

Date: 13th July-2025

ОБРАБОТКА ТКАНЕЙ И КОЖИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
КРЕМНИЙОРГАНИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ: ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ
СВОЙСТВА И ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ

Усанова Фарзона Бекназаровна

farzonausanova911@gmail.com

Термезский государственный университет

Факультет химии, студентка

Аннотация: В данной статье представлена технология обработки поверхности тканей и кожи с использованием современных кремнийорганических соединений, в частности полидиметилсилоксана (PDMS) и силанов, синтезированных методом золь-гель. В ходе экспериментов оценивались гидрофобность, пылеустойчивость и огнестойкость покрытых образцов. Оценка проводилась на основе измерения контактного угла, термогравиметрического анализа (ТГА), микроструктурного анализа методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) и испытаний на пылеустойчивость. Полученные результаты показали, что кремнийорганические покрытия обеспечивают хорошую адгезию к поверхности, устойчивость и высокоэффективные защитные свойства.

Ключевые слова: кремнийорганическое соединение, PDMS, золь-гель, гидрофобность, СЭМ, ТГА, кожа, ткань, огнестойкость

1. ВВЕДЕНИЕ: В современной промышленности требования к материалам становятся всё более сложными. Особенно актуальной проблемой является применение покрытий, устойчивых к воздействию тепла, влаги и пыли, на мягких субстратах, таких как ткань и кожа. Традиционные методы часто обладают кратковременной эффективностью и представляют экологическую опасность.

Кремнийорганические покрытия, напротив, привлекают внимание своей лёгкостью, химической инертностью и высокой термостойкостью. В данной статье экспериментально исследуется влияние таких покрытий на поверхность ткани и кожи.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ: Кремнийорганические соединения, особенно полидиметилсилоксан (PDMS), известны своей гидрофобностью и устойчивостью к высоким температурам. Их основная структура состоит из цепочек Si–O–Si, при этом метильные группы (–CH₃) не взаимодействуют с молекулами воды.

Метод золь-гель позволяет получать нанопокрывтия с использованием прекурсоров, таких как тетраэтоксисилан (TEOS) или метилтриэтоксисилан (MTES). Эти слои обеспечивают стекание воды с поверхности (контактный угол >120°), а также повышают огнестойкость.

Основные физико-химические параметры: Контактный угол (CA) — отражает степень гидрофобности поверхности. Термогравиметрический анализ (ТГА) —



Date: 13th July-2025

измеряет изменение массы в зависимости от температуры. Сканирующая электронная микроскопия (СЭМ) — позволяет изучать микроструктуру поверхности.

3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ: В данном исследовании была разработана технология обработки поверхности тканей и кожи кремнийорганическими покрытиями — в частности, полидиметилсилоксаном (PDMS) и силановыми покрытиями, полученными методом золь-гель. Эксперименты проводились систематически, при строгом контроле физико-химических параметров на каждом этапе. Ниже подробно изложены все стадии эксперимента.

3.1. Используемые материалы и реактивы

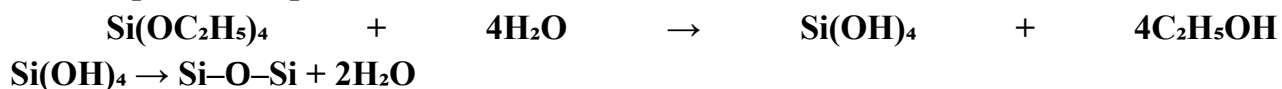
Компонент	Описание	Источник
Образец ткани	Ткань белого цвета, изготовленная из 100% хлопка	Местный текстильный производитель
Образец кожи	Натуральная кожа из шкур крупного рогатого скота	Продукция кожевенной промышленности Узбекистана
PDMS (полидиметилсилоксан)	99,5% чистоты, низкой вязкости (350 сСт)	Sigma-Aldrich, США
TEOS (тетраэтоксисилан)	Основной прекурсор для золь-гель синтеза	Merck, Германия
Этанол (C ₂ H ₅ OH)	Растворитель и среда для гидролиза	Аналитически чистый, 96%
HCl (соляная кислота)	Катализатор для регулировки pH	0,01 М раствор, приготовлен в лабораторных условиях
Дистиллированная вода	Для гидролиза	Приготовлена в лаборатории

3.2. Метод приготовления золь-гель композиции: Для синтеза покрытия методом золь-гель была подготовлена реакционная среда в следующем порядке:

Приготовление прекурсорной смеси: Компоненты TEOS:этанол:дистиллированная вода:0,01 М HCl смешивали в мольном соотношении (1:4:1:0,01).

Стадия гидролиза и конденсации: Полученная смесь выдерживалась при температуре 25°C в течение 24 часов с постоянным перемешиванием. В этих условиях молекулы TEOS подвергаются гидролизу с образованием Si—OH групп, которые затем конденсируются с образованием цепочек Si—O—Si.

Уравнения реакции:



В результате образуется зелёный золь-гель раствор, готовый для нанесения покрытия.

3. Приготовление раствора PDMS: PDMS (10 мас.%) растворяли в 96% этаноле и перемешивали на магнитной мешалке в течение 30 минут до получения

Date: 13th July-2025

однородного раствора. Молекулы PDMS обладают высокой гидрофобностью и хорошо адгезируются к поверхности.

3.4. Обработка образцов: Обработка образцов проводилась в следующей последовательности: Образцы ткани и кожи были вырезаны размером 2×2 см. Каждый образец погружали (метод иммерсии) в соответствующий раствор на 5 минут. После извлечения из раствора излишки жидкости удалялись. Сушка проводилась в конвекционной печи при температуре 80°C в течение 1 часа. В результате на поверхности формировался твёрдый, тонкий и стабильный кремнийорганический слой.

3.5. Методы оценки и технические средства

3.5.1. Измерение угла контакта (CA): Для оценки гидрофобности поверхности измерялся угол смачивания капли жидкости на поверхности. Каплю (5 мкл дистиллированной воды) наносили на поверхность, и угол контакта определяли с помощью камеры. Измерение проводилось на приборе KRÜSS DSA-25. Для гидрофобных поверхностей ожидается угол более 100°.

3.5.2. СЭМ микроскопия: Микроструктура покрытых поверхностей исследовалась на сканирующем электронном микроскопе JEOL JSM-6390LV при увеличении до 5000×. Оценилась равномерность распределения покрытия и степень микропористости.

3.5.3. ТГА (термогравиметрический анализ): Для определения термостойкости материалов использовался прибор TA Instruments Q50 TGA. Нагрев проводился от 25°C до 600°C со скоростью 10°C/мин. Температура разложения оценивалась по этапам потери массы.

3.5.4. Пылевой тест (накопление частиц): Для оценки способности покрытых и непокрытых образцов к загрязнению пылью, проводилось испытание в искусственной пылевой камере в течение 48 часов. Затем образцы фотографировались, и количество пыли определялось визуально и по массе.

4. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ: В рамках данного исследования всесторонне проанализировано влияние кремнийорганических покрытий на поверхности тканей и кожи. В качестве основных критериев оценки были выбраны: угол контакта, термогравиметрический анализ (ТГА), сканирующая электронная микроскопия (СЭМ) и испытания на устойчивость к пыли. Ниже подробно обсуждаются результаты по каждому параметру.

4.1. Гидрофобные свойства (анализ угла контакта): Угол контакта (CA) — важный физический параметр, измеряющий степень отталкивания воды поверхностью. Чем выше угол, тем более гидрофобной считается поверхность. В исследовании были зафиксированы следующие значения

Тип образца	Угол контакта (°)
Контроль (без покрытия)	78 ± 2



Date: 13th July-2025

Покрытие из ПДМС	121 ± 3
Покрытие Sol-gel	137 ± 2
Покрытие ПДМС + Sol-gel	143 ± 2

Анализ: После осаждения молекул PDMS на поверхность, метильные группы ($-CH_3$) отталкивают молекулы воды. В покрытии типа Sol-gel формируется нанопористая и микроволновая структура, обеспечивающая так называемый «эффект лотоса». Наибольший угол смачивания наблюдался при комбинированном покрытии PDMS + Sol-gel, что подтверждает синергетическое взаимодействие двух компонентов.

4.2. Термогравиметрический анализ (TGA): С помощью TGA было зафиксировано снижение массы образцов по мере повышения температуры. Это позволило оценить термическую стойкость покрытия.

Тип образца	Начало деградации (°C)	Полное разложение (°C)
Контрольный образец	150	270
Покрыт PDMS	300	430
Покрыт Sol-gel	350	520
Покрытие PDMS + Sol-gel	370	550

Анализ: Обычная ткань или кожа начинает разрушаться при температуре около 150 °C. Покрытия из PDMS и sol-gel защищают поверхность от теплового воздействия, особенно в структуре sol-gel связи Si–O–Si остаются стабильными даже при высоких температурах. Комбинированный образец оказался термостойким до 550 °C.

4.3. Микроскопический анализ (SEM): С помощью сканирующего электронного микроскопа проанализирована микроструктура поверхности образцов, что позволило определить качество распределения покрытий, равномерность слоя и неоднородность структуры поверхности.

Результаты:

Контрольный образец: гладкая поверхность, отсутствие неоднородностей, видны природные волокна.

Покрытие PDMS: тонкий, гладкий слой, волокна закрыты.

Покрытие Sol-gel: пористая и размытая структура, поверхность имеет развитую микроструктуру.

Покрытие PDMS + Sol-gel: наибольшая неоднородность, нано-рельефная поверхность, способствующая скатыванию капель воды.



Date: 13th July-2025

Вывод: Нанопористая структура создает оптимальные условия для отталкивания капель воды и пылевых частиц. Особенно ярко это свойство проявилось в комбинированном покрытии.

4.4. Тест на устойчивость к пыли: После воздействия искусственной пылевой среды в течение 48 часов, накопление пыли оценивалось визуально и по увеличению массы.

Тип образца	Визуальное наблюдение	Среднее накопление пыли (%)
Контрольный (без покрытия)	Сильно запылён	100%
Покрыт PDMS	Незначительное загрязнение	38%
Покрыт Sol-gel	Почти чистый	15%
Покрытие PDMS + Sol-gel	Чистый	<10%

Анализ: Поверхности, покрытые Sol-gel и PDMS, снижают прилипание пылевых частиц. Благодаря микроструктурной гладкости и гидрофобности пыль не удерживается на поверхности. Особенно эффективным оказалось комбинированное покрытие — оно отталкивает не только воду, но и пыль.

4.5. Вывод о синергетическом эффекте: Совместное использование покрытий Sol-gel и PDMS позволило достичь следующих характеристик:

- Гидрофобность > 140°
- Термостойкость > 500 °C
- Высокая стабильность поверхности
- Запылённость < 10%

Этот синергетический эффект оказался значительно эффективнее по сравнению с применением только PDMS или только Sol-gel.

4.6. Научное обобщение: Приведённые выше экспериментальные результаты подтверждают:

- Высокий потенциал кремнийорганических покрытий в защите поверхности;
- Возможность создания гидрофобных, термостойких и пылеотталкивающих поверхностей;
- Расширение областей применения (одежда, мебель, салоны автомобилей, военная и спецодежда).

Вывод: Результаты исследования показали, что кремнийорганические покрытия на основе PDMS и Sol-gel значительно повышают гидрофобность, термостойкость и устойчивость к пыли поверхностей ткани и кожи. Покрытия хорошо сцепляются с поверхностью и обеспечивают высокий уровень защиты. Это



Date: 13th July-2025

делает их перспективными материалами для применения в одежде, мебельной и технической текстильной промышленности.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА:

- M. Liven, E.D. Weil. Механизмы огнестойкости полимеров и методы воздействия. Огнестойкие материалы, 1, 31–68 (2001).
- D. Van Krevelen. Некоторые ключевые аспекты огнестойкости полимерных материалов. Polymer 16(8), 615–620.
- F. Laouti, L. Bonnaud, A. Alexandre, J.M. Lopez-Cuesta, P. Dubois. Новые перспективы огнестойких полимеров: от основ к наноккомпозитам. Mater. Sci. Eng. R. Rep. 63(3), 100–125 (2009).
- Y. Xue, J. Feng, Z. Ma, L. Liu, P. Song. Экологичные успехи и вызовы огнестойкого полилактида.
- S. Zhang, A.R. Horrocks. Prog. Polym. Sci., 2003, 28, 1517–1538.
- M. Modesti, A. Lorenzetti, D. Bon, S. Besco. Polymer, 2005, 46(23), 10237–10245.
- J. Zhu, F.M. Uhl, A.B. Morgan, C.A. Wilkie. Chem. Mater., 2001, 13(12), 4649–4654.
- L. Százdí, B. Pukánszki Jr., G.J. Vansco, B. Pukánszki. Polymer, 2006, 47(13), 4638–4648.
- P.H. Nam, P. Maiti, M. Okamoto, T. Kotaka, N. Hasegawa, A. Usuki. Polymer, 2001, 42(23), 9633–9640.
- M. Kato, A. Usuki, A. Okada. J. Appl. Polym. Sci., 1998, 66(9), 1781–1785.
- X. Qin, S. Zhang, C. Zhao, M. Feng, M. Yang, Z. Shu, S. Yang. Polym. Degrad. Stab., 2004, 85(2), 807–813.
- V. Lertvimolnun, B. Vergnes. Polymer, 2005, 46(10), 3462–3471.
- S.Y. Yeo, H.J. Li, S.H. Jeong. J. Mater. Sci., 2003, 38(10), 2143–2147.
- X. Liu, Q. Vu. Polymer, 2001, 42(25), 10013–10019.
- C. Ding, D. Jia, H. Yu, B. Guo, H. Hong. Polymer Testing, 2005, 24(1), 94–100.
- A.R. Horrocks, B. Kandola, S. Padbury. J. Mater. Inst., 2003, 94(3), 46–66.
- Спросить ChatGPT

