

Как видно из зависимости пористости покрытий из композиционных материалов от дистанции напыления, минимальная пористость достигается при дистанции напыления 150...200 мм. Это объясняется также, как и прочность сцепления, наибольшей температурой нагрева частиц при этой дистанции. На пористость покрытия оказывает влияние состав композиции. Наименьшая пористость 5-6% наблюдается у композиций, содержащих большее количество (по объему) алюминия. В процессе напыления за счет экзотермической реакции происходит повышение температуры частиц и при формировании покрытия они в большей степени пластически деформируются, залечивая поры. У композиции №1 пористость составляет 5,6-5,85% при дистанции напыления 180.. 220 мм.

Таким образом, проведенные исследования по определению прочности сдвига, прочности сцепления и пористости показывают, что оптимальной дистанцией напыления исследованных композиционных материалов является дистанция 180-220 мм.

Наибольшая прочность сцепления $G_{\text{сц}}$ 52-54 МПа была достигнута при шероховатости R_a 40-42, полученной при дробеструйной обработке. Достаточно высокие результаты получаются при предварительном нагрева вала до $T = 390-440$ К и лезвийной подготовке поверхности. Минимальная пористость покрытий 5,3-5,6 % достигалась при напылении композиции №2 при дистанции напыления 180-200 мм.

Была определена предельная контактная нагрузка в сопряжении «напыленная шейка прессового вала – втулка подшипника». Она составила 14,7 МПа (для 4-тонного вала), что в несколько раз ниже достигаемой прочности сцепления, а соответственно, и когезионной прочности покрытий, в результате чего можно прогнозировать длительную работу сопряжения «напыленная шейка прессового вала – втулка подшипника» без отслоений и выкрашивания покрытий.

УДК 621.793.7

Сокоров И.О., Спиридонов Н.В., Володько А.С.

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ГАЗОТЕРМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ШЕЕК ПРЕССОВЫХ ВАЛОВ БУМАГОДЕЛАТЕЛЬНЫХ МАШИН

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

При изнашивании взаимодействие поверхностей может быть механическим и молекулярным. Механическое взаимодействие выражается во взаимном

внедрении и зацеплении неровностей поверхностей в совокупности с их соударением в случае скольжения грубых поверхностей. Молекулярное взаимодействие проявляется в виде адгезии и схватывания. Разрушение поверхностей трения происходит в виде отдельных элементарных процессов, сочетание которых зависит от материалов и условий трения [1].

В контактирующих слоях в процессе испытаний на износ деформационные процессы происходят закономерно. 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 [2,4]. 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 характеризуется наличием крупных частиц упрочняющих фаз, выступающих в процессе изнашивания 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 [3]. 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 задир.

Состав композиционных покрытий, нанесенных газопламенным напылением на шейки прессовых валов бумагоделательных машин, приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Состав композиционных покрытий

№№ композиций	Состав в объемах			
	ПГ-С27	ПГ-19М-01	ПТ-НА-01	ПТ-19Н-01
1	2	-	1,5	1
2	1	1	1	1
3	2	1	1	1
4	-	3	1	1

Исследование износостойкости композиционных материалов проводили в диапазоне скоростей скольжения V , м/с = 0,5...3,5 и давлении P , МПа = 1...4.

Результаты проведенных исследований и измерений приведены на рисунке 1 и 2 и таблицах 2 и 3.

Сравнение величин износа, приведенных на рисунках 1 и 2, показывает, что введение в наносимый газопламенным напылением композиционный сплав добавок Al, Cu, Ni, Cr приводит к значительному повышению износостойкости покрытий. 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 и боридных фаз и их последующее выкрашивание.

Таблица 2. Величина износа композиционных покрытий в зависимости от давления в месте контакта

№№ компози-ции	Величина износа U, мкм					
	Давление в месте контакта P, МПа					
	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0
Сталь	37,13	36,64	39,52	41,38	43,85	50,61
1	11,06	11,98	13,08	14,85	16,79	21,69
2	22,75	23,7	24,96	26,52	28,41	31,10
3	14,76	15,41	16,68	18,56	21,02	27,78
4	26,76	27,48	28,58	30,06	31,92	36,78

Таблица 3. Величина износа композиционных покрытий в зависимости от скорости скольжения

№№ компози-ции	Величина износа U, мкм						
	Скорость скольжения, м/с						
	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5
Сталь	37,07	38,22	39,36	40,50	41,65	42,8	43,9
1	12,69	13,41	14,13	14,85	15,57	16,29	17,01
2	25,73	25,58	25,92	26,77	28,12	29,96	32,31
3	16,22	16,72	17,49	18,53	19,82	21,38	23,21
4	29,58	30,36	31,27	32,35	33,61	35,02	36,59

U, мкм

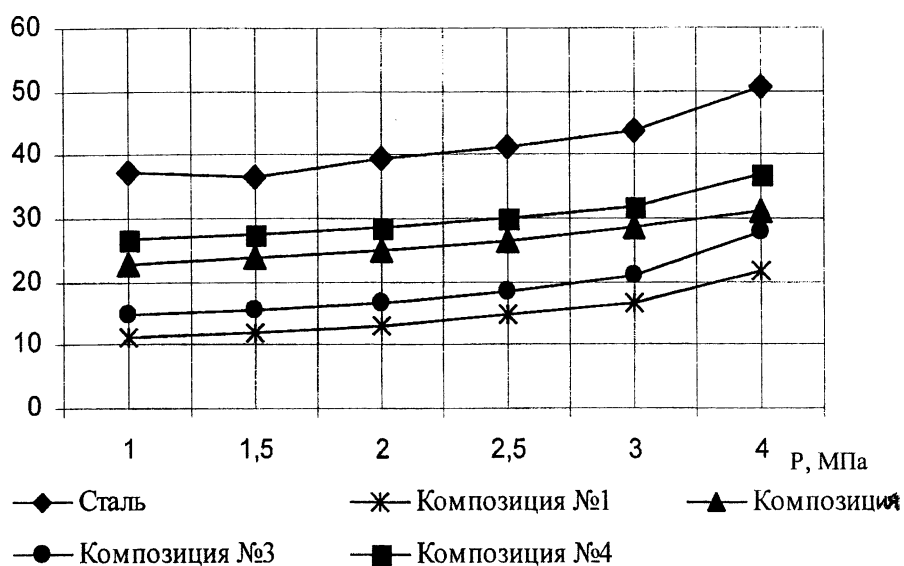


Рис. 1. Зависимость износа покрытий из композиционных материалов от давления контакта

U, мкм

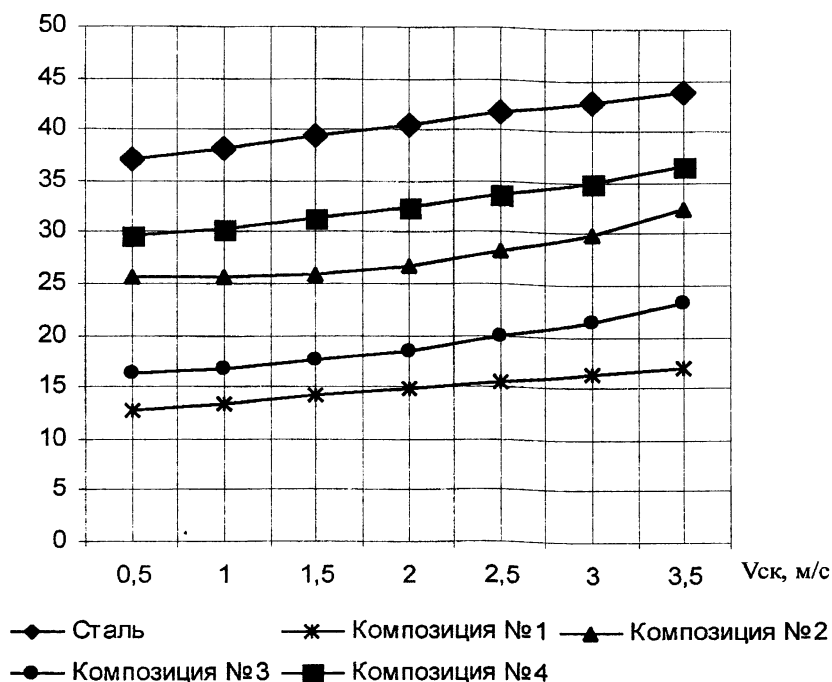


Рис.2. Зависимость износа покрытий из композиционных материалов от скорости скольжения

Как видно из рисунков, скорость износа композиционных покрытий с увеличением относительной скорости скольжения и давлений в месте контакта плавно увеличивается. Плавное увеличение износа упрочненных поверхностей свидетельствует об отсутствии схватывания.

Износ композиций значительно меньше, чем износ стали 45, и это объясняется наличием в составе покрытия хрома, никеля, углерода, бора, которые способствуют образованию твердых включений в железном каркасе, что увеличивает их сопротивление износу.

Аналогичные зависимости износа наблюдаются и с изменением давлений в месте контакта. Меньшей стойкостью против износа обладают сплавы, содержащие только медь и порошок ПТ-НА-01, т.к. добавка этих компонентов уменьшает количество твердых включений в никелевую матрицу, что снижает сопротивление износу.

Однако, как показывают результаты измерений, износ напыленных композиций №1-4 значительно меньше, чем износ стали 45, закаленной до твердости 40...43 HRC₃, в широком диапазоне относительных скоростей скольжения и давления в месте контакта. Такие свойства напыленных покрытий можно объяснить, как физико-механическими и физико-химическими свойствами этих покрытий. Износ напыленных газопламенным напылением композиционных материалов на железной основе в 1,36...2,5 раза меньше, чем у материала из стали 45, закаленной до твердости 40...43 HRC₃.

Характер изменения коэффициента трения для всех испытываемых композиций плавно увеличивается с увеличением относительной скорости скольжения и давлений в месте контакта. Причем интенсивность увеличения коэффициента трения с повышением давления в месте контакта больше, чем с увеличением относительной скорости скольжения. Это увеличение коэффициента трения сопровождается ростом температуры в зоне трения, что приводит к переходу металла в состояние термической пластичности.

Наименьший коэффициент трения из испытываемых композиций имеют покрытия из композиций №№ 4 и 2, что, видимо, также определяется особенностью их структуры и наличием на поверхности трения небольшого количества микроскопических каналов, что приводит к деконцентрации напряжений в поверхностях слоя покрытия.

Из приведенных данных видно, что для всех испытываемых композиций в широком диапазоне относительных скоростей скольжения и давлений в месте контакта коэффициент трения составляет от 0,06 до 0,12, что говорит о хороших антифрикционных параметрах этих покрытий.

Величина износа композиционных покрытий, содержащих компоненты из порошковых материалов ПГ-С27, ПТ-НА-01, ПТ-19Н-01, ПГ-19М-01 в 1,25...2,5 раза ниже, чем износ стали 45, закаленной до твердости HRC₃ 40...43.

Износ композиций с увеличением относительных скоростей скольжения и давлений в месте контакта носит плавный характер, что свидетельствует о том, что износ происходит без задигов и схватывания поверхностей.

Коэффициент трения у композиционных покрытий сравнительно низок и в диапазоне относительных скоростей скольжения 0,5...3,5 м/с, он составил 0,061...0,121. Причем с увеличением относительной скорости скольжения и давлений в месте контакта коэффициент трения монотонно возрастал без каких-либо скачков, что указывает на отсутствие схватывания.

Высокое сопротивление износу и низкий коэффициент трения композиционных материалов определяются особенностями структуры этих покрытий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Крагельский И.В. Трение и износ. – М.: Машиностроение, 1968. – 480 с.
2. Газотермические покрытия из порошковых материалов: Справочник /Ю.С.Борисов, Ю.А.Харламов, С.Л.Сидоренко, Е.М.Ардаговская. – Киев: Наукова думка, 1987.– 544 с.
3. Кудинов В.В., Бобров Г.В. Нанесение покрытий напылением. Теория, технология и оборудование. – М.: Металлургия, 1992. – 432 с.
4. Ивашко В.С., Куприянов И.Л., Шевцов А.И. Электротермическая технология нанесения покрытий. – Мн.: Беларуская навука, 1996. – 545 с.