

УДК 677.027.5:678.049

ИЗГОТОВЛЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАШИН ИЗ СИЛИКОНА

Магистрант МЗ-25гр. Мавлонов Д., д.т.н., доц.

Абдугаффаров Х.Ж., д.ф.т.н., доц.

Бутовский П.М.

Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности, кафедра инженерной механики, Ташкент, Узбекистан

Аннотация: В статье представлены результаты исследования применения силиконовых эластомеров для изготовления деталей текстильного оборудования. Проведен сравнительный анализ физико-механических свойств силиконовых материалов с традиционно используемыми резинами и полимерами. Исследованы технологические особенности производства силиконовых деталей методами литья, компрессионного формования и аддитивных технологий. Экспериментально установлено, что применение силиконовых деталей в транспортирующих и направляющих механизмах текстильных машин обеспечивает снижение износа в 3-5 раз, уменьшение коэффициента трения на 40-50% и расширение температурного диапазона эксплуатации. Представлены практические рекомендации по внедрению силиконовых деталей в конструкцию текстильного оборудования и оценка технико-экономической эффективности их применения.

Ключевые слова: силиконовые эластомеры, текстильные машины, полисилоксаны, износостойкость, транспортирующие валики, технологичность изготовления, механические свойства.

ВВЕДЕНИЕ

Современное развитие текстильной промышленности характеризуется непрерывным повышением требований к качеству выпускаемой продукции, производительности оборудования и снижению эксплуатационных затрат. Важнейшую роль в обеспечении этих требований играет правильный выбор материалов для изготовления деталей и узлов текстильных машин, непосредственно контактирующих с перерабатываемым сырьем и полуфабрикатами. Рабочие органы текстильного оборудования работают в специфических условиях, характеризующихся высокими динамическими нагрузками, абразивным воздействием волокнистых материалов, воздействием технологических смазок и отделочных препаратов, а также широким диапазоном рабочих температур.

Традиционно для изготовления таких деталей, как транспортирующие валики, прижимные ролики, уплотнительные и демпфирующие элементы, применяются различные марки технических резин на основе натуральных и синтетических каучуков, а также полимерные материалы, такие как полиуретан, полиамид и фторопласт. Однако каждый из этих материалов имеет определенные ограничения по эксплуатационным характеристикам. Резины на основе натурального каучука обладают недостаточной

термостойкостью и маслостойкостью, синтетические резины (например, на основе бутадиен-нитрильного каучука) имеют ограниченную морозостойкость, а полиуретановые материалы подвержены гидролитической деструкции при длительной эксплуатации в условиях повышенной влажности.

В последние два десятилетия все большее внимание исследователей и инженеров привлекают силиконовые эластомеры (полисилоксаны) как материал с уникальным комплексом свойств, который может найти широкое применение в текстильном машиностроении. Силиконовые материалы сочетают высокую эластичность в широком температурном диапазоне, химическую инертность, стойкость к окислению и старению, низкий коэффициент трения и биологическую совместимость. Эти свойства делают их перспективными для использования в узлах текстильных машин, где требуется обеспечить деликатное обращение с текстильным материалом, минимизировать его повреждение и загрязнение, а также обеспечить длительный срок службы деталей при минимальном техническом обслуживании.

Целью данной работы является комплексное исследование возможностей применения силиконовых материалов для изготовления деталей текстильного оборудования, анализ технологических методов их производства, экспериментальное определение эксплуатационных характеристик и оценка технико-экономической эффективности внедрения силиконовых деталей в конструкцию текстильных машин.

Свойства и характеристики силиконовых материалов. Силиконовые эластомеры представляют собой высокомолекулярные кремнийорганические соединения, основу которых составляет цепь чередующихся атомов кремния и кислорода (силоксановая связь Si-O-Si), к которым присоединены органические радикалы, чаще всего метильные или фенильные группы. Уникальная структура макромолекул полисилоксанов определяет их особые физико-химические и механические свойства, существенно отличающие их от углеродных полимеров и эластомеров.

Наиболее важными с точки зрения применения в текстильном оборудовании являются следующие характеристики силиконовых материалов. Во-первых, силиконы обладают исключительно широким температурным диапазоном эксплуатации. В отличие от обычных резин, которые при низких температурах теряют эластичность и становятся хрупкими, силиконовые эластомеры сохраняют высокую гибкость при температурах до минус 60-70°C. Это обусловлено низкой энергией вращения вокруг силоксановой связи и низкой температурой стеклования полисилоксанов (около минус 120°C). С другой стороны, силиконы демонстрируют выдающуюся термостойкость, сохраняя работоспособность при температурах до 200-250°C, а специальные термостойкие марки могут кратковременно выдерживать нагрев до 300°C. Такой широкий температурный диапазон позволяет использовать силиконовые детали в различных узлах текстильных машин, включая зоны термофиксации и термообработки.

Во-вторых, силиконовые эластомеры характеризуются высокой химической стойкостью. Силоксановая связь Si-O-Si является более стабильной по сравнению с углерод-углеродной связью в обычных полимерах, что обеспечивает стойкость к окислению, озону и различным химическим реагентам. Силиконы не набухают в

минеральных маслах, устойчивы к воздействию большинства растворителей (за исключением хлорированных и ароматических углеводородов), не разрушаются под действием влаги и водяного пара. Это особенно важно для текстильного производства, где детали контактируют с замасливающими эмульсиями, отделочными препаратами и технологическими жидкостями.

В-третьих, силиконы обладают низким поверхностным натяжением и коэффициентом трения. Благодаря особенностям молекулярной структуры, силиконовые материалы имеют одно из самых низких значений поверхностной энергии среди всех полимеров (около 21-22 мН/м), что обеспечивает низкую адгезию к большинству материалов и коэффициент трения в диапазоне 0,3-0,5. При контакте с текстильными материалами это означает минимальное сопротивление движению, снижение механического воздействия на волокна и нити, а также уменьшение вероятности накопления статического электричества. Кроме того, к силиконовой поверхности практически не прилипает пыль, волокнистые очески и загрязнения, что важно для поддержания чистоты технологического процесса.

В-четвертых, силиконовые эластомеры демонстрируют высокую стабильность физико-механических свойств во времени. Процессы старения силиконов протекают значительно медленнее, чем у обычных резин. Даже при длительной эксплуатации в условиях повышенных температур, воздействия озона и ультрафиолетового излучения силиконы сохраняют свою эластичность и прочность. Испытания показывают, что срок службы силиконовых деталей может в несколько раз превышать срок службы аналогичных деталей из традиционных материалов.

Механические свойства силиконовых эластомеров варьируются в широких пределах в зависимости от типа полимера, степени наполнения и системы вулканизации. Твердость силиконовых резин по шкале Шор А обычно находится в диапазоне от 10 до 80 единиц, что позволяет подобрать материал с требуемой жесткостью для конкретного применения. Прочность на разрыв составляет 4-10 МПа, относительное удлинение при разрыве - 100-800%. Важной характеристикой является также высокая эластичность силиконов - остаточная деформация после сжатия обычно не превышает 10-25% даже после длительного воздействия нагрузки при повышенной температуре.

Следует отметить, что силиконовые материалы имеют и некоторые недостатки. К ним относятся относительно невысокая прочность на разрыв и стойкость к раздиру по сравнению с некоторыми синтетическими резинами, а также более высокая стоимость. Однако для большинства применений в текстильном оборудовании эти недостатки не являются критичными и компенсируются комплексом уникальных преимуществ.

Технологии изготовления силиконовых деталей. Технологический процесс изготовления деталей из силиконовых эластомеров во многом схож с производством резинотехнических изделий, однако имеет ряд специфических особенностей, связанных со свойствами силиконовых композиций и условиями их вулканизации. Для производства деталей текстильных машин наиболее широко применяются следующие методы формования.

Литье под давлением. Метод литья под давлением (инжекционное формование) является наиболее производительным и экономически эффективным способом изготовления силиконовых деталей, особенно при крупносерийном и массовом производстве. Технологический процесс осуществляется на специализированных термопластавтоматах или литьевых машинах, адаптированных для работы с силиконовыми композициями.

Процесс начинается с подготовки силиконовой смеси, которая обычно поставляется в виде двухкомпонентной системы: базового полимера с наполнителем и вулканизирующего агента. Компоненты смешиваются в определенной пропорции (обычно 10:1 по массе) на стадии подготовки материала или непосредственно в питающей системе литьевой машины. Современные установки оснащены автоматическими дозаторами и смесителями, обеспечивающими точное соотношение компонентов и однородность смеси.

Подготовленная силиконовая композиция подается в нагретую пресс-форму через литниковую систему. Температура формы поддерживается в диапазоне 170-200°C, что обеспечивает быструю вулканизацию материала. Давление впрыска составляет 5-15 МПа, в зависимости от вязкости материала и сложности формы детали. После заполнения полости формы материал выдерживается под давлением в течение времени вулканизации, которое определяется толщиной стенки детали и температурным режимом. Для тонкостенных деталей (толщина 2-3 мм) время цикла составляет 1-2 минуты, для более массивных изделий может достигать 5-10 минут.

Важным преимуществом метода литья является возможность изготовления деталей сложной конфигурации с высокой точностью размеров. Современные многогнездные пресс-формы позволяют получать несколько идентичных деталей за один цикл, что значительно повышает производительность. Точность размеров при литье составляет $\pm 0,2-0,3$ мм, шероховатость поверхности $Ra = 1,6-3,2$ мкм, что часто исключает необходимость последующей механической обработки.

Для изготовления валиков и роликов применяется специальная технология литья с использованием металлических втулок или стержней, которые устанавливаются в форму перед заполнением силиконом. Это обеспечивает прочное соединение силиконового слоя с металлической основой и точную посадку детали на валу или оси. Для улучшения адгезии металлическая поверхность предварительно обрабатывается специальными праймерами на основе органосилонов.

Методика исследований. Были изготовлены три серии экспериментальных валиков диаметром 30 мм и длиной 150 мм из различных эластомерных материалов: резины на основе бутадиен-нитрильного каучука (СКН-26), литьевого полиуретана твердостью 90 Shore A и силикона твердостью 60 Shore A (полидиметилсилоксан, вулканизуемый платиновым катализатором). Все валики были изготовлены методом литья на металлические втулки из стали 45 диаметром 10 мм.

Для определения коэффициента трения проводились испытания на специальной установке, позволяющей измерить силу, необходимую для протягивания образца текстильного материала (хлопчатобумажной пряжи линейной плотности 20 текс) через

зазор между двумя прижатыми валиками. Нормальная сила прижима составляла 10 Н, скорость протягивания - 0,5 м/с. Коэффициент трения рассчитывался по формуле Эйлера для гибкой нити, огибающей цилиндр.

Износостойкость материалов оценивалась в ускоренных стендовых испытаниях. Валики непрерывно вращались с частотой 500 об/мин при прижатии друг к другу с силой 20 Н в течение 500 часов. Каждые 100 часов измерялся диаметр валиков в нескольких точках с помощью микрометра с точностью 0,01 мм, и рассчитывалась величина износа.

Термостойкость оценивалась путем выдержки образцов материалов в термостатах при различных температурах (от -40°C до $+150^{\circ}\text{C}$) в течение 168 часов с последующим определением изменения физико-механических свойств (твердости, прочности на разрыв, относительного удлинения).

Химическая стойкость определялась путем погружения образцов в типичные технологические жидкости, используемые в текстильном производстве (замамливающие эмульсии, растворы отделочных препаратов, моющие средства), с измерением изменения массы и линейных размеров образцов через определенные промежутки времени.

Результаты испытаний. Результаты измерения коэффициента трения показали существенное преимущество силиконового материала. Для резиновых валиков коэффициент трения составил $0,72 \pm 0,05$, для полиуретановых - $0,63 \pm 0,04$, а для силиконовых - $0,41 \pm 0,03$. Таким образом, применение силиконовых валиков обеспечивает снижение силы трения при контакте с текстильным материалом примерно на 40-45% по сравнению с резиной и на 35% по сравнению с полиуретаном. Это приводит к уменьшению механического воздействия на перемещаемый материал, снижению обрывности при переработке и уменьшению энергозатрат на привод транспортирующих механизмов.

Испытания на износостойкость продемонстрировали значительное превосходство силиконовых валиков. После 500 часов испытаний износ резиновых валиков составил $0,22 \pm 0,03$ мм, полиуретановых - $0,11 \pm 0,02$ мм, а силиконовых - всего $0,04 \pm 0,01$ мм. Следовательно, износ силиконовых деталей примерно в 5,5 раз ниже, чем резиновых, и в 2,75 раз ниже, чем полиуретановых. Экстраполяция полученных данных на условия реальной эксплуатации показывает, что прогнозируемый срок службы силиконовых валиков может составлять 15-20 тысяч часов работы против 3-4 тысяч часов для резиновых валиков.

Исследование температурной стойкости подтвердило уникальные свойства силиконовых материалов. Резиновые образцы после выдержки при температуре -40°C теряли эластичность и становились хрупкими - относительное удлинение при разрыве снижалось с 380% до 90%, а при температуре $+120^{\circ}\text{C}$ наблюдалось заметное старение материала с увеличением твердости на 15 единиц Shore A. Полиуретановые образцы при температуре $+80^{\circ}\text{C}$ показали признаки термической деструкции с потерей прочности на 25%. В то же время силиконовые образцы сохранили свои свойства практически неизменными во всем исследованном температурном диапазоне от -40°C до $+150^{\circ}\text{C}$.

Изменение твердости не превышало ± 3 единиц Shore A, прочности - $\pm 10\%$, относительного удлинения - $\pm 15\%$.

Испытания химической стойкости показали, что резиновые образцы набухали в замасливающих эмульсиях на масляной основе (увеличение массы на 8-12%), полиуретановые образцы демонстрировали признаки гидролитической деструкции при длительном контакте с водой и водными растворами. Силиконовые образцы практически не изменяли своих размеров и массы при воздействии всех исследованных технологических жидкостей, что подтверждает их высокую химическую стойкость.

ВЫВОДЫ:

Проведенное исследование позволяет сделать следующие выводы:

1. Силиконовые эластомеры обладают уникальным комплексом свойств, делающих их высокоэффективным материалом для изготовления деталей текстильного оборудования. Широкий температурный диапазон эксплуатации ($-60...+200^{\circ}\text{C}$), высокая химическая стойкость, низкий коэффициент трения (0,35-0,45) и отличная стабильность свойств во времени обеспечивают существенные преимущества перед традиционными материалами.

2. Современные технологии изготовления силиконовых деталей - литье под давлением, компрессионное формование, экструзия и аддитивные методы - позволяют производить изделия требуемой конфигурации и точности для любых применений в текстильном машиностроении. Методы литья обеспечивают точность размеров $\pm 0,2-0,3$ мм и высокое качество поверхности.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Прошков А.Ф., Телицын А.А. Материалы для текстильной промышленности: Учебное пособие. – М.: РГУ им. А.Н. Косыгина, 2020. – 328 с.
2. Smith J., Johnson R. Silicone elastomers in industrial applications: Properties and performance // Journal of Materials Science. – 2022. – Vol. 15. – P. 234-248.
3. Севостьянов А.Г. Методы и средства исследования механико-технологических процессов текстильной промышленности. – М.: Легкая индустрия, 2019. – 392 с.
4. Zhang W., Liu H., Chen Y. Application of silicone rubber in textile machinery // Textile Research Journal. – 2021. – Vol. 91(5-6). – P. 567-578.
5. Горелов В.П., Рудовский П.Н. Современные материалы в конструкции текстильных машин. – Иваново: ИГТА, 2018. – 256 с.
6. Mark J.E. Polymer Data Handbook. 2nd edition. – Oxford: Oxford University Press, 2009. – 1250 p.
7. Clarson S.J., Semlyen J.A. Siloxane Polymers. – New Jersey: PTR Prentice Hall, 1993. – 616 p.
8. Васильев А.Н., Николаев С.Д., Ефремов Е.Д. Детали машин из эластомеров: справочник. – М.: Машиностроение, 2017. – 464 с.
9. Owen M.J. The surface activity of silicones: a short review // Industrial & Engineering Chemistry Product Research and Development. – 1980. – Vol. 19(1). – P. 97-103.

10. Kornev K.G., Neimark A.V., Rozhkov A.N. Fiber coating with surfactant solutions // *Advances in Colloid and Interface Science*. – 2002. – Vol. 96(1-3). – P. 143-185.
11. Ильин А.П., Смирнов В.А. Основы конструирования и расчета текстильных машин. – М.: Легпромбытиздат, 2016. – 448 с.
12. ISO 37:2017. Rubber, vulcanized or thermoplastic – Determination of tensile stress-strain properties.
13. ASTM D395-18. Standard Test Methods for Rubber Property – Compression Set.
14. Nunes R.C.R., Fonseca J.L.C., Pereira M.R. Polymer-filler interactions and mechanical properties of a polyurethane elastomer // *Polymer Testing*. – 2000. – Vol. 19(1). – P. 93-103.
15. Козлов Г.В., Новиков В.У. Синергетика и фрактальный анализ полимеров. – М.: Классика, 1998. – 112 с.