

## СТРУКТУРА И СВОЙСТВА МЕТАЛЛИЗИРОВАННЫХ УГЛЕРОДНЫХ ЛЕНТ

### MICROSTRUCTURE AND PROPERTIES FIBER COVER METALL

В.А. Нелюб<sup>1</sup>, Б.Л. Горберг<sup>2</sup>  
V.A. Neluyb<sup>1</sup>, B.L. Gorberg<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана,

<sup>2</sup>Ивановский государственный химико-технологический университет

<sup>1</sup>Moscow State Technical University named after Bauman

<sup>2</sup>Ivanovo State University of Chemistry and Technology

E-mail: admin@emtc.ru, gorberg@isuct.ru

Приведены результаты оценки качества металлических покрытий, нанесенных на углеродную ленту ЛУП методом магнетронного распыления. Рассмотрены шесть типов металлических покрытий: нержавеющая сталь 12X18H10T, титан BT1-0, алюминиевый сплав АМцМ, медь М1, цинк марки Ц2 и серебро 99,99. Проведен структурный и элементный анализ нанесенных покрытий и оценены значения равновесных краевых углов смачивания. Влияние качества покрытия на смачивание эпоксидной смолы оценивалось на пластинах из кремния на которые наносили металлические покрытия по той же технологии, что и на углеродную ленту.

Ключевые слова: углеродная лента; элементарная нить; металлические покрытия; шероховатость.

The results of the evaluation of the quality of metal coatings deposited on the carbon tape of the LUP by the method of magnetron sputtering are presented. Six types of metal coatings are considered: stainless steel 12X18H10T, titanium BT1-0, aluminum alloy АМцМ, copper M1, zinc of mark Ц2 and silver 99,99. Structural and elemental analysis of the deposited coatings was carried out and the values of the equilibrium wetting contact angles were estimated. The effect of coating quality on the wetting of epoxy resin was evaluated on silicon wafers on which metal coatings were applied using the same technology as for carbon tape.

Key words: carbon tape; elementary thread; metal coatings; roughness

Области применения углепластиков с каждым годом расширяются, что связано с уникальным комплексом их свойств [1-3]. При нанесении на поверхность углеродных лент и тканей различных типов покрытий, можно обеспечить получение углепластиков с новыми функциональными свойствами [4]. Например, авторы работы [5] установили, что углеродные ленты, с нанесенным на них покрытием из нержавеющей стали, эффективно применять в условиях отрицательных температур в качестве армирующих материалов при изготовлении ремонтных бандажей.

Наибольшее распространение при нанесении металлических покрытий на ткани получили технологии напыления. Суть технологии напыления состоит в том, что напыляемый металл первоначально переводят в газообразное или жидкое состояние, а потом переносят его на поверхность ткани, где он превращается в твердый материал, образуя металлическое покрытие. Основной целью металлизации является изменение микроструктуры и физико-химических свойств поверхности углеродных лент и тканей, что позволяет регулировать их реакционную способность, теплофизические свойства, биосовместимость и др. Основными методами напыления являются: вакуумное, плазменное и газоплазменное. В настоящей работе для напыления использована лабораторная установка МИР-2 [4].

Целью работы является оценка качества металлического покрытия, нанесенного на углеродную ленту

Качество металлического покрытия оценивали с помощью атомно-силового микроскопа, путем исследования поверхности единичного филамента с нанесенным

покрытием. Оценку качества также проводили путем определения значений краевых углов смачивания при использовании эпоксидного связующего

Металлические покрытия наносили на отечественную однонаправленную углеродную ленту ЛУП с использованием лабораторной установки магнетронного распыления МИР-2. Особенностью данной углеродной ленты является отсутствие на ее поверхности аппрета, что сокращало трудоемкость технологического процесса, поскольку исключалась операция по удалению аппрета с поверхности углеродной ленты. Свойства углеродной ленты ЛУП и используемой смолы приведены в табл. 1.

Таблица 1

Свойства используемых материалов

Углеродная лента		Эпоксидная смола	
Характеристики	Показатели	Характеристики	Показатели
Марка	ЛУП	Марка	ЭД-20
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	1800	Молекулярная масса	390
Модуль упругости, ГПа	260	Динамическая вязкость, Па·с	18,4
Предел прочности при растяжении, МПа	2500	Содержание гидроксильных групп, не более, %	1,7

Качество сцепления металлического покрытия с углеродной ленты оценивали скотч-тестом ASTM D 3359. Такая оценка не является точной, однако для ее проведения не требуются существенные временные затраты и она позволяет определять технологические режимы предварительной обработки углеродной ленты перед нанесением на нее металлических покрытий, обеспечивающие наибольшее значение адгезионной прочности. Если площадь удаленного покрытия превышала 10% от общей площади, то такая технология признавалась не удовлетворительной. В результате проведенных исследований установлено, что металлические покрытия имеют очень низкую адгезию к поверхности углеродной ленты. Для повышения адгезии использовали установку плазменной активации УПИМ-500. Нанесение металлических покрытий проводили непосредственно сразу же после активации поверхности углеродной ленты на лабораторной установке магнетронного распыления МИР-2. Для проведения напыления использовали мишени из соответствующих металлов, размером 130x10 мм. Объем вакуумной камеры составлял 0,7 м<sup>3</sup>. Образцы углеродной ленты, размером 210x290 мм, помещались в вакуумную камеру на вращающийся горизонтальный столик. Рабочее давление в камере изменяли в диапазоне (1-2)·10<sup>-3</sup>.

В качестве мишеней применяли: нержавеющую сталь марки 12Х18Н10Т, титан ВТ1-0, алюминиевый сплав АМцМ, медь марки М1, цинк марки Ц2 и серебро 99,99 (табл. 2).

Таблица 2

Химический состав металлических покрытий

Содержание химических элементов, %									
Медь марки М1									
Cu+Ag	Fe	Ni	S	As	Pb	Zn	O	Sb	Bi
99,9	0,005	0,002	0,004	0,002	0,005	0,004	0,05	0,002	0,001
Цинк марки Ц2, ГОСТ 3540-94									
Zn	Fe	Cu	As	Pb	Sn				
98,7	0,05	0,005	0,01	1	0,002				

Титан марки BT1-0, ГОСТ 19807-91							
Ti	Fe	C	Si	Ni			
99,7	0,25	0,07	0,1	0,04			
Нержавеющая сталь марки 12X18H10T							
Fe	C	S	Si	Ni	P	Cr	Ti
67	0,12	0,02	0,8	11	0,035	19	1
Серебро марки 99,99							
Ag	Zn	Fe	Sb	Bi	Cu		
99,99	0,003	0,004	0,001	0,002	0,008		
Алюминиевый сплав марки АМц, ГОСТ 4784-97							
Al	Fe	Si	Mn	Cu	Zn		
99	0,7	0,6	1,5	0,2	0,1		

Качество покрытия оценивали непосредственно на элементарной нити с помощью атомно-силового микроскопа марки SOLVERHV. Также качество покрытия определяли на пластине из полированного кремния, размером 20x20 с использованием атомно-силового микроскопа марки SOLVER 47PRO. На кремниевую пластинку первоначально наносили полоску фоторезистора шириной 1 мм, затем на нее напыляли металлическое покрытие по той же технологии, что и на углеродную ленту, далее фоторезистор удаляли путем его растворения. Образовавшаяся после удаления фоторезистора ступенька на границе металл-кремний позволяла с точностью до 10 нм оценить толщину покрытия.

Для оценки значений краевых углов смачивания использовали пластику из кремния, на которую наносили все типы используемых металлических покрытий на тех же режимах напыления, которые использовались для углеродной ленты. Для оценки кинетики растекания связующего применяли не эпоксидное связующее, а только один из его компонентов (эпоксидную смолу марки ЭД-20). Такой выбор был связан с тем, что вязкость смолы много больше, чем вязкость связующего, что приводит к большим значениям краевых углов, что повышало точность их определения. Оценку значений краевых углов проводили путем фотосъемки капли смолы на поверхности. Такой метод не является точным, однако он позволяет провести сравнительную оценку различных типов покрытий.

Качество углеродной ленты с нанесенным покрытием оценивали по величине прочности углепластика при межслоевом сдвиге методом короткой балки по ASTM D 2344.

В качестве связующего при изготовлении углепластиков использовался состав из эпокси-диановой смолы ЭД-20, изометилтетрагидрофталевого ангидрида в качестве отвердителя в количестве 80 мас.ч. на 100 мас. ч. смолы и диэтиленгликола – в качестве активного разбавителя в количестве 5 мас.ч. Формование образцов углепластиков проводили по технологии вакуумной инфузии [6, 7].

Методами атомно-силовой микроскопии изучено строение элементарных нитей, из которых изготовлена углеродная лента ЛУП до и после ее металлизации. Полученные результаты приведены в табл.3. Однородность нанесенного покрытия оценивали не только по высоте профиля, но и качественно, по 5-ти бальной шкале: 5 – однородное покрытие, без дефектов; 4 – незначительные дефекты, площадь которых не превышает 5%; 3 – существенные дефекты, приводящие к растрескиванию покрытия, в результате чего оно становилось похоже на черепицу 2 – наличие протяженных зон без покрытия; 1 – отсутствие покрытия на большей части поверхности элементарной нити.

Таблица 3

Значения шероховатости элементарных нитей после нанесения металлических покрытий

Тип металлического покрытия	Качественная оценка однородности покрытия	Высота микронеровностей профиля с учетом покрытия, нм		Величина краевого угла смачивания, °
		Максимальная	Минимальная	
Без покрытия	–	–	–	56
Нержавеющая сталь	4	76	22	42
Титан	4	83	45	52
Цинк	3	55	20	48
Медь	3	85	25	48
Серебро	5	350	150	44
Алюминий	4	45	30	51

В результате проведенных исследований установлено, что шероховатость металлического покрытия не оказывает существенного влияния на его качество. Все покрытия, за исключением серебра, имеют неоднородную структуру сложного рельефа и состоят из двух областей: одна область представляет собой множество гранул разного размера, вторая – гладкая. Размеры гранул изменяются в диапазоне от 20 до 200 нм. В процессе оценки шероховатости имело место сильное взаимодействие между зондом атомно-силового микроскопа SOLVERHV и поверхностью элементарной нити, что приводило к большим погрешностям в процессе исследований. Образование на поверхности элементарных углеродных нитей гранул, вероятно, связано не с особенностями напыляемых металлов, а со структурой элементарной нити. Известно [8], что она состоит из аморфной и кристаллической частей. Мы предполагаем, что адгезия на кристаллических участках поверхности углеродного волокна (элементарной нити) будет лучше на аморфной части, однако на кристаллических участках покрытие наносится более ровным слоем.

Толщина металлического покрытия, определенная с помощью атомно-силового микроскопа непосредственно на пластине из кремния, изменялась в диапазоне от 30 до 80 нм. Наибольшая толщина покрытий была зафиксирована при нанесении нержавеющей стали (32 нм), наименьшая при нанесении титана (87 нм).

Значения краевых углов смачивания для различных типов покрытий изменялись в пределах от 42 до 52 °, наименьшие для покрытия из нержавеющей стали, наибольшие – для покрытия из титана.

Испытание на межслоевой сдвиг углепластиков проводили на универсальной испытательной машине марки Zwick/Roell. В результате проведенных исследований установлено, что величина прочности при межслоевом сдвиге изменяется в пределах от 45 до 65 МПа. Наибольшие значения прочности получены при использовании углеродной ленты с покрытием из нержавеющей стали, наименьшие – при использовании покрытия из цинка и алюминия.

В результате проведенных исследований установлено, что металлические покрытия, нанесенные на углеродную ленту ЛУП, позволяют повышать величину прочности углепластиков при межслоевом сдвиге на 30%. Значение краевых углов смачивания при использовании покрытия из нержавеющей стали практически на 20% ниже, чем для покрытия из титана.

Оценить качество металлического покрытия, нанесенного на углеродную ленту ЛУП и его толщину непосредственно на элементарной нити с помощью атомно-силового микроскопа марки SOLVERHV не удалось. Применение атомно-силового микроскопа марки SOLVER 47PRO позволили оценить толщину металлического покрытия, величина которого составила около 30 нм для покрытия из титана и около 90 нм для покрытия из нержавеющей стали.

Результаты настоящей работы получены в рамках проекта по теме «Научные исследования по разработке композиционных материалов со структурой управляемого хаоса и их применение в высокотехнологичном производстве» по заданию № 11.7291.2017/БЧ.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Баурова Н.И., Зорин В.А. Применение полимерных композиционных материалов при производстве и ремонте машин / Учебное пособие. М. МАДИ, 216. – 264 с.
2. Баурова Н.И., Зорин В.А. Технологическая наследственность при производстве деталей машин из полимерных композиционных материалов: монография. – М.: МАДИ. – 2018. – 220 с.
3. Baurova N.I., Zorin V.A., Prikhodko V.M. Description of the process of degradation of material properties using the apparatus of catastrophe theory // Polymer Science – Series d, 2015, 8(2), pp.92-95.
4. Горберг Б.Л., Иванов А.А., Мамонтов О.В., Стегнин В.А., Титов В.А. Модифицирование текстильных материалов нанесением нанопокровов методом магнетронного ионно-плазменного распыления // Российский химический журнал, 2011, Т.LV, №3, С.7-13.
5. Нелюб В.А., Коноплин А.Ю. Материалы и технологии, эффективные в условиях Арктики при проведении ремонтных работ // Клеи. Герметики. Технологии. 2-18. №6. С. 6-10.
6. Буянов И.А., Вдовин Д.С. Разработка метода проектирования и технологии прошивки преформ для изготовления углепластиков // Клеи. Герметики. Технологии. 2016. - №10. – С.25-28.
7. Малышева Г.В., Гусев С.А. Исследование влияния сетевого угла тканей на кинетику процесса пропитывания при формовании изделий из углепластиков // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2016. №5. С.2-6.
8. Нелюб В.А. Оценка адгезионного взаимодействия между углеродным волокном и эпоксидным связующим //Клеи. Герметики. Технологии. 2014. №7. С.20-22.

УДК 677.074.1

### ТКАНЬ ДЛЯ ФИЛЬТРАЦИИ ВОЗДУШНЫХ И ГАЗООБРАЗНЫХ СИСТЕМ

#### FILTERING FABRIC FOR AIR AND GAS SYSTEMS

М.П. Михайлова, В.С. Колтунчиков, Б.П. Макаров  
M.P. Mihailova, V.S. Koltunchikov, B.P. Makarov

ОАО ИНПЦ ТЛП ( Москва),  
ООО «Термиз» (г. Мытищи)

Innovation Centre of Science and Production of Textile and Light Industry (ICSP TLI)  
LLC Research and production firm heat-Resistant products (Mytischki)  
E-mail : mikhailowachem@mail.ru, koltunchikov.vs@mail.ru, termiz@mail.ru

**В сообщении представлены результаты анализа производства фильтровальных технических тканей в России. Созданы ткани названного ассортимента с регулируемой воздухопроницаемостью и сохранением основных механических свойств.**

**Ключевые слова:** ткань, фильтрация, воздухопроницаемость.

**This article informs about analysis of feltings technicals fabrics production in Russia. Regulative air permeability in technical fabrics is described.**

**Keywords:** fabric, filtration, air permeability

Технические фильтровальные ткани применяются для разделения газообразных, жидких и твердых систем.