

## ИЗНАШИВАНИЕ ПОКРЫТИЙ ИЗ МЕХАНИЧЕСКИХ СМЕСЕЙ НА ОСНОВЕ САМОФЛЮСУЮЩИХСЯ СПЛАВОВ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ВЫСОКИХ КОНТАКТНЫХ НАГРУЗОК

*Белорусский национальный технический университет*

*Минск, Беларусь*

Покрытия из самофлюсуемых сплавов находят все более широкое применение в промышленности благодаря высокой твердости и износостойкости. Дополнительное легирование самофлюсуемых сплавов карбидными добавками дает возможность расширить их область применения и использовать в парах трения при высоких контактных нагрузках. При этом весьма важно правильно установить механизм изнашивания покрытий.

В контактирующих слоях в процессе изнашивания чрезвычайно интересно протекают деформационные процессы. Пластическая деформация сплавов связана с необратимыми изменениями взаимного расположения атомов и ее физический смысл заключается в разрыве межатомных связей и образовании новых, что определяется атомной структурой материала. Такие изменения происходят, главным образом, в наиболее ослабленных и искаженных участках структуры около границ зерен и других препятствий, т.е. там, где возникают скопления однородных дислокаций. В процессе трения плотность и взаимное расположение дислокаций меняется, а при избытке дислокаций одного знака возникают значительные по абсолютной величине внутренние остаточные напряжения. Величина и соотношение нормальных и касательных напряжений, которые непосредственно зависят от микрогеометрии и фактической площади контакта, определяют степень разрушения трущихся поверхностей. Напряжения и деформации локализуются главным образом в окрестностях пятен фактического контакта, что предопределяет зону фрикционного разрушения в виде тонкого приповерхностного слоя, напряженно-деформированное состояние которого определяется действительным распределением внешних сил. Толщина его обычно колеблется в пределах 1...10 средних значений диаметров пятна фактического контакта [1,3]. Материал в пределах этого слоя, даже при стационарных внешних условиях трения, испытывает значительные по амплитуде знакопеременные нагрузки и выполняет роль буфера, снижающего интенсивность силового воздействия на глубинный материал. Толщина и свойства этого слоя определяются как условиями трения, так и свойствами контактирующих поверхностей, главным образом их структурой. Реальная структура покрытий после газотермического напыления и оплавления характеризуется наличием крупных частиц упрочняющих фаз, выступающих в процессе изна-

шивания на поверхность трения, в результате чего диаметр пятна фактического контакта возрастает. Высокая степень деформации зоны фрикционного разрушения приводит к формированию своеобразной дислокационной структуры с повышенной средней плотностью дислокаций. Упругие поля скоплений дислокаций тормозят движение вновь генерированных дислокаций, в результате чего в приповерхностных объемах реализуется критическое упругонапряженное состояние, обуславливающее трещинообразование. Этому способствует наличие в структуре материала всевозможных концентраторов напряжений. Взаимодействие дислокаций с дефектами структуры оказывает непосредственное влияние на механизм разрушения поверхностей трения.

Препятствием для дислокационного движения в покрытиях являются, главным образом, отдельные крупные частицы твердых включений, что приводит к возникновению возле них неоднородностей по плотности дислокаций. Достигая некоторой критической величины концентрации, отдельные дислокации коалесцируют друг с другом с образованием микропор и микротрещин. При последующем нагружении микротрещины превращаются в макротрещины, способствующие разрушению поверхностного слоя. Достигнув определенного размера, они способствуют ослаблению связи с основным материалом и последующему выкрашиванию частиц [2]. В результате этого в процесс разрушения вовлекаются лежащие ниже слои, масштабы разрушения увеличиваются, возрастает интенсивность изнашивания. Образующиеся микроскопические частицы износа, попадая в зазор пары трения играют роль абразивных частиц, усиливающих износ. В ряде случаев возмущения, вносимые во взаимодействие трущихся поверхностей крупными частицами износа, могут вызвать катастрофическое изнашивание и задиры.

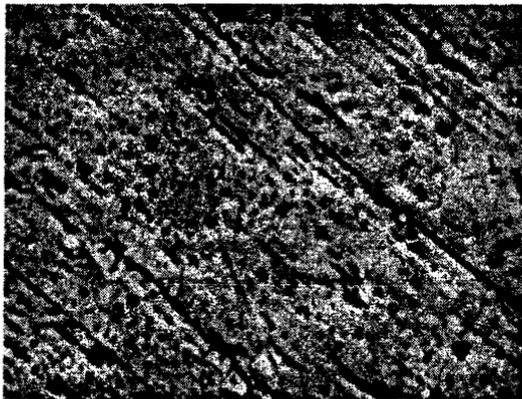
Известно, что введение в самофлюсующийся сплав добавок—тугоплавких карбидов приводит к значительному повышению износостойкости покрытий [1-3]. Получаемые при этом структуры обладают пониженной склонностью к схватыванию в процессе трения. Процесс изнашивания подобных покрытий включает в себя усталостное изнашивание более мягкой структурной составляющей—никелевой матрицы, обнажение более твердых составляющих—карбидных фаз и их последующее выкрашивание.



Рис. 1. Структура 300 покрытия из сплава ПР-Н70Х17С4Р4 при скорости относительного скольжения  $V=3,8$  м/с и нагрузке 12 МПа

Изнашивание покрытия из самофлюсующегося сплава ПР-Н70Х17С4Р4 происходит по механизму, описанному выше. При скорости скольжения  $V=3,8$  м/с и давлении 5 МПа на поверхности покрытия отчетливо видны следы царапин, а также выкрашивания крупных частиц упрочняющей фазы. При нагрузке  $p=12$  МПа на поверхности покрытия наблюдается развитая сетка усталостных трещин (рис. 1.).

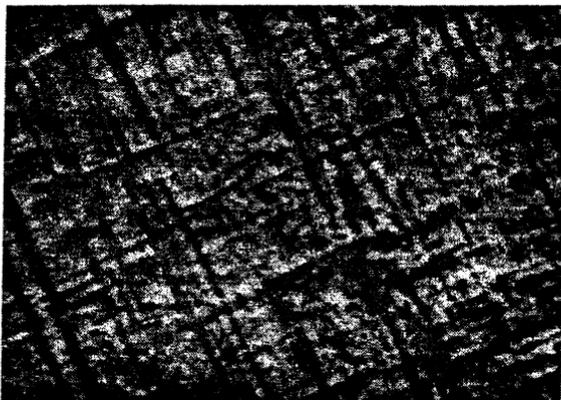
Карбидные добавки в основном приводят к упрочнению матрицы с одновременным увеличением количества упрочняющей фазы, что приводит и к изменению характера изношенной поверхности. При трении сплава с добавками карбида вольфрама следы царапин практически отсутствуют. На поверхности трения преобладает упругое отеснение материала. В структуре происходит сильное упрочнение матрицы за счет частичного растворения вольфрама в никеле (до 7%). В процессе изнашивания покрытия такого состава на поверхности не наблюдалось задиров и царапин. Основным механизмом изнашивания в данном случае является усталостное выкрашивание частиц твердой фазы (рис. 2).



*Рис.2. Структура300 изношенной поверхности покрытия из сплава ПР-Н70Х17С4Р4+30%ПС-12НВК при скорости относительного скольжения  $V=3,8$  м/с и нагрузке 12 МПа*

При трении сплава с добавками карбида хрома трещины имеются. Это может быть причиной того, что добавки карбида хрома не приводят к упрочнению твердого раствора за счет его легирования, так как хром является сильным карбидообразующим элементом. Матрица в этом случае остается более пластичной и внедрение неровностей контртела при трении приводит к образованию царапин (рис.3). Значительное повышение износостойкости обусловлено увеличением количества упрочняющей фазы, частицы которой тормозят развитие усталостных процессов в никелевой

матрице. Кроме того, все твердые составляющие такого композиционного покрытия имеют полную смачиваемость расплавом никеля, что обуславливает их максимальное сцепление с никелевой матрицей и стойкостью к выкрашиванию.



*Рис.3. Структура  $\times 300$  изношенной поверхности покрытия из сплава ПР-Н70Х17САР4+30%ПС-12КХ при скорости относительного скольжения  $V=3,8$  м/с и нагрузке 12 МПа*

Установленный механизм изнашивания защитных покрытий позволит правильно выбрать материал матрицы и легирующих добавок в зависимости от конкретных условий трения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Борисов Ю.С., Борисова А.Л. Плазменные порошковые покрытия. Киев, Навукова думка, 1985.–321 с. 2. Кудинов В.В. Бобров Г.В. Нанесение покрытий напылением. Теория, технология и оборудование. М.: Металлургия, 1992.–432 с. 3. Спиридонов Н.В., Кобяков О.С., Куприянов И.Л. Плазменные и лазерные методы упрочнения. Мн.: Высшая школа, 1988. – 200 с.

Рецензент – проф. Кочергин А. И.