

И. Ш. Абдуллин, Р. Г. Ибрагимов, В. В. Парошин

ВЛИЯНИЕ ВЧЕ-ПЛАЗМЕННОЙ ОБРАБОТКИ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТЕКЛОВОЛОКНА

Ключевые слова: модификация, стекловолокно, плазма, гидрофильность, гидрофобность, гигроскопичность.

Установлено, что после обработки в высокочастотной емкостной плазме пониженного давления стекловолокно увеличивает показатели физико-механических свойств. Предложен метод изготовления стекловолокна с применением плазменной обработки.

Keywords: modification, fiberglass, plasma, hydrophilicity, hydrophobicity, hygroscopicity.

Found that after processing in the high-capacitance low-pressure plasma increases fiberglass physic-mechanical properties. We propose a method for the manufacture of fiberglass using plasma treatment.

Введение

Стекловолокно - волокно или комплексная нить, формируемые из стекла. В такой форме стекло демонстрирует необычные для стекла свойства: не бьётся и не ломается, а вместо этого легко гнётся без разрушения.

Непрерывное стекловолокно применяются главным образом для изготовления текстильных материалов и изделий (нитей, лент, тканей и нетканых материалов) в различных отраслях техники.

Штапельное стекловолокно в процессе его получения формируется в виде ваты, матов и холстов, скрепляемых органическим связующим. Эти материалы используются для тепло-, звуко- и электроизоляции, для антикоррозионной защиты, фильтрации химически агрессивных высокотемпературных сред.

Из него изготавливают материалы с отличными –электро-, -тепло и звукоизоляционными свойствами. Стекловолокно способно пропускать свет, обладает полупроводниковыми свойствами, прозрачно для радиоволн, и поглощает рентгеновские и более короткие лучи.

Из за своих уникальных свойств стекловолокно используется в электротехнической, судостроительной промышленности, в машиностроении, автомобилестроении, в строительстве, медицинской, легкой промышленности и на железнодорожном транспорте.

Все стекловолокно условно можно разделить на два больших класса: дешевые волокна общего применения и дорогостоящие волокна специального применения. Почти 90 % всех стеклянных волокон, которые выпускаются сегодня в мире это стекловолокно марки Е [1]. Подробно требования к таким волокнам изложены, например, в стандарте ASTM D578-98. Остальные 10% процентов – это волокна специального назначения (табл. 1,2).

Большинство марок стекловолокна получили свое название благодаря своим специфическим свойствам:

- Е (electrical) – низкой электрической проводимости;

- S (strength) – высокой прочности;
- С (chemical) – высокой химической стойкости;
- М (modulus) – высокой упругости;
- А (alkali) –высокое содержание щелочных металлов, известково-натриевое стекло;
- D (dielectric) – низкая диэлектрическая проницаемость;
- AR (alkali resistant) – высокая щелочестойкость.

Среди множества полезных функций, которыми обладает стекловолокно, можно выделить следующие:

- защита от жары/холода (благодаря способности волокна прочно удерживать воздух, обладающий прекрасными теплоизолирующими свойствами и защищающий от жары летом и от холода зимой);
 - надежная защита от шума (благодаря высоким звукопоглощающим характеристикам изделий из стекловолокна, чему способствует материал, состоящий из волокон, связанных друг с другом, промежутки между которыми полностью заполнены воздухом).
 - его негигроскопичность (способность быстро впитывать и отдавать влагу);
 - упругость материала, позволяющая транспортировать его на значительные расстояния в рулонах, а также его способность быстро приобретать исходные параметры после вскрытия упаковки;
 - экологичность (не выделяют вредных веществ и абсолютно безопасны для здоровья);
 - обработка материалов из стекловолокна специальными составами исключает появление плесени на их поверхности;
 - устойчивость к химическому и биологическому воздействию;
 - высокая прочность при растяжении.
- Однако есть определенные недостатки стекловолокна:
- малое удлинение и как его следствие, хрупкость;
 - нестойкость к истиранию;
 - большая плотность, 2500 кг/м³;

Таблица 1 - Химический состав некоторых стекол для получения непрерывного волокна

Тип волокна	Состав, масс. %												
	SiO ₂	B ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	ZnO	TiO ₂	ZrO ₂	Na ₂ O	K ₂ O	Li ₂ O	Fe ₂ O ₃	F ₂
Е (с бором)	52-56	4-6	12-15	21-23	0,4-4	-	-	0,2-0,5	0-1	0-0,2	-	0,2-0,5	0,2-0,7
Е (без бора)	59-60	-	12-13	22-23	3-4	-	-	0,5-1,5	0,6-0,9	0-0,2	-	0,2	0,1
S	60-65,5	-	23-35	0-9	6-11	-	-	0-1	0-0,1	-	-	0-0,1	-
AR	58,3-60,6	-	0,2	-	-	-	0-2,8	18,1-21,2	13,0-14,1	0-2,8	-	-	-
ECR	58,2	-	11,6	21,7	2	2,9	2,5	-	1	0,2	-	0,1	-
D	72-75	21-24	0-1	0-1	0,5-0,6	-	-	-	0-4	0-4	-	0,3	-
Кварц	99,5-99,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Базальт	47,5-55,0	-	14,0-20,0	7,0-11,0	3,0-8,5	-	0,3-2	-	2,5-7,5	2,5-7,5	-	7,0-13,5	-

Таблица 2 - Физико-механические свойства некоторых марок стеклянного волокна

Свойство	Тип волокна							
	Е (с бором)	Е (без бора)	S	AR	ECR	D	Кварц	Базальт
Температура формования, °С	1160-1196	1260	1565	1260-1300	1213-1235		2300	1350 - 1450
Температура размягчения, °С	830-860	916	1056		880	770		1100 - 1200
Температура плавления, °С	1066-1077	1200	1500	1180 - 1200	1159-1166		1670	1200 - 1300
Плотность, г/см ³	2,54-2,55	2,62	2,48-2,49	2,6-2,7	2,66-2,68	2,16	2,15	2,67
Коэффициент линейного расширения 10 ⁻⁶ С ⁻¹	4,9-6	6	2,9	7,5	5,9	3,1	0,54	-
Диэлектрическая постоянная (20 С, 1 МГц), Ф/м	5,86-6,6	7	4,53-4,6	5,86-6,6	3,56-3,62		3,78	-
Прочность, МПа	3100-3500	3100-3500	4380-4590	3100-3500	3100-3500	2410	3400	2700 - 3500
Модуль упругости, ГПа	76-78	80-81	88-91	72-74	80-81	52	69	70-90
Удлинение до разрыва, %	4,5-4,9	4,6	4,5-4,9	2-2,4	4,5-4,9		5	3

В качестве объектов исследования было выбрано стекловолокно (ГОСТ 6943-94) которое используется в производстве каркаса трубчатого ультрафильтра.

Дренажный каркас ультрафильтра рассматривается как композиционный материал, состоящий из адгезива - клеевой составляющей (эпоксидная смола ЭД-20) и субстрата - стекловолокно.

По сравнению с другими методами обработки поверхности высокочастотная емкостная плазменная технология имеет следующие преимущества [2,3]:

- экологичность, т.к. вредные вещества не используются для обработки и не образуются в виде побочных продуктов;

- обеспечение воспроизводимых результатов благодаря использованию программируемого регулятора процесса;

- автоматизация и интегрируемость в технологические линии;

- щадящее воздействие на композиционные материалы из-за отсутствия значительной температурной нагрузки;

- отсутствие воздействия агрессивных химикатов на обрабатываемые материалы.

Экспериментальные результаты по модификации физико-механических свойств стекловолокна были получены на ВЧЕ-плазменной установке [4]. В качестве плазмообразующего газа применялся чистый аргон, либо смесь аргона с воздухом, азотом, пропаном и бутаном. Модифицированное стекловолокно помещалось в камеру на специальных подставках. Время обработки стекловолокна плазмой изменялось в диапазоне от 1 до 15 мин. Расход плазмообразующего газа через разрядную камеру был равен $G=0.04$ г/с, давление $P = 26,6$ Па, напряжение изменялось от 1,5 до 7,5 кВ.

Для установления закономерностей изменения физико-механических характеристик испытуемых образцов применялась разрывная машина РМ-50. Изучались изменения следующих

характеристик механических свойств испытуемых материалов:

- относительная разрывная нагрузка.
- капиллярность

На рис 1. приведены данные о влиянии времени воздействия плазмы на относительную разрывную нагрузку стекловолокна. Максимальное ее значение достигается при времени обработки $t=3$ мин. и напряжении $U=5$ кВ, силе тока $0,35$ А, плазмообразующий газ Аргон.

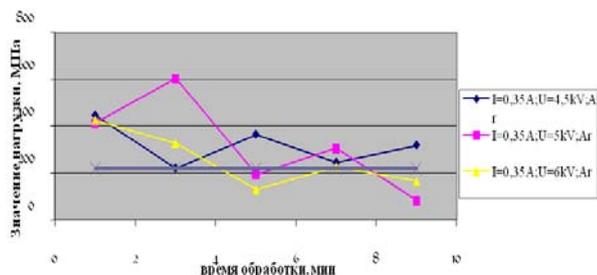


Рис. 1 - Влияние времени обработки плазмы на относительную разрывную нагрузку стекловолокна

На рис. 2 представлено изменение капиллярности стекловолокна, обработанного ВЧЕ-плазмой пониженного давления.

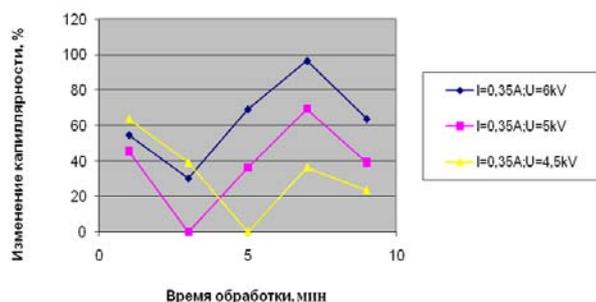


Рис 2 - Изменение показателя капиллярности стеклоткани, обработанной в плазмообразующем газе аргон+воздух в разных режимах

При обработки стекловолокна ВЧЕ плазмой пониженного давления относительная разрывная нагрузка волокна увеличилась на 200 МПа при времени обработки $t=3$ мин., $I=0,35A$, $U=5$ кВ.

Максимальная капиллярность стекловолокна достигается в режиме $I=0,35A$; $U=5$ кВ, $t=7$ мин и составляет 96% по сравнению с необработанными образцами.

Технология получения стекловолокна состоит из следующих операций (рис. 3) [5]:

- подготовка и подача шихты в стеклоплавильный сосуд.

- плавление шариков и эрклеза и подготовка стекломассы к формованию.
- заправка грубых волокон.
- формование волокон.
- охлаждение волокон.
- нанесение на волокна замасливателя и соединение их в нить.
- раскладка и намотка нити.

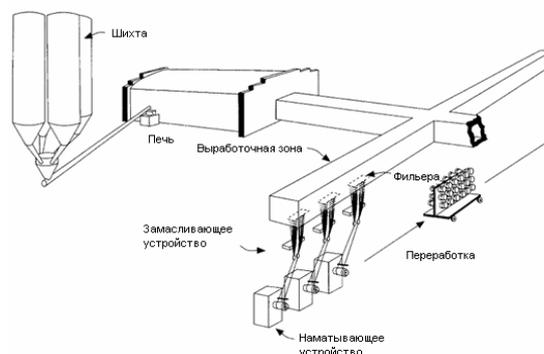


Рис. 3 – Технология изготовления стекловолокна

На основании проведенных исследований предлагается в технологии изготовления стекловолокна применение ВЧЕ плазмы перед операцией раскладка и намотка нити.

Работа выполнена на оборудовании ЦКП «Наноматериалы и нанотехнологии» при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007-2013 годы» по госконтракту 16.552.11.7060.

Литература

1. С.И. Гутников, Б.И. Лазорьяк, А.Н. Селезнев, *Стекланные волокна*, Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, Москва, 2010. 53 с.
2. И.Ш. Абдуллин, Р.Ф. Ахвердиев, М.Ф. Шаехов, *Вестник Казанского технологического университета*, 2, 348-353 (2003).
3. И.Ш. Абдуллин, М.Ф. Шаехов, *Вестник Казанского технологического университета*, 1, 75-78 (2002).
4. И.Ш. Абдуллин, Е.С. Нефедьев, Р.Г. Ибрагимов, В.В. Парошин, *Вестник Казанского технологического университета*, 3, 50-54 (2012).
5. М.Д. Ходаковский, *Производство стеклянных волокон и тканей*. Химия, Москва, 1973. 302 с.

© И. Ш. Абдуллин - д-р техн. наук, проф., зав. каф. ПНТВМ КНИТУ, tkim1@kstu.ru; Р. Г. Ибрагимов - канд. техн. наук, докторант той же кафедры, modif@inbox.ru; В. В. Парошин - асп. той же кафедры, dulchi_vlad@mail.ru.