

| | | | | | различия при разных параметрах | |
|-------------------|--------|---------|------|--------------------|--------------------------------|--------|
| в. на 100 г почвы | | | | | глина % | песок% |
| 5,4 | 21,675 | Средняя | 24,9 | Сильноненасыщенные | | |
| 2 | 4,9 | Малая | 40,8 | Ненасыщенные | 6,9 | 93,1 |
| 4,1 | 5,15 | Малая | 79,6 | Слабонасыщенные | 9,2 | 90,8 |
| 7,5 | 20,975 | Средняя | 35,8 | Ненасыщенные | | |
| 5,4 | 16,95 | Средняя | 31,8 | Ненасыщенные | | |
| 3 | 12,625 | Малая | 23,8 | Сильноненасыщенные | 93,8 | 6,2 |
| 4,9 | 5,95 | Малая | 82,4 | Насыщенные | 41,5 | 58,5 |
| 0,6 | 1,475 | Малая | 10,7 | Ненасыщенные | 7,5 | 92,5 |
| 4,1 | 17,225 | | | | | |
| 2,6 | 13,1 | | | | 89,8 | 10,2 |
| 1,3 | 2,875 | | | | 41,1 | 58,9 |
| 12 | 21,45 | | | | | |
| 5,9 | 15 | | | | 92,3 | 7,7 |
| 1,6 | 2,65 | | | | 25 | 75 |
| 2,1 | 2,975 | | | | 27,2 | 72,8 |
| 8,2 | 18 | | | | | |
| 5,1 | 9,825 | | | | 63,1 | 36,9 |
| 1,5 | 2,725 | Малая | 55 | Слабонасыщенные | 41,2 | 58,8 |
| 1,7 | 2,75 | Малая | 61,8 | Слабонасыщенные | 61,3 | 38,7 |
| 14,3 | 15,525 | Средняя | 92,1 | Насыщенные | 99 | 1 |
| 10,7 | 12,275 | Малая | 87,2 | Насыщенные | 70,2 | 29,8 |
| 5 | 6,75 | Малая | 74,1 | Слабонасыщенные | 17,3 | 82,7 |
| 8 | 9,75 | Малая | 82 | Насыщенные | 86,9 | 13,1 |
| 5 | 7,1 | Малая | 70,4 | Слабонасыщенные | 98 | 2 |
| 9,6 | 9,95 | Малая | 96,5 | Насыщенные | 88,7 | 11,3 |

Рисунок 2 – Разграничение прав доступа

В рамках нашей модели автоматизации, в дальнейшем планируется организовать возможность выгрузки отчетов из наших таблиц в шаблоны MS Word с помощью функции слияния документов и средствами языка VBA. Для возможности визуализации планируется использовать стандартные средства – диаграммы.

Таким образом, данный функционал позволяет упростить работу по анализу данных, уменьшает

количество ошибок при заполнении таблиц, систематизирует структуру и позволяет более тщательно проводить работу с большим объемом данных в рамках экспертизы качества почв.

Список использованной литературы:

1. ГОСТ Р ИСО/ТС 14048-2009. Экологический менеджмент. Оценка жизненного цикла. Формат документирования данных, 2009. – 42 с.

© М.А. Рябоконева, М.В. Никитина 2018

УДК 677.494.745.32:666.189.212

Маркова Е.О.,

инженер-технолог

АО "НПО Стеклопластик"

Московская область, Российская Федерация

Демина Н. М.

зав. лаб., к.х.н., доцент

АО "НПО Стеклопластик"

Московская область, Российская Федерация

СОВРЕМЕННЫЕ СТЕКЛЯННЫЕ И УГЛЕРОДНЫЕ ВОЛОКНА ДЛЯ АРМИРОВАНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ

Аннотация: в статье обсуждены способы промышленного производства стеклянных и углеродных волокон, использующихся в настоящее время в качестве армирующих материалов для ответственных полимерных композитов. Сопоставлены физико-химические, механические, термические и электрические свойства описываемых волокон, а также их технико-экономические характеристики.

Ключевые слова: стеклянное волокно, углеродное волокно, замасливатель, аппрет, полимерные композиты

Мировое производство композиционных материалов в настоящее время переживает период интенсивного развития в направлении транспортного сектора, и таких высокотехнологичных областей как авиакосмическая промышленность и производство энергии.

Требования для новых материалов, используемых в этих областях, очень высоки, при этом главной проблемой по-прежнему остается реализация максимальной прочности конструкции при ее минимальном весе.

Наиболее перспективными материалами для таких конструкций являются полимерные композиты, армированные стеклянными и/или углеродными волокнами.

Стекловолоконное - искусственное волокно, которое формируется из расплава неорганического стекла. Непрерывное стекловолоконное волокно получают путем фильерного формирования пучка тонких мононитей из расплавленной стекломассы с последующей вытяжкой, замасливанием и намоткой комплексной нити на бобину при высоких (10-100 м/с) линейных скоростях.

По своему строению стекловолокно представляет собой неорганический полимер сетчатой структуры с химическими связями Si-O. Атомы других входящих в структуру силикатных стекол распределены в этой сетке и также связаны с ней через кислородные мостики.

Повышенную прочность стекловолокон (по сравнению с исходным стеклом) объясняют "замораживанием" изотропной структуры высокотемпературного расплава стекла или наличием поверхностного слоя (толщина 0,01 мкм), который образуется в процессе формирования вследствие большей деформации и вытяжки по сравнению с внутренними слоями. Поскольку стекловолокна являются

аморфными телами, они не имеют точной температуры плавления. С повышением температуры они размягчаются и приобретают текучесть. Это связано с деполимеризацией силикатной сетки и уменьшением размеров фрагментов силикатных макромолекул. При снижении температуры эти фрагменты, реагируя друг с другом, опять приобретают структуру исходной силикатной сетки [1].

Свойства непрерывных стеклянных волокон зависят от состава стекол используемых для их формирования и внешнего слоя органического покрытия - "бывший" замасливатель, который определяет технологию переработки и адгезию к полимерному связующему.

Стекловолоконные невоспламеняемы, имеют прекрасную высокотемпературную стойкость и химическое сродство к множеству смол или связующих агентов благодаря химической обработке поверхности специальными замасливателями и аппретами. Для стекловолокон характерны относительно высокая прочность и малая стоимость, но их модуль ниже, чем у углеродного волокна[2].

До 90% всех стеклянных волокон, которые выпускаются сегодня в мире это - стекловолокно марки E - низкой электрической проводимости. Остальные 10% это волокна специального назначения для композиционных материалов, области применения которых требуют от волокна высокой прочности и жесткости. Наиболее применяемые для ответственных нагруженных композитов высокопрочные высокомодульные стекловолокна марки S - 2 Glass Fiber производятся в США компанией AGY Holding corp., в России - стекловолокна торговой марки ВМП - АО "НПО Стеклопластик".

Таблица 1

Физико-механические, термические и электрические свойства стеклянных и углеродных волокон

| Характеристика | Стекловолокно | | Углеродное волокно | |
|---|-----------------------------------|---------|--------------------|---------|
| | E | S | ВП* | ВМ* |
| Диаметр, мкм | 5-21 | | 5-15 | |
| Плотность, г/см ³ | 2,54 | 2,46 | 1,7-1,9 | |
| Прочность при растяжении, ГПа | 2,0-3,5 | 4,2-4,7 | 3,5-7,2 | 2,0-3,5 |
| Модуль упругости при растяжении, ГПа | 71-76 | 86-95 | 200-350 | 300-550 |
| Разрывное удлинение, % | 3,0-4,5 | 4,0-5,4 | 1,3-2,4 | 0,4-0,8 |
| Коэффициент Пуассона | 0,22-0,23 | | 0,15 | |
| Температура эксплуатации**, до °С | 360 | 470 | 370/2000** | |
| Краткосрочная температура**, °С | 420 | 760 | 450/3000** | |
| Коэффициент линейного расширения, 10 ⁻⁶ °С ⁻¹ | 9-10 | | 0,08-6,6 | |
| Коэффициент теплопроводности, Вт/м·°С | 0,04 | | 0,837-1,6 | |
| Теплоемкость, Дж/кг·°С | 840 | | 600-800 | |
| Удельное электрическое сопротивление, Ом·м | 10 ⁹ -10 ¹³ | | 0,003-70 | |

* ВП - высокопрочные; ВМ - высокомодульные

** - на воздухе/в инертной среде, °С

Углеродные волокна представляют собой химически чистое вещество, более 98% в котором составляет углерод. Углеродные волокна для ответственных композитов получают из полиакрилонитрильных волокон. Сначала прекурсор окисляют в

среде воздуха при температуре 200-400°С. В результате волокно становится не плавким, что способствует проведению последующих операций. Далее при температуре от 800°С до 1500°С проводится процесс карбонизации, происходит газификация и

удаления гетероатомов, с образованием и накоплением двойных связей в углероде, формирующих полициклические ароматические фрагменты, которые с увеличением температуры образуют гексагональные плоскости. При этом получают высокопрочные углеродные волокна с модулем упругости при растяжении до 350 ГПа ($E > 200$ ГПа) (Таблица 1) [3].

Промышленно также проводят графитизацию, процесс выполняют при более высоких температурах - до 3000⁰С, происходит окончательное формирование слоев графеновых листов и их сближение, образование графитоподобной структуры. В процессе графитизации получают высокомодульные углеродные волокна имеющие модуль упругости при растяжении до 550 ГПа ($E > 350$ ГПа) [4].

Высокие физико-механические и химические свойства углеродного волокна связаны с его строением. Атомная структура углеродного волокна аналогична структуре графита, состоящей из слоев атомов углерода (графеновые листы, гексагональные плоскости), образующих ленты [5]. Атомы в гексагональной плоскости ковалентно связаны по

средством sp^2 -гибридизации, тогда как взаимодействие между листами является относительно слабыми силами Ван-дер-Ваальса [6].

Поверхность углеродных волокон относительно инертна, поэтому их обычно подвергают последующей обработке, то есть функционализируют электрохимическими методами и наносят аппрету для улучшения их адгезии к связующим [7].

Углеродные волокна обладают комплексом ценных потребительских свойств: высокая удельная прочность и жесткость, низкий коэффициент удельного термического расширения, тепло- и электрофизические свойства от полупроводников до проводников, высокая химическая стойкость ко всем агрессивным средам за исключением сильных окислителей, радиационная стойкость.

К недостаткам углеродных волокон можно отнести их чувствительность к точечным ударам, окисление на воздухе при температуре свыше 380⁰С, высокую стоимость.

Наиболее отличительные технико-экономические показатели стеклянных и углеродных волокон приведены в Таблице 2.

Таблица 2

Отличительные характеристики углеродных и стеклянных волокон

| Характеристика | Стекловолоконное волокно | Углеродное волокно |
|--|--------------------------|--------------------|
| Цвет | Белое | Черное |
| Тип проводимости | Диэлектрик | Полупроводник |
| Стоимость, \$/кг | 1-20 | 5-200 |
| Мировое потребление за 2015 год, тыс. тн | 3570 | 68 |

Фактор сырьевых затрат не является критическим при использовании композитов в аэрокосмической и авиационной областях, а главным критерием выступает реализация максимальной эффективности космических кораблей и самолетов, а также экономия топлива. Огромный спрос этих отраслей промышленности на материалы с новыми свойствами обуславливает в настоящий момент развитие научно-технических работ в области углеродных волокон [8].

Сегодня высокопрочные и высокомодульные углеродные волокна используются в промышленном производстве композитов конструкционного назначения для авиации, ветроэнергетики и товаров для спорта и отдыха. По прогнозам к 2020 году использование углепластиков значительно возрастет в области автомобилестроения [9].

Стекловолоконные волокна типа E и S классов широко используются в промышленном производстве стеклопластиков для судостроения, производства труб и баков, электротехники и электроники, строительства и автомобилестроения.

Важнейшим преимуществом армирующих материалов из стеклянных волокон является их доступность, поэтому на данный момент материалы из непрерывных стеклянных волокон массивно составляют более 90% от всех армирующих волокон, используемых в промышленности полимерных композитов ответственного назначения.

Список использованной литературы

1. Перепелкин К. Е. Армирующие волокна и волокнистые полимерные композиты. СПб., 2009. - 379 с.
2. Демина Н. М. Современные составы для обработки высокопрочных высокомодульных непрерывных стеклянных волокон // Химические волокна. 2016. №2. С. 25-33.
3. Marilyn L., Kumar M., Kumar S., The Processing, Properties, and Structure of Carbon Fibers // High-Performance Fibers. 2005. P. 52-58.
4. Xiaosong Huang Fabrication and Properties of Carbon Fibers // Materials. 2009. Vol. 2(4). P. 2369 – 2403.
5. Morley, J. G. High-Performance Fiber Composites. - Academic Press. 1987. P. 46–78.
6. Chung, D. L. Carbon Fiber Composites. Boston. 1994. - 65 p
7. Демина Н. М., Трофимов А. Н., Варшавский В. Я., Кривцов Д. И., Габерлинг А. В. Исследование процесса аппретирования углеродных волокон//Химические волокна. 2012. №5. С. 52-54.
8. Chand S. Review Carbon fibers for composites // Journal of Material Science. 2000. Vol. 35. P. 1303 – 1313.
9. Мартынов А. И. Состояние рынка полимерных композиционных материалов в России и мире (углеволокно и стекловолокно). 2016. URL: <https://docplayer.ru/32617317-Sostoyanie-rynka-polimernyh-kompozicionnyh-materialov-v-rossii-i-mire-uglevolokno-i-steklovolokno.html> (дата обращения: 22.12.2018)