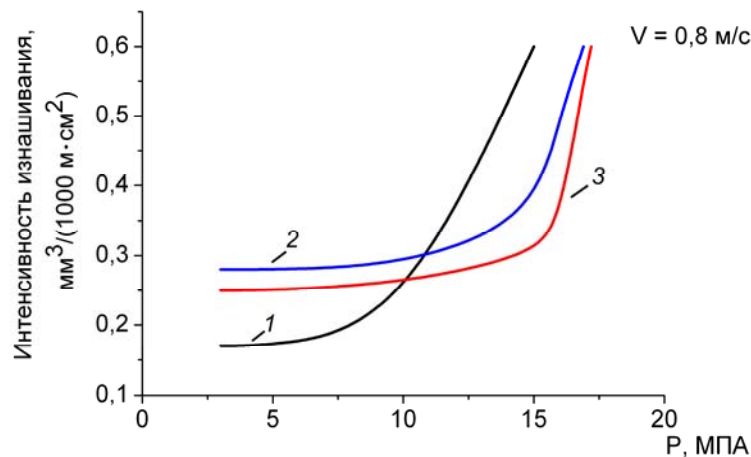


Рис. 1. Изменение интенсивности изнашивания в зависимости от нагрузки: 1 – в среде вазелинового масла; 2 – в среде вазелинового масла с добавкой поверхностно-активных веществ; 3 – в среде масла МС-20

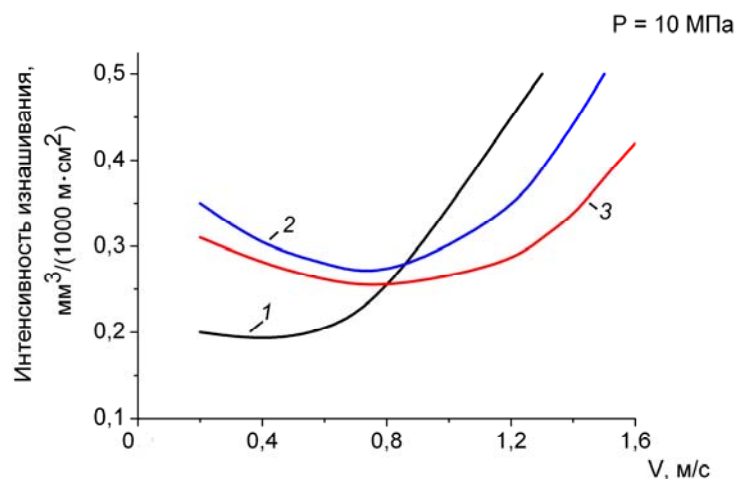


Рис. 2. Изменение интенсивности изнашивания в зависимости от скорости скольжения: 1 – в среде вазелинового масла; 2 – в среде вазелинового масла с добавкой поверхностно-активных веществ; 3 – в среде масла МС-20

Облегчение сдвигообразования в присутствии поверхностно-активных веществ в конечном счете приводит к значительному упрочнению тонкого поверхностного слоя вследствие сильных искажений решетки. Изменения параметров кристаллической решетки под влиянием нагрузок, температур, наклепа и фазовых превращений не протекают равномерно из-за локализации деформаций в отдельных объемах,

соизмеримых с участками фактического контакта, при этом центральные объемы частиц с неискаженной кристаллической решеткой менее прочны и имеют меньшее сопротивление деформации, являясь потенциальными очагами схватывания, а области, прилегающие к границам зерен или к участкам с искаженной кристаллической решеткой, оказываются более прочными. Эта локализация и обуславливает на поверхностях трения покрытий неоднородность механических свойств, определяемых регрессией к среднему уровню. Для анализа процессов представляется важным распределение микротвердости от поверхности трения по глубине деформированного слоя. На рис. 4 представлены результаты измерения микротвердости по глубине деформируемого слоя для трех смазочных сред, выполненные по методике. Точка, соответствующая микротвердости $H_{\mu} = 3700$ МПа, характеризует микротвердость исходного образца до испытания на трение. При работе в вазелиновом масле (кривая 1) микротвердость поверхностного слоя повышается незначительно, до $H_{\mu} = 5880$ МПа, при этом глубина деформируемой зоны достигает значительной величины $h = 1,78$ мкм. Добавление в вазелиновое масло поверхностно-активных веществ (кривая 2) существенно повышает микротвердость поверхности трения – $H_{\mu} = 14500$ МПа, при одновременном уменьшении глубины деформируемого слоя $h = 1,14$ мкм. Кривая 3, полученная при трении в среде масла МС-20, занимает промежуточное положение. На основании приведенных результатов следует отметить, что степень возникающего наклепа при деформировании поверхности покрытия значительно возрастает в присутствии поверхностно-активных веществ, т.е. повышается микротвердость наклепанного слоя, что существенно влияет на противоизносные свойства покрытия и, как известно способствует увеличению предела текучести материала поверхностного слоя, а, следовательно, расширению диапазона нормального изнашивания как по нагрузке, так и по скорости скольжения.

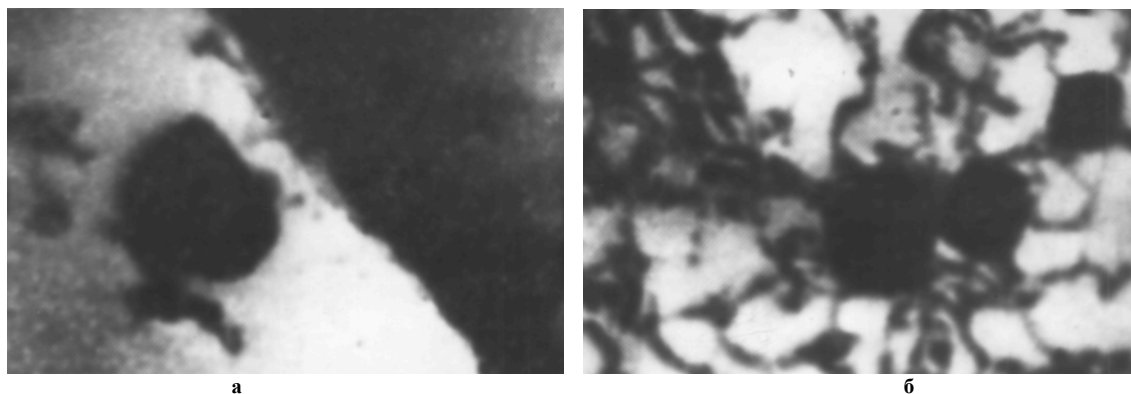


Рис. 3. Дислокационная структура покрытия на основе никеля, испытанного: а – при трении в вазелиновом масле; б – при трении в среде вазелинового масла с добавлением поверхностно-активных веществ (х 35000)

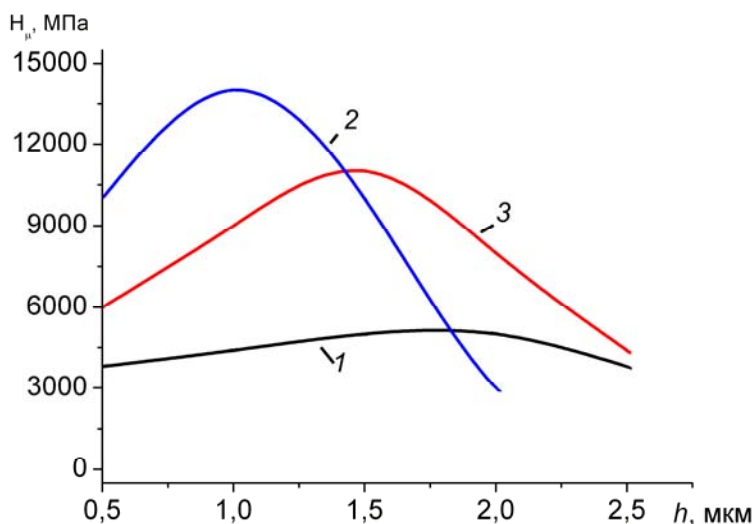


Рис. 4. Изменение микротвердости поверхности трения по глубине деформируемого слоя h при работе: 1 – в вазелиновом масле; 2 – в вазелиновом масле, содержащем поверхностно-активные вещества; 3 – в масле МС-20

Вышеизложенное имеет место при внешнем эффекте Ребиндера, который проявляется при работе покрытий в среде, содержащей поверхностно-активные вещества. Этим, в первую очередь, и объясняется значительное увеличение нагрузочно-скоростного диапазона работы покрытия по сравнению со смазочной средой, не содержащей поверхностно-активных веществ. Однако наличие поверхностно-активных веществ при трении детонационных покрытий вызывает нежелательные конкурирующие процессы, так одновременно с внешним эффектом Ребиндера проявляется внутренний эффект [4; 5], который имеет место в процессе адсорбции поверхностно-активных веществ на внутренних поверхностях пор, играющих роль

зародышей микротрещин. Это приводит к снижению работы, затрачиваемой на образование новых поверхностей и к облегчению развития микротверщин, что проявляется в повышении хрупкости и резком увеличении износа покрытий.

Обратная зависимость наблюдается у коэффициента трения, максимальное значение коэффициента трения соответствует вазелиновому маслу, минимальное – маслу МС-20, что в первую очередь, можно объяснить не только наличием в МС-20 поверхностно-активных веществ, но и его хорошей адсорбацией к поверхности трения за счет более высокой кинетической вязкости по сравнению с вазелиновым маслом.

Как показали проведенные экспериментальные исследования, поверхностно-активные вещества оказывают значительное влияние на процесс трения и изнашивания детонационных покрытий. При отсутствии в смазке поверхностно-активных веществ наблюдается минимальный износ при незначительном нагрузочно-скоростном диапазоне и высоком коэффициенте трения, добавление в смазочное масло поверхностно-активных веществ значительно расширяет нагрузочно-скоростной диапазон, снижает коэффициент трения, но при этом увеличивается износ, так как в данном случае имеет место одновременное действие внутреннего и внешнего эффектов Ребиндера.

Используя приведенные результаты о действии внутреннего и внешнего эффектов Ребиндера в процессе граничной смазки, можно предположить следующий механизм изнашивания детонационных покрытий при наличии смазочной среды. В процессе контактного взаимодействия происходит не только деформация поверхностных слоев, зерен, но и изменение их ориентации, т.е. текстурирование. Другими словами, поверхность трения приспособляется к действующей схеме механических напряжений, что видно на микрофотографиях поверхностей трения (рис. 5), соответствующих различным режимам трения. Присутствие поверхностно-активных веществ посредством проявления внешнего эффекта Ребиндера на поверхности трения способствует формированию структур, которые обуславливают явление приспособляемости.

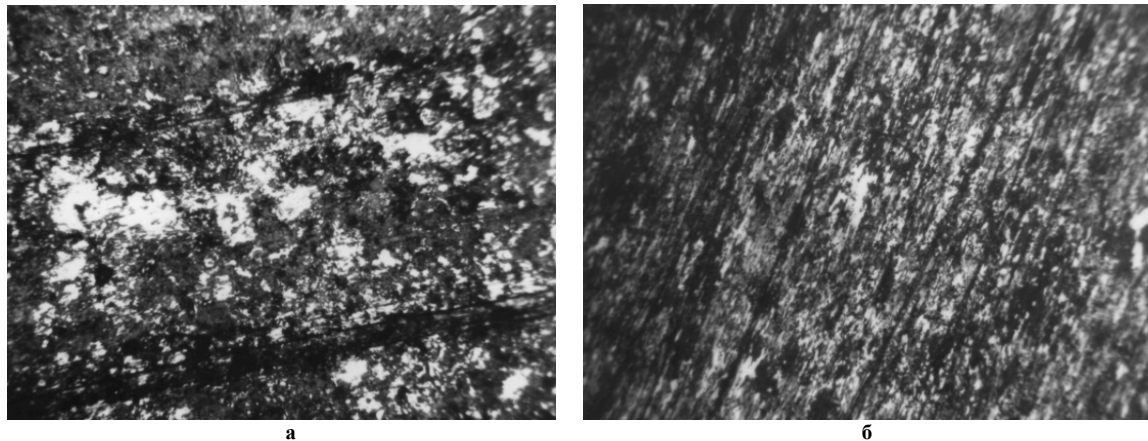


Рис. 5. Микрофотографии, иллюстрирующие текстурирование поверхностей трения детонационных покрытий, соответствующие различным режимам: а – $P = 5$ МПа; б – $P = 5$ МПа, при $V = 0,8$ м/с ($\times 320$).

Выводы. Таким образом, работающие при трении в условиях граничной смазки детонационные покрытия системы Cr-Si-B могут быть использованы для повышения износостойкости трущихся сопряжений деталей машин и оборудования. Кроме того, технологичность напыления и низкая стоимость обуславливают перспективность использования данных покрытий при ремонте и восстановлении изношенных деталей широкой номенклатуры.

Литература

1. Анализ состояния, тенденции развития и рекомендации по применению защитных покрытий / [Б. А. Ляшенко, Н. А. Зенкин, Б. Ф. Пипа и др.]. – К.: ГАЛПУ, 1999. – С. 49.
2. Щепетов В. В. Износостойкость детонационных покрытий из порошков Ni-Al-Si, Ni-Al-B в условиях граничной смазки / В. В. Щепетов, В. Х. Кадыров // Порошковая металлургия. – 1989. – № 11. – С. 74–77.
3. Рябцев И. А. Наплавка деталей машин и механизмов / Рябцев И. А. – К.: Экотехнология, 2004. – С. 106.
4. Восстановление и повышение износостойкости и срока службы деталей машин / [под ред. В. С. Попова]. – Запорожье: Изд-во «Мотор Січ», 2000. – С. 394.
5. Ребиндер П. А. Влияние активных смазочных сред на деформирование сопряженных поверхностей трения / Ребиндер П. А. – В.: О природе трения твердых тел, 1971. – 224 с.

Надійшла 16.11.2010 р.