

Введение Плазменное напыление - один из эффективных электрофизических методов целенаправленного получения тонкого поверхностного слоя напыляемого материала различного функционального назначения на поверхности другого материала, а также «залечивания» поверхностных дефектов. Этот метод широко используется в самых различных отраслях промышленности - от авиа- и космической отрасли до радио-, приборостроения и медицины [1-4]. Напылением с помощью плазмы получают износостойкие, жаростойкие антифрикционные, коррозионностойкие и др. покрытия. Сущность метода плазменного напыления заключается в создании направленного потока нагретых с помощью высокотемпературной плазмы частиц порошкового материала на модифицируемую поверхность. Для получения напыляемого слоя применяется разнообразный ассортимент порошковых материалов (металлы, сплавы, тугоплавкие соединения, оксиды и др). В последнее время в качестве напыляемого покрытия широко используются полимерные материалы (фторпласты, полиэтилен, полиуретан, поликарбонат и т.п.) [5-7] Например, в МГТУ им Н.И.Баумана разработана технология плазменного напыления порошка из сверхмодульного полиэтилена [5]. Получаемое покрытие отличается высокой коррозионной стойкостью по сравнению с покрытиями на основе традиционных технологий защиты поверхности. Плазменное напыление может осуществляться при атмосферном давлении и в вакууме. Изменяя параметры электрического разряда, вид плазмообразующего газа и продолжительность процесса, можно управлять характером воздействия низкотемпературной плазмы на поверхность обрабатываемого материала. Вакуумная плазменная технология обеспечивает минимальную возможность нагрева поверхности недостаточно термостойких полимерных материалов, выступающих в качестве подложки, и превосходит по физико-механическим свойствам покрытия на основе других технологических процессов. Нанесение полимерных покрытий с помощью вакуумного плазменного метода является на сегодняшний день актуальной задачей. Для управления качеством напыляемого покрытия в технологических процессах требуется оптимизировать газоразрядную среду, технологические параметры плазменной установки, режим нанесения покрытия, дисперсность частиц и их расход. Прочность сцепления получаемого покрытия с подложкой (адгезия и когезия) зависит от химической природы порошка и основы и обуславливается действием ряда сил: механического сцепления, ковалентных и химических связей [8]. Цель исследования заключалась в изучении морфологической структуры поверхности хирургической полипропиленовой монопнити после ее модификации в низкотемпературной плазме. В работе решались следующие задачи: - выявление закономерности получения полимерного покрытия в зависимости от режимов плазменной обработки и дистанции напыления; - исследование морфологии поверхности монопнити при плазменном напылении полимерной пленки из твердой фазы. Объекты и методы исследования В

качестве объекта исследования рассмотрена полипропиленовая (ПП) не рассасывающаяся хирургическая мононить, полученная КНИТУ в рамках научно-исследовательской работы и соответствующая ГОСТ Р 53005 - 2008.

Полипропиленовая моноволоконная нить является одним из перспективных хирургических материалов и рекомендуется к широкому применению в клинике для определенного вида хирургического вмешательства благодаря высокой инертности и прочности [9]. Однако в зависимости от производителей наблюдаются морфологические особенности поверхности мононитей - не исключается возможность «пилящего» воздействия при проведении их через ткань [10]. В качестве наносимого порошкового покрытия использовался порошок поливиниленфторида (ПВДФ). ПВДФ - линейный, гибкоцепной аморфно-кристаллический полимер с молекулярным весом более 100.000 и морфологически разнообразной структурой. Полимер характеризуется физиологической инертностью, низким коэффициентом трения, ползучестью и высоким сопротивлением износу. В качестве визуального метода исследования поверхности полипропиленовых мононитей и их рельефа выбран микроскопический метод [11-13] - метод конфокальной лазерной сканирующей микроскопии (ЛСМ) на микроскопе модели OLS 4100 LEXT фирмы Olympus (Япония). Эта модель соответствует жестким требованиям к точности измерений профилей поверхности и идеально подходит для трехмерных наблюдений [12]. Высокая точность трехмерных измерений достигается в режиме реального времени. Результаты исследований, полученные с помощью ЛСМ, представляют собой профиль поверхности ПП нитей. Обработка микропрофилей состояла в анализе стандартных среднестатистических параметров шероховатости поверхности, а именно: - R_z шероховатости поверхности по выбранным максимальным высотам и впадинам - R_a - средней арифметической шероховатости. Плазменное напыление ПВДФ из газовой фазы на поверхность полипропиленовых мононитей исследовалось на высокочастотной плазменной установке [13] при различной длительности обработки ($t = 180$ с, $t = 600$ с), при различной мощности разряда ($W = 1,17$ кВт, $W = 3,5$ кВт) и на различной дистанции полимерного порошка от субстрата ($L = 0$ мм, $L = 15$ мм, $L = 50$ мм, $L = 100$ мм, $L = 150$ мм). Результаты и их обсуждение На рис. 1 представлены микрофотографии образцов модифицированных ПВДФ не рассасывающихся хирургических мононитей в среде аргона при различной продолжительности процесса обработки ($t = 180$ с и $t = 600$ с) на расстоянии $L = 0$ от напыляемого порошка. Полученные результаты свидетельствуют о возникновении на поверхности локальных участков формирования адсорбционной пленки на активных центрах поверхности. при этом наблюдается механизм послойного роста осаждаемой пленки с увеличением продолжительности модификации. При увеличении продолжительности процесса до 600с напыляемая пленка, практически, полностью покрывает

поверхность мононити. Активные центры, на которых происходит осаждения ПВДФ, вероятно, образуются в результате разрыва связей С-С и С-Н на поверхности полипропиленовой мононити. Воздействие плазмы на ПВДФ также приводит к разрыву связей, образованию активных частиц и радикалов. Возникающие радикалы формируют достаточно прочные адгезионные связи. Влияние мощности плазменного разряда на характер наносимого субстрата на поверхность хирургической мононити при продолжительности процесса 600с в среде аргона и $L=0$ приведено на рисунке 2. Приведенные микрофотографии указывают на значительные изменения на поверхности с увеличением мощности разряда.

а б Рис. 1 - Микрофотографии модифицированных ПВДФ в НТП плазме поверхностей ПП мононитей при различной продолжительности процесса (а - $t=180$ с; б - $t=600$ с, $W=3,5$ кВт, $L=0$) В работе также изучено влияние дистанции напыления при постоянных параметрах модификации ($W = 3,5$ кВт) и продолжительности процесса ($t = 180$ с и $t = 600$ с) в среде аргона.

а б Рис. 2 - Микрофотографии модифицированных ПВДФ в НТП плазме поверхностей ПП мононитей при различной мощности разряда (а - $W=1,17$ кВт; б - $W=3,5$ кВт, $L=0$, $t=600$ с) В таблице 1 приведены результаты исследований шероховатости поверхности модифицированной мононити при продолжительности процесса 180с и 600с. Приведенные данные указывают на зависимость значения шероховатости поверхности от дистанции напыления: с увеличением расстояния мононити от ПВДФ. Шероховатость (R_a) при длительности напыления 180 с на дистанции $L=150$ мм, практически, соответствует значению шероховатости нити в исходном состоянии. При длительности напыления 600 с на расстоянии $L=100$ мм значение шероховатости (R_a) уменьшается по сравнению с исходным значением на величину 0,003 мкм.

Таблица 1 - Значения шероховатости модифицированной поверхности ПП мононити при различном расстоянии от субстрата в среде аргона и различной продолжительности процесса ($W=3,5$ кВт)

Расстояние от субстрата, L, мм	Продолжительность, t, с	Параметры шероховатости R_z , мкм	R_a , мкм
Исходная нить	0	0,232	0,056
	15	0,628	0,140
	50	0,246	0,064
	100	0,293	0,068
180	0	0,234	0,069
	15	0,246	0,057
	50	0,454	0,103
	100	0,262	0,058
600	0	0,256	0,059
	15	0,249	0,053
	50	0,248	0,063
	100		

Значения шероховатости ПП мононити в зависимости от мощности газового разряда и расстояния от субстрата при длительности напыления 600 с приведены в таблице 2. Из приведенных данных следует, что при мощности разряда $W=1,18$ кВт значение R_a не уменьшается на всех исследуемых дистанциях напыления. При мощности разряда $W=3,5$ кВт на дистанции $L=100$ мм значение R_a снижается на 0,007 мкм.

Таблица 2 - Значения шероховатости поверхности ПП мононити при плазменном напылении пленки ПВДФ в зависимости от напряжения на аноде и расстояния от субстрата ($t=600$ с)

Мощность разряда, W, кВт	Расстояние от субстрата, L, мм	Параметры шероховатости R_z , мкм	R_a , мкм
1,17	0	0,232	0,056
	15	0,248	0,059
	50	0,256	0,066
	100	0,252	0,064

0,243 0,058 150 0,237 0,057 3,50 0 0,454 0,103 15 0,262 0,058 50 0,256 0,058 100

0,249 0,053 150 0,248 0,063 Таким образом, полученные экспериментальные данные позволяют констатировать, что при бомбардировке поверхности частицами ПВДФ на субстрате образуется напыленное пленочное покрытие.

Профиль осажденного порошка на ПП монокристаллы зависит от режимов плазменного воздействия, дистанции напыления и длительности процесса.

Механизм формирования пленки на поверхности монокристаллы, а следовательно и значения получаемых шероховатостей, можно объяснить, с нашей точки зрения, последовательностью стадий локального и послойного роста пленки в низкотемпературной плазме.