

Таблица 1 – Концентрация химических элементов на поверхностях цапаины (спектры 1–6) и неповрежденной части пленочного покрытия (спектры 7-8)

№ спектра	C	Na	O	Mg	Al	Si	Fe
Спектр 1	4,49	0	2,51	0,00	0,00	0,00	93,00
Спектр 2	3,74	0	3,34	0,36	0,00	0,00	92,56
Спектр 3	4,66	0	2,61	0,00	0,00	0,00	92,73
Спектр 4	3,19	0	3,26	0,44	0,00	0,66	92,45
Спектр 5	4,10	0	3,64	0,00	0,31	0,58	91,38
Спектр 6	3,25	0	2,13	0,00	0,00	0,61	94,01
Спектр 7	5,18	0,3	4,91	0,69	1,38	0,47	87,07
Спектр 8	5,11	0,38	3,89	0,57	1,70	0,19	88,16

При ширине цапаины 105 мкм и критической нагрузке 0.5 Н адгезионная прочность пленочного покрытия составила 28 МПа. Рис. 1 подтверждает наличие пленочного покрытия на участках 1 обработанной поверхности образца. Здесь же видны следы А, которые образовались при перемещении индентора в процессе разрушения пленочного покрытия на участке 2 поверхности образца.

Выводы:

1. Приведены результаты обработки образцов размером 100x100 мм из сталей 08кп и Ст3 струей рабочей жидкости с применением бентонитовой глины.

2. Проанализирован химический состав и адгезионная прочность защитного пленочного покрытия.

УДК 621.793

### ИССЛЕДОВАНИЕ АДГЕЗИОННОЙ ПРОЧНОСТИ ПОЛИМЕРНЫХ ГАЗОТЕРМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ

Керель А. Д., Ванюк Э. А., Мельник Ю. А.

Белорусский национальный технический университет

e-mail: [eduard.vanyuk@gmail.com](mailto:eduard.vanyuk@gmail.com)

**Summary.** *The paper analyses the results of studies of adhesive strength in the field of polymer coatings and nanocarbon components. As a result of research, it was found that coatings based on ultrahigh molecular weight polyethylene (UHMWPE) have the highest adhesion rates.*

В последние годы во всех сферах промышленности интенсивно разрабатываются технологии создания композиционных материалов и покрытий на основе полимеров. Полимерные покрытия используются для защиты деталей от коррозии и изнашивания, электрической изоляции и герметизации соединений.

Одним из наиболее экономичных и простых методов нанесения полимерных покрытий является газопламенное напыление. Технология газопламенного напыления полимеров позволяет формировать слой в одной операции и может быть реализована на месте эксплуатации защищаемой конструкции [1, 2]. Явление адгезии играет важную роль в формировании газотермических полимерных покрытий на поверхности материала. Прочность сцепления покрытий с напыляемой поверхностью в основном обусловлена различными типами взаимодействий между молекулами или атомами, которые приводят к образованию межмолекулярных и химических связей.

На современном этапе огромный интерес представляют технологии, направленные на повышение прочности сцепления между полимерным покрытием и основой.

В связи с этим, целью исследования является изучение адгезионного взаимодействия газотермических полимерных покрытий с основой.

**Методика исследования.** Для определения адгезии был применен метод решетчатых надрезов. Испытания проводились на 17 образцах и не менее, чем на трех участках каждого образца. На каждом испытуемом участке наносят не менее шести параллельных надрезов до металла длиной не менее 20 мм на расстоянии 1, 2 или 3 мм друг от друга, держа режущий инструмент перпендикулярно поверхности. Аналогично делают надрезы в перпендикулярном направлении. Испытуемый участок покрытия должен быть на расстоянии не менее 10 мм от края и скорость резания должна быть от 20 до 40 мм/с. Должна получиться решетка из квадратов одинакового размера. Расстояние между испытуемыми участками должно быть не менее 20 мм.

После нанесения надрезов поверхность очищают мягкой кистью, проводя в диагональном направлении по пять раз в противоположных направлениях. Адгезию оценивают по четырехбалльной шкале при помощи лупы в соответствии с таблицей 1.

Таблица 1 – Методика оценки адгезии методом решетчатых надрезов

Балл	Описание поверхности лакокрасочного покрытия после нанесения надрезов в виде решетки	Внешний вид покрытия
1	Края надрезов полностью гладкие, нет признаков отслаивания ни в одном квадрате решетки	
2	Незначительное отслаивание покрытия в виде мелких чешуек в местах пересечения линий решетки. Нарушение наблюдается не более, чем на 5 % поверхности решетки	
3	Частичное или полное отслаивание покрытия вдоль линий надрезов решетки или в местах их пересечения. Нарушение наблюдается не менее, чем на 5 % и не более, чем на 35 % поверхности решетки	
4	Полное отслаивание покрытия или частичное, превышающее 35 % поверхности решетки.	

Для исследования адгезии газотермических полимерных покрытий были выбраны материалы, представленные в таблице 2.

Таблица 2 – Составы порошковых материалов, выбранных для исследований

№ образца	Составы порошковых материалов	№ образца	Составы порошковых материалов	Расшифровка
1	«Серый» Femida KP18AX	10	«Черный» МАВ+5 %Нано	Производитель – Белорусско-Иранское предприятие «Бел-ПекаПейнт»

Продолжение Таблицы 2

№ образца	Составы порошковых материалов	№ образца	Составы порошковых материалов	Расшифровка
2	«Красный» МАВ	11	СВМПЭ+20 %Al	Вид полимера: «СВМПЭ» – сверхвысокомолекулярный полиэтилен «Нано» – наноуглерод
3	«Черный» МАВ	12	«Серый» Femida +20 %Al	
4	СВМПЭ	13	СВМПЭ+20 %Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
5	СВМПЭ+10 %Серый	14	СВМПЭ+10 % «Зеленый» МАВ	
6	СВМПЭ+10 %Красн	15	«Серый» МАВ	
7	СВМПЭ+10 %Черный	15а	«Серый» МАВ	
8	СВМПЭ+10 %Нано	16	«Зеленый» МАВ	
9	СВМПЭ+5 %Нано	–	–	

Выбраны оптимальные параметры газопламенного напыления: дистанция напыления – 270 мм, расход пропан-бутана – 1,0 м<sup>3</sup>/ч, расход кислорода – 1,0 м<sup>3</sup>/ч, расход воздуха – 0,3 м<sup>3</sup>/ч, расход порошка – 6–7 кг/ч.



Рисунок 1 – Результаты испытаний на адгезию

Результаты испытаний на адгезию представлены в виде диаграммы на рис. 1.

**Заключение.** Определение адгезии на графике производилось путем присвоения баллов согласно таблице 1 – чем ниже балл, тем выше адгезия. Было установлено, что наивысшим показателем адгезии характеризуются образцы под № 5, 6, 7, 8, 9, 11, 12, 13 и 14, основой которых был выбран сверхвысокомолекулярный полиэтилен (СВМПЭ). Результаты исследований могут быть применимы: для деталей с полимерными покрытиями работающих в узлах трения, для внутренних поверхностей водоперкачивающих насосов и др. деталей.

#### Список использованных источников

1. Теория и практика газопламенного напыления / П. А. Витязь [и др.]. – Минск: Наука і тэхніка, 1993. – 295 с.
2. Витязь, П. А. Упрочнение газотермических покрытий / П. А. Витязь, Р. О. Азизов, М. А. Белоцерковский. – Минск: Бестпринт, 2004. – 192 с.