



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2015149487, 18.11.2015

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
18.11.2015

Дата регистрации:
27.12.2016

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 18.11.2015

(45) Опубликовано: 10.01.2017 Бюл. № 1

Адрес для переписки:

105005, Москва, ул. 2-я Бауманская, 5, стр. 1,
МГТУ им. Н.Э. Баумана, ЦЗИС, для Нелюба
В.А., МИЦ НМКН

(72) Автор(ы):

Нелюб Владимир Александрович (RU),
Буянов Иван Андреевич (RU),
Чуднов Илья Владимирович (RU),
Бородулин Алексей Сергеевич (RU),
Бессонов Иван Викторович (RU),
Морозов Алексей Сергеевич (RU),
Карелина Наталия Васильевна (RU),
Копицына Мария Николаевна (RU),
Нуждина Анастасия Вячеславовна (RU),
Скидченко Виктория Юрьевна (RU)

(73) Патентообладатель(и):

федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
профессионального образования
"Московский государственный технический
университет имени Н.Э. Баумана" (МГТУ
им. Н.Э. Баумана) (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: CN 101798459 A, 08.11.2010. RU
2516409 C2, 20.05.2014. US 8475709 B2,
02.07.2013. RU 2545287 C1, 27.03.2015.

(54) Термостойкий полимерный композиционный материал на основе силоксанового каучука и способ его получения

(57) Реферат:

Изобретение относится к теплостойким композиционным материалам, которые могут применяться в различных отраслях техники, в частности в авиационной и космической технике, и к способу их получения. Описан термостойкий полимерный композиционный материал, содержащий силоксановый каучук в качестве матрицы и многостенные углеродные нанотрубки (УНТ) в качестве наполнителя в количестве 0,1-1,0 мас.ч. на 100 г мас.ч. матрицы, при этом материал обладает термостойкостью: изменение массы при 400°C не более 3,93%, и физико-

механическими свойствами: модуль упругости при растяжении 0,93-3,63 МПа при относительном удлинении 330-505%. Также описан способ получения полимерного композиционного материала. Технический результат: создание нового полимерного композиционного материала с повышенной термостойкостью и улучшенными механическими свойствами на основе силоксанового каучука в качестве матрицы и углеродных нанотрубок в качестве наполнителя. 2 и 4 з.п. ф-лы, 9 ил., 1 табл., 8 пр.

RU 2607412 C1

RU 2607412 C1



(51) Int. Cl.
C08J 5/00 (2006.01)
B82B 3/00 (2006.01)
C08L 83/06 (2006.01)
C08K 3/04 (2006.01)

FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) ABSTRACT OF INVENTION

(21)(22) Application: 2015149487, 18.11.2015

(24) Effective date for property rights:
18.11.2015

Registration date:
27.12.2016

Priority:

(22) Date of filing: 18.11.2015

(45) Date of publication: 10.01.2017 Bull. № 1

Mail address:
105005, Moskva, ul. 2-ya Baumanskaya, 5, str. 1,
MGTU im. N.E. Baumana, TSZIS, dlya Nelyuba
V.A., MITS NMKN

(72) Inventor(s):

Nelyub Vladimir Aleksandrovich (RU),
Buyanov Ivan Andreevich (RU),
Chudnov Ilya Vladimirovich (RU),
Borodulin Aleksej Sergeevich (RU),
Bessonov Ivan Viktorovich (RU),
Morozov Aleksej Sergeevich (RU),
Karelina Nataliya Vasilevna (RU),
Kopitsyna Mariya Nikolaevna (RU),
Nuzhdina Anastasiya Vyacheslavovna (RU),
Skidchenko Viktoriya Yurevna (RU)

(73) Proprietor(s):

federalnoe gosudarstvennoe byudzhetnoe
obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego
professionalnogo obrazovaniya "Moskovskij
gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet imeni
N.E. Baumana" (MGTU im. N.E. Baumana)
(RU)

(54) HEAT-RESISTANT POLYMER COMPOSITE MATERIAL BASED ON SILOXANE RUBBER AND
METHOD FOR PRODUCTION THEREOF

(57) Abstract:

FIELD: chemistry.

SUBSTANCE: invention relates to heat-resistant composite materials, which can be used in various industries, in particular in aircraft and space equipment, and to a method for preparing them. Described is a heat-resistant polymer composite material, containing siloxane rubber as a matrix and multi-wall carbon nanotubes (CNT) as filler in amount of 0.1–1.0 wt% per 100 g of pts.wt matrix, wherein material has heat resistance: weight change at 400 °C not more than 3.93

%, and physical-mechanical properties: modulus of elasticity in tension 0.93–3.63 MPa at relative elongation of 330–505 %. Also described is a method of producing polymer composite material.

EFFECT: technical result is producing a novel polymer composite material with high heat resistance and improved mechanical properties based on siloxane rubber as a matrix and carbon nanotubes as filler.

6 cl, 9 dwg, 1 tbl, 8 ex

RU 2 607 412 C1

RU 2 607 412 C1

Заявляемое изобретение относится к теплостойким композиционным материалам, которые могут применяться в различных отраслях техники, в частности в авиационной и космической технике, и к способу их получения.

Из китайского патента CN 101230143 «Special type thermostable fluorine rubber compound»

5 (МПК B29C 35/02; B29C 43/24; B29C 43/58; C08J 3/22; C08K 7/06; C08L 101/04; C08L 27/24, опубл. 2008-07-30) известен материал на основе фторкаучука, обладающий высокой химической и термостабильностью.

10 Недостатком этого материала является недостаточная термическая стабильность: его использование возможно до 280°C и при кратковременном нагреве до 340°C. Другим недостатком является высокая стоимость основного компонента - фторкаучука.

Известен термостойкий композиционный материал, содержащий полимерную основу и наполнитель (российский патент RU 2346017 «Огнестойкий полимерный композиционный материал (варианты) и способ его получения» (МПК C08K 3/22, C08K 7/08, опубл. 10.02.2009)).

15 Недостатками данного материала являются невысокая теплостойкость: потеря массы 3,361% при 118,19°C, 21,070% при 514,47°C и достаточно высокая стоимость материалов, из которых изготавливается композиционный материал.

20 Там же описан способ получения этого материала, включающий соединение огнестойкого наполнителя с полимерной основой с образованием огнестойкого полимерного композиционного материала, причем огнестойкий наполнитель содержит затравочный порошкообразный бемит.

25 Недостаток способа получения определяется сложностью получения огнестойкого наполнителя - бемита. В процессе его получения используется токсичный и небезопасный в работе компонент - азотная кислота, а также требуется проводить синтез при повышенном давлении порядка 1 МПа.

Из предположительно наиболее близкого аналога - китайского патента CN 101798459 «Production method of nylon 66/ polycarbonate/ silicon rubber thermostability engineering plastic» (МПК C08K 3/34; C08K 9/04; C08L 69/00; C08L 77/06; C08L 83/04; C08L 83/07, опубл. 2010-08-11) известен композиционный материал на основе нейлона 66, поликарбоната, 30 силоксанового каучука и монтмориллонита с возможностью эксплуатации при высокой температуре.

35 Основным недостатком данного материала является относительно низкая температура размягчения материала, она составляет 235°C, а при 450°C уже наблюдается деструкция материала, что ограничивает его применение при высоких температурах.

Там же описан способ производства этого материала, включающий следующие стадии:

40 - сушка нейлона 66 и поликарбоната при 90°C в течение 12 ч в вакууме;
- равномерное перемешивание нейлона 66, поликарбоната, силоксанового каучука и монтмориллонита в заданном соотношении в экструдере при 265-300°C и скорости вращения шнека 50-100 об/мин.

Недостатком способа является трудоемкая подготовка исходных компонентов, требующая специального оборудования - вакуумного сушильного шкафа.

Раскрытие изобретения

По мнению авторов предлагаемого изобретения наилучшими кандидатами на роль 45 высокотемпературного эластомера являются полисилоксаны, благодаря своей гибкой и термически устойчивой главной цепи из атомов Si-O-Si. Силоксановые каучуки обладают высокой термостойкостью (до 300°C при кратковременном нагреве), стойкостью к действию радиации, кислотам и щелочам, имеют хорошие механические

свойства. Сравнимы с ним по теплостойкости только фторкаучуки, однако они существенно уступают силоксановым по устойчивости к радиации и обладают высокой стоимостью. Введение различных присадок позволяет повысить термостойкость материала и улучшить их механические свойства. В качестве наполнителя предлагается использовать углеродные нанотрубки.

Наноструктурированные углеродные материалы (в частности, углеродные нанотрубки), обладающие сопряженной системой из π -электронов, обладают свойствами ловушек свободных радикалов и сохраняют эти свойства в широком интервале температур в отличие от большинства других соединений с такими свойствами. Таким образом, введение углеродных нанотрубок (УНТ) в полимерную матрицу способно в значительной степени препятствовать термоокислительной деструкции полимерной матрицы и повышать термостойкость материала.

Таким образом, задачей, которая решается в данном изобретении, является создание нового полимерного композиционного материала с повышенной термостойкостью и улучшенными механическими свойствами на основе силоксанового каучука в качестве матрицы и углеродных нанотрубок в качестве наполнителя. Предлагаемый материал обладает высокой термостойкостью: изменение массы при 400°C не более 3,93% и хорошими физико-механическими свойствами: модуль упругости при растяжении 0,93-3,63 МПа при относительном удлинении 330-505%. При этом авторами найдено применение коммерчески доступных многостенных УНТ для получения термостойких композиций на основе недорогой и высокоэластичной матрицы - полидиметилсилоксана. Важно отметить, что поверхность углеродных наноматериалов является субстратом для дальнейшей функционализации. Различные функциональные группы на поверхности углеродных материалов могут вносить собственный вклад в повышение термостойкости материалов. Для дальнейшей функционализации углеродных нанотрубок авторами успешно опробованы покрытия на основе полипиррола и полидофамина.

Таким образом, предлагается полимерный композиционный материал с повышенной термостойкостью, содержащий силоксановый каучук в качестве матрицы и многостенные углеродные нанотрубки в качестве наполнителя в количестве 0,1-1,0 г на 100 г матрицы. При этом материал обладает высокой термостойкостью: изменение массы при 400°C не более 3,93%, и хорошими физико-механическими свойствами: модуль упругости при растяжении 0,93-3,63 МПа при относительном удлинении 330-505%.

Также для дальнейшей функционализации материала могут быть использованы многостенные углеродные нанотрубки, химически модифицированные полипирролом или полидофамином, при этом в материале соотношение углеродные нанотрубки: полипиррол не более 100:10 по массе, а соотношение углеродные нанотрубки: полидофамин не более 100:5 по массе.

Одновременно с задачей создания нового материала решалась задача разработки соответствующего достаточно простого, коммерчески доступного и незатратного способа получения материала и его функциональных вариаций. Предлагаемый способ заключается в том, что в силоксановый каучук вносят предварительно диспергированные углеродные нанотрубки (УНТ) или предварительно химически модифицированные УНТ в удобном растворителе (в первую очередь, 1,2-дихлорэтане). Введение углеродных нанотрубок концентрации, близкой к порогу перколяции ($\sim 1\%$), сопряжено со значительными технологическими затруднениями. Получить равномерную дисперсию углеродных нанотрубок в полимерной матрице крайне тяжело. Углеродные нанотрубки образуют плотные кластеры и агрегаты благодаря силам Ван-дер-Ваальса, своей геометрической форме. Поверхностная энергия таких кластеров меньше, чем

поверхностная энергия индивидуальных нанотрубок. Поскольку введение наполнителей в таких высоких концентрациях как ~1% и выше сильно повышает вязкость матрицы и ухудшает эффективность диспергирования, авторами выбран метод химической функционализации углеродных нанотрубок, а для эффективного диспергирования углеродных нанотрубок - метод ультразвукового диспергирования. Химическая функционализация поверхности углеродных нанотрубок позволяет обеспечить их эффективное смачивание полимерной матрицей и улучшить межслоевую адгезию. Нанесение на их поверхность таких покрытий как полипиррол и полидофамин позволит не нарушить сопряженную π -электронную систему, что, в свою очередь, позволит не ухудшить антиоксидантные свойства углеродных нанотрубок по сравнению с химически или электрохимически окисленными. Эти полимеры обладают собственной системой из сопряженных π -электронов, что придает им собственные свойства радикальных ингибиторов.

Таким образом, предлагается способ получения вышеописанного полимерного композиционного материала, включающий введение УНТ, предварительно диспергированных в растворителе, в силоксановую матрицу, затем удаление растворителя и после этого отверждение полученной композиции, при этом состав композиции следующий:

20	силоксановый каучук	100 массовых частей
	многостенные УНТ	0,1-1,0 массовых частей
	отвердитель	10 массовых частей

При этом для оценки полноты удаления растворителя применяют метод вискозиметрии, для этого проводят отбор пробы каждые 30 минут, измеряют динамическую вязкость при комнатной температуре и считают, что удаление растворителя прошло полностью, когда последние три значения вязкости матрицы отличаются друг от друга не более чем на 15%.

В качестве растворителя используют 1,2-дихлорэтан, толуол, хлороформ, дихлорметан, этанол.

30 Перечень фигур

Фиг. 1. Базовая схема способа получения нового композиционного материала на основе силоксанового каучука и углеродных нанотрубок (УНТ).

Фиг. 2. Графики измерений вязкости вариаций композиционной массы в процессе удаления растворителя.

35 Фиг. 3. Графики термогравиметрического анализа (ТГА) примеров получения вариаций материала ЭП-1, ЭП-2, ЭП-3, ЭП-4, ЭП-5.

Фиг. 4. График ТГА вариации материала ЭП-6.

Фиг. 5. График ТГА вариации материала ЭП-7.

Фиг. 6. График ТГА вариации материала ЭП-8.

40 Фиг. 7. Микрофотография поверхности материала ЭП-1.

Фиг. 8. Микрофотография поверхности материала ЭП-7.

Фиг. 9. Микрофотография поверхности материала ЭП-8.

Осуществление изобретения

На Фиг. 1 представлена базовая схема способа получения нового композиционного материала на основе силоксанового каучука и УНТ, включающая ультразвуковое диспергирование УНТ в растворителе при комнатной температуре в течение около 15 минут. Далее введение дисперсии УНТ в силоксановую матрицу и удаление растворителя (температура процесса около 70°C, время от 4 до 12-24 ч); получение итогового материала при комнатной температуре, в течение 24 ч.

Важным этапом получения итогового композиционного материала является контроль за полнотой удаления растворителя после введения УНТ в матрицу. Для оценки полноты удаления растворителя применялся метод вискозиметрии. Проводился отбор пробы каждые 30 минут, и измерялась динамическая вязкость при комнатной температуре.

5 Считали, что удаление растворителя прошло полностью, когда последние три значения вязкости матрицы отличались не более чем на 15%. В этом случае проводили отверждение связующего (см. график Фиг. 2 зависимостей вязкости композиции от времени обработки - стабилизация вязкости μ композиционной массы материала достигается через 4-24 ч и составляет примерно 7 Па·с).

10 В итоге все рассмотренные ниже в восьми примерах вариации материала обладали высокой термостойкостью: изменение массы при 400°C не более 3,93%, и хорошими физико-механическими свойствами: модуль упругости при растяжении 0,93-3,63 МПа при относительном удлинении 330-505%.

Примеры осуществления изобретения

Пример 1

Получение вариации композиционного материала ЭП-1

Коммерчески доступные многослойные УНТ марки Dealtom (0,4 г, что составляет 1,0 массовых частей) вносят в 10 мл дисперсионной среды. Смесь диспергируют при помощи ультразвукового диспергатора (мощность 2 кВт, частота 21,3 кГц) в течение

20 15 мин. Суспензию УНТ или модифицированных УНТ в диспергирующем агенте (растворителе) 1,2-дихлорэтане вводят при интенсивном перемешивании в силоксановый каучук ЮНИСИЛ 9628-2 (40,0 г, что составляет 100 массовых частей). Смесь нагревают до 70°C и перемешивают при помощи механической мешалки со скоростью 1000 об/мин. Каждые 30 минут производят отбор пробы для измерения вязкости. Окончанием 25 процесса считают, когда вязкость не изменяется более чем на 15% в течение 90 минут. После удаления растворителя смесь охлаждают до комнатной температуры и вводят отвердитель ЮНИСИЛ-9628-2 (4,0 г, что составляет 10 массовых частей). Полученную суспензию перемешивают на механической мешалке 10 минут со скоростью 800 об/мин. Отверждение проводят при комнатной температуре в течение 24 ч.

Пример 2

Получение вариации композиционного материала ЭП-2

Материал получают аналогично примеру 1, используя вместо 1,2-дихлорэтана толуол в качестве диспергирующего агента (растворителя).

Пример 3

Получение вариации композиционного материала ЭП-3

Материал получают аналогично примеру 1, используя вместо 1,2-дихлорэтана хлороформ в качестве диспергирующего агента (растворителя).

Пример 4

Получение вариации композиционного материала ЭП-4

40 Материал получают аналогично примеру 1, используя вместо 1,2-дихлорэтана дихлорметан в качестве диспергирующего агента (растворителя).

Пример 5

Получение вариации композиционного материала ЭП-5

Материал получают аналогично примеру 1, используя вместо 1,2-дихлорэтана этил 45 в качестве диспергирующего агента (растворителя).

Пример 6

Получение вариации композиционного материала ЭП-6

Коммерчески доступные многослойные УНТ марки Dealtom (0,04 г, что составляет

0,1 массовых частей) вносят в 10 мл дисперсионной среды. Смесь диспергируют при помощи ультразвукового диспергатора (мощность 2 кВт, частота 21,3 кГц) в течение 10 мин. Суспензию УНТ или модифицированных УНТ в диспергирующем агенте (растворителе) 1,2-дихлорэтане вводят при интенсивном перемешивании в силоксановый каучук ЮНИСИЛ 9628-2 (40,0 г, что составляет 100 массовых частей). Смесь нагревают до 70°C и перемешивают при помощи механической мешалки со скоростью 1000 об/мин. Каждые 30 минут производят отбор пробы для измерения вязкости. Окончанием процесса считают, когда вязкость не изменяется более чем на 15% в течение 90 минут. После удаления растворителя смесь охлаждают до комнатной температуры и вводят отвердитель ЮНИСИЛ-9628-2 (4,0 г, что составляет 10 массовых частей). Полученную суспензию перемешивают на механической мешалке 10 минут со скоростью 800 об/мин. Отверждение проводят при комнатной температуре в течение 24 ч.

Пример 7

Получение вариации композиционного материала ЭП-7

Раствор А. Пиррол (4,2 г) растворяют в 12,5 мл хлористого метилена.

Раствор Б. Безводный хлорид железа (2,0 г) растворяют в 12,5 мл дистиллированной воды.

Коммерчески доступные многостенные УНТ марки Dealtom (0,4 г, что составляет 1,0 массовых частей) диспергируют 20 минут при помощи ультразвукового диспергатора (2 кВт) в хлористом метилене (15 мл). К полученной суспензии прибавляют раствор А, смесь повторно диспергируют, используя ультразвуковую ванну (200 Вт) в течение 10 минут при комнатной температуре. Затем растворитель упаривают при пониженном давлении и вносят раствор Б. После чего смесь помещают в ультразвуковую ванну (200 Вт) и диспергируют 25 минут при комнатной температуре. Суспензию центрифугируют, раствор декантируют и УНТ промывают 3×25 мл дистиллированной водой.

Соотношение УНТ:полипиррол не более 100:10 по массе по данным ТГА не более 10%. Полученные УНТ вносят в 10 мл дисперсионной среды. Смесь диспергируют при помощи ультразвукового диспергатора (мощность 2 кВт, частота 21,3 кГц). Суспензию УНТ или модифицированных УНТ в диспергирующем агенте (растворителе) 1,2-

дихлорэтане вводят при интенсивном перемешивании в силоксановый каучук ЮНИСИЛ 9628-2 (40,0 г, что составляет 100 массовых частей). Смесь нагревают до 70°C и перемешивают при помощи механической мешалки со скоростью 1000 об/мин. Каждые 30 минут производят отбор пробы для измерения вязкости. Окончанием процесса считают, когда вязкость не изменяется более чем на 15% в течение 90 минут. После

удаления растворителя смесь охлаждают до комнатной температуры и вводят отвердитель ЮНИСИЛ-9628-2 (4,0 г, что составляет 10 массовых частей). Полученную суспензию перемешивают на механической мешалке 10 минут со скоростью 800 об/мин. Отверждение проводят при комнатной температуре в течение 24 ч.

Пример 8

Получение вариации композиционного материала ЭП-8

Коммерчески доступные многостенные УНТ марки Dealtom (0,4 г, что составляет 1,0 массовых частей) помещают в 15 мл Tris буфера (0,1М, pH 8,0). Суспензию диспергируют, используя ультразвуковую ванну (200 Вт) при комнатной температуре в течение 10 минут. К полученной суспензии прибавляют 1 мл раствора дофамина

гидрохлорида (2 мг/мл). Реакцию ведут при интенсивном перемешивании в течение 4 ч при комнатной температуре. Суспензию центрифугируют, раствор декантируют и УНТ промывают 3×25 мл дистиллированной водой. Соотношение УНТ:полидофамин не более 100:5 по массе по данным ТГА. Полученные УНТ вносят в 10 мл дисперсионной

среды. Смесь диспергируют при помощи ультразвукового диспергатора (мощность 2 кВт, частота 21,3 кГц). Сусpenзию УНТ или модифицированных УНТ в диспергирующем агенте (растворителе) 1,2-дихлорэтане вводят при интенсивном перемешивании в силоксановый каучук ЮНИСИЛ 9628-2 (40,0 г, что составляет 100 массовых частей).

- 5 Смесь нагревают до 70°C и перемешивают при помощи механической мешалки со скоростью 1000 об/мин. Каждые 30 минут производят отбор пробы для измерения вязкости. Окончанием процесса считают, когда вязкость не изменяется более чем на 15% в течение 90 минут. После удаления растворителя смесь охлаждают до комнатной температуры и вводят отвердитель ЮНИСИЛ-9628-2 (4,0 г, что составляет 10 массовых 10 частей). Полученную сусpenзию перемешивают на механической мешалке 10 минут со скоростью 800 об/мин. Отверждение проводят при комнатной температуре в течение 24 ч.

Данные характеристики термостойкости и механических свойств вариаций (ЭП-1-ЭП-8) материала приведены в таблице.

15 Таблица. Характеристики термостойкости и механических свойств вариаций материала ЭП-1 – ЭП-8.

Вариации композиционного материала	Изменение массы при температуре 400°C, %	Модуль упругости при растяжении, МПа	Относительное удлинение при растяжении, %
ЭП-1	2,22	1,41	391
ЭП-2	2,37	1,38	408
ЭП-3	2,72	1,24	428
ЭП-4	3,02	1,25	420
ЭП-5	3,93	1,03	492
ЭП-6	3,74	0,93	505
ЭП-7	2,78	1,90	425
ЭП-8	2,55	3,63	330

Таким образом из данных таблицы видно, что предлагаемый материал обладает высокой термостойкостью: изменение массы при 400°C не более 3,93%, и хорошими физико-механическими свойствами: модуль упругости при растяжении 0,93-3,63 МПа при относительном удлинении 330-505%.

В дополнение и в заключение на Фиг. 7, 8, 9 представлены данные растровой электронной микроскопии - микрофотографии поверхности вариации материала ЭП-1 (Фиг. 7), вариации ЭП-7 (Фиг. 8), вариации ЭП-8 (Фиг. 9). Эти микрофотографии свидетельствуют о том, что в материале достигается равномерное распределение наполнителя в матрице.

Материал и способ его получения разработаны в рамках работ по Соглашению о предоставлении субсидии №14.577.21.0095 от 25 августа 2014 г. с Министерством образования и науки Российской Федерации.

40 (57) Формула изобретения

1. Термостойкий полимерный композиционный материал, содержащий силоксановый каучук в качестве матрицы и многостенные углеродные нанотрубки (УНТ) в качестве наполнителя в количестве 0,1-1,0 мас.ч. на 100 г мас.ч. матрицы, при этом материал обладает термостойкостью: изменение массы при 400°C не более 3,93%, и физико-механическими свойствами: модуль упругости при растяжении 0,93-3,63 МПа при относительном удлинении 330-505%.

2. Материал по п. 1, отличающийся тем, что в нем использованы многостенные УНТ,

предварительно химически модифицированные полипирролом, при этом соотношение УНТ:полипиррол не более 100:10 по массе.

3. Материал по п. 1, отличающийся тем, что в нем использованы многостенные УНТ, предварительно химически модифицированные полидофамином, при этом соотношение УНТ:полидофамин не более 100:5 по массе.

4. Способ получения полимерного композиционного материала по любому из пп. 1, 2, 3, включающий введение УНТ, предварительно диспергированных в растворителе, в силоксановую матрицу, затем удаление растворителя и после этого отверждение полученной композиции, при этом состав композиции следующий:

10	силоксановый каучук	100 массовых частей
	многостенные УНТ	0,1-1,0 массовых частей
	отвердитель	10 массовых частей

5. Способ по п. 4, отличающийся тем, что для полноты удаления растворителя применяют метод вискозиметрии, при этом проводят отбор пробы каждые 30 минут, измеряют динамическую вязкость при комнатной температуре и определяют полное удаление растворителя в том случае, когда последние три значения вязкости матрицы отличаются друг от друга не более чем на 15%.

6. Способ по п. 4, отличающийся тем, что в качестве растворителя используют 1,2-дихлорэтан, толуол, хлороформ, дихлорметан, этанол.

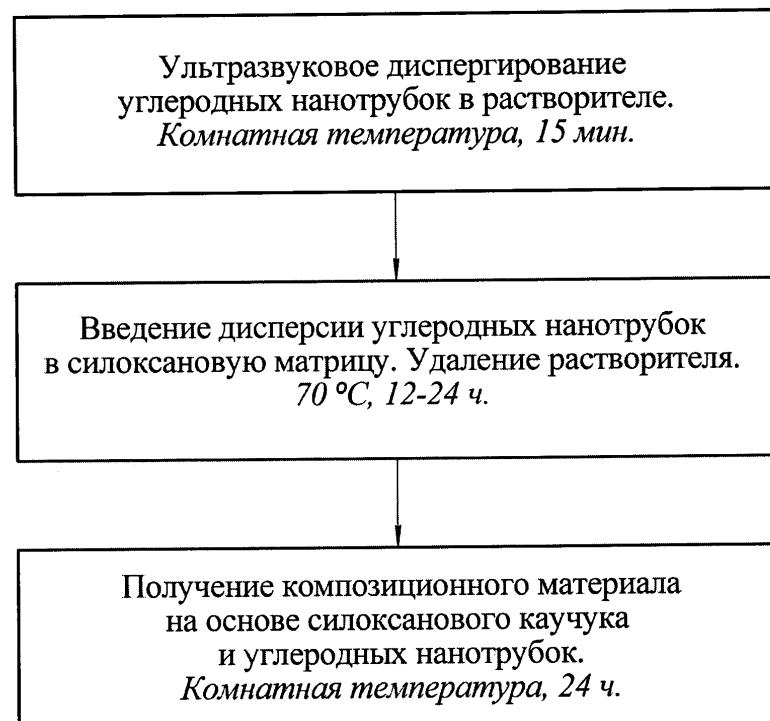
25

30

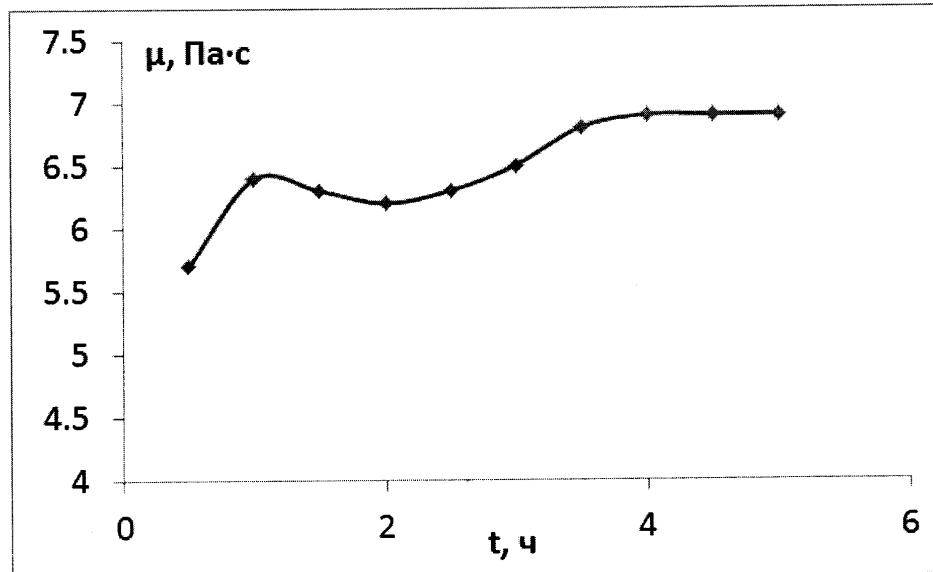
35

40

45

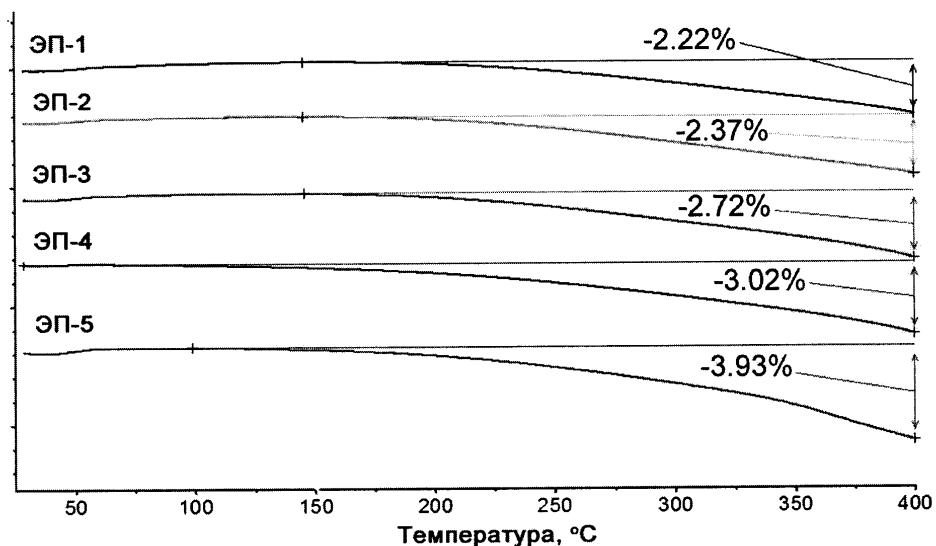


Фиг.1



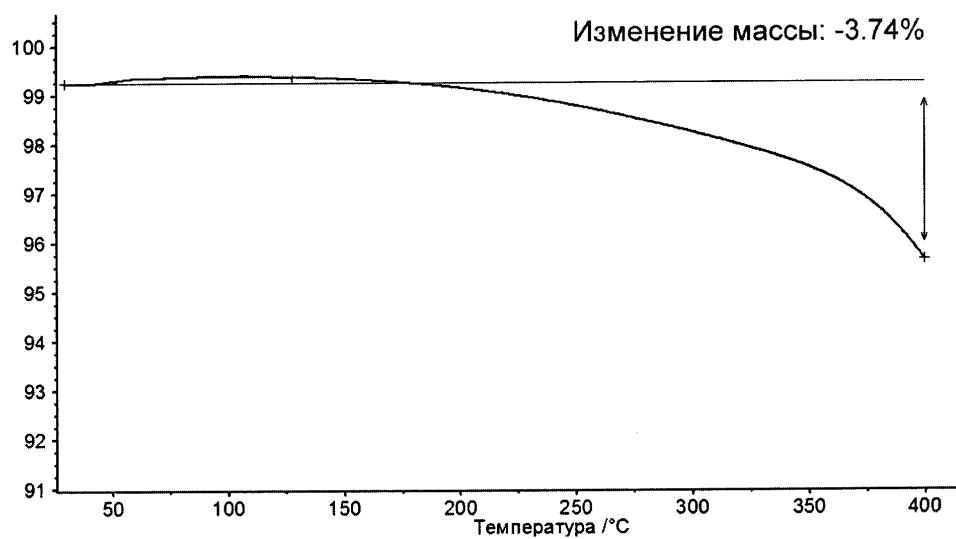
Фиг.2

ТГ, %

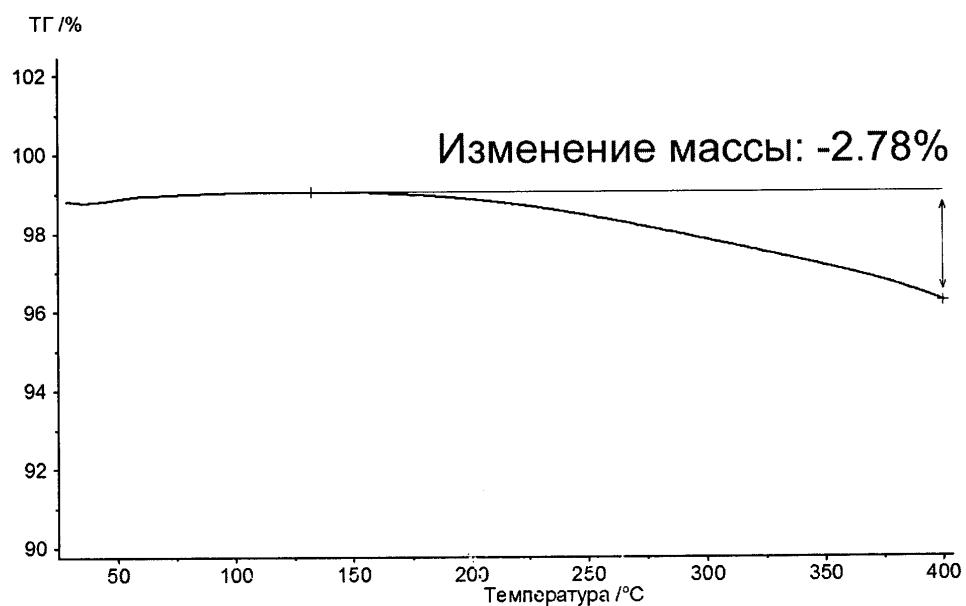


Фиг.3

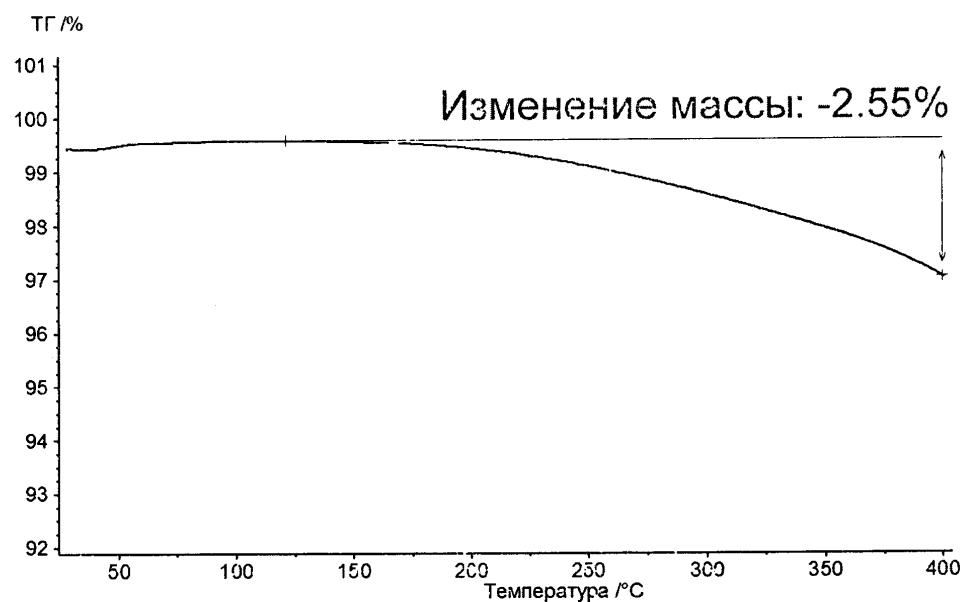
ТГ /%



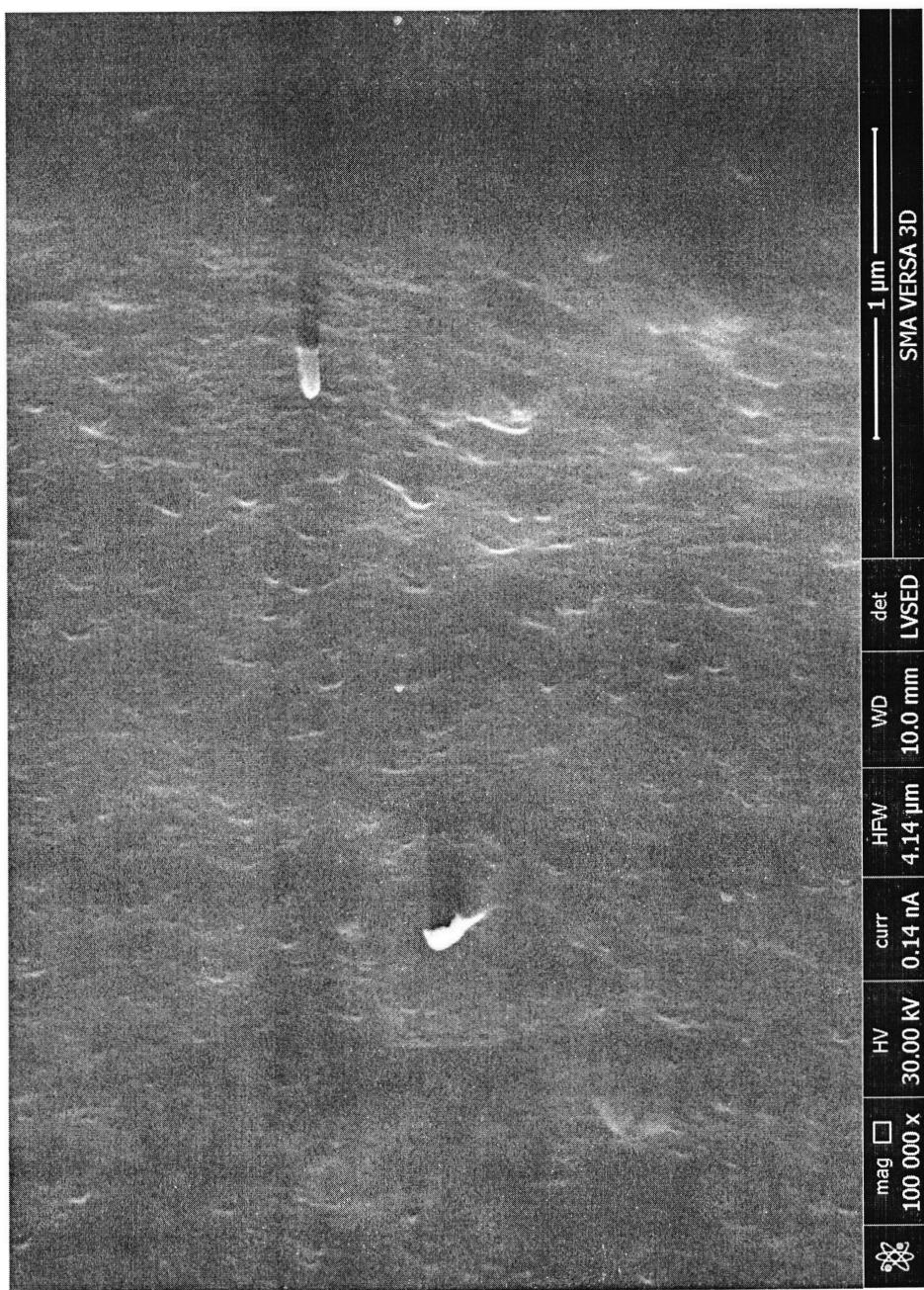
Фиг. 4



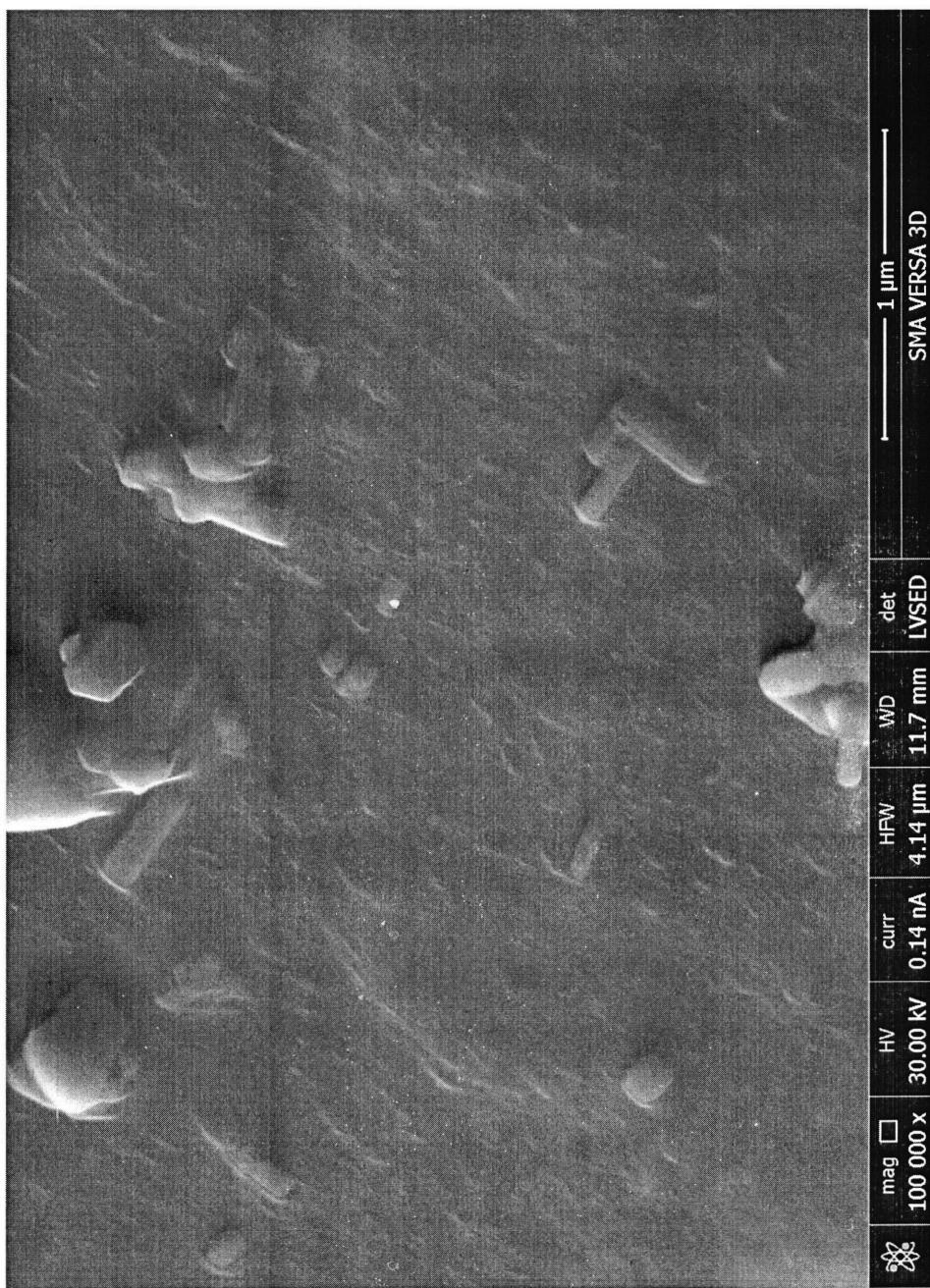
Фиг.5



Фиг. 6



Фиг. 7



Фиг. 8



Фиг. 9