

УДК 678/677.499/67.08

**ПРОИЗВОДСТВО И УТИЛИЗАЦИЯ ТЕРМООДЕЖДЫ
ИЗ ПОЛИПРОПИЛЕНА В КИТАЕ**

Лэй Хай, студент гр. ИЗ6-231, III курс
Научный руководитель: Касьянова О.В., к.т.н., доцент
Кузбасский государственный технический университет
имени Т.Ф. Горбачева
г. Кемерово
Чунцинский университет искусств и наук
г. Чунцин

Китай производит больше половины мирового объема текстильной одежды (свыше 70 миллиардов единиц одежды в год) и является не только «фабрикой мира», но и безусловным лидером в применении синтетических полимерных материалов для ее производства [1]. По мере того как мировые потребительские тенденции смещаются в сторону функциональности одежды, например, серии с эффектом возврата тепла (терморегулирование) синтетические полимеры, такие как полипропилен (ПП), стали абсолютно преобладающими в объеме получения и переработки волокон. Являясь мировым лидером в производстве функциональной одежды (термоодежды) Китай переживает технологический переход от традиционных технологий получения синтетических волокон и тканей к «умному производству» с использованием нанокomпозитов.

Цель работы – провести анализ применяемых рецептов и технологий для производства термоодежды из ПП в Китае, а также рассмотреть методы ее утилизации.

Термоодежда – функциональная одежда, предназначенная для поддержания комфортной температуры тела в условиях холода или при интенсивных нагрузках. Она не дает человеку пропотеть и промерзнуть. Такая одежда особенно востребована для людей, занимающихся активным отдыхом, детей.

Преимущества ПП, по сравнению с другими волокнообразующимися полимерами (полиамид, полиэтилентерефталат (ПЭТ), полиэтилен), заключается в том, что он сочетает в себе комплекс ценных свойств: легкость (плотность ПП составляет $0,9 \text{ г/см}^3$), гигроскопичность (не впитывает воду (гидрофобен) и быстро сохнет, что очень важно для производства спортивной и детской одежды), низкая теплопроводность ($\lambda=0,16\text{--}0,22 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$, что необходимо для удержания тепла), безопасность; невысокая стоимость.

Для производства термоодежды ранее в Китае использовали простую смесь гранул ПП (показатель текучести расплава (ПТР) 15–25 г/10 мин), с минеральным наполнителем карбонатом кальция (10–15 %) и антиоксидантом (0,3–0,5 %). Традиционный технологический процесс состоит из следующих этапов: подготовка сырья, полимеризация ПП, плавление и формование

волокна, обработка волокна, прядение, раскрой и пошив. Получаемые волокна толщиной 1,5–3 ден (единица линейной плотности, 1ден=0,00011 г/м) имеют преимущественно штапельный формат, а ткань из таких волокон не удовлетворяет современным требованиям потребителей по функциональности (электризуемость, воздухо- и паропроницаемость, теплопроводность).

Развитие науки, технологий и оборудования в области полимерного материаловедения позволяют перейти к «умному производству». Современные рецептуры производства термоодежды развились в систему многофункциональности. Например, инновационная рецептура имеет следующий состав: бикомпонентное волокно ПП/ПЭТ в соотношении 60/40; 3–5 % графенового модифицированного концентрата, вводится для повышения равномерности теплопроводности; 8–10 % микрокапсул с материалом способным изменять фазовые состояния (поглощать, накапливать и излучать тепло), например, технология Outlast; 1–2 % антибактериальной добавки на основе ионов серебра; 1–2 % гидрофобной отделочной добавки на основе фторуглеродов для достижения эффекта водоотталкивания поверхности.

Структура волокна также эволюционировала в полое ПП волокно с пористостью 35–40 %, что позволяет при уменьшении массы удерживать больше неподвижного воздуха, значительно повышая коэффициент теплоизоляции [2].

Основные этапы современного технологического процесса производства термоодежды:

1. Модификация сырья. Добавление в ПП нанофункциональных гранул наполнителя (например, графена) до или во время полимеризации или экструзии. Для обеспечения равномерного распределения наполнителя применяют ультразвуковые диспергирующие системы.

2. Комплексное формование волокна (получение бикомпонентных волокон). Метод получения бикомпонентных волокон заключается в формировании растворов или расплавов двух полимеров (например, ПП/полиэстер) через фильеру специальной конструкции. Полимеры соединяются только на поверхности их раздела. Бикомпонентные волокна по свойствам отличаются от волокон, формируемых из смесей полимеров или сополимеров различного состава. Различают два типа бикомпонентных волокон:

- волокна сегментной структуры, когда полимеры расположены по сечению волокна в виде сегментов (секторов);
- волокна матрично-фибриллярной структуры, когда полимеры расположены либо в виде ядра и оболочки, либо в виде фибрилл одного полимера, размещенных внутри волокна из другого полимера.

Полимеры бикомпонентных волокон, как правило, отличаются по физико-химическим свойствам (степени усадки при повышенной температуре, набуханию, кристалличности), в результате чего в структуре волокна на разных участках возникают различные по величине внутренние напряжения и волокно приобретает устойчивую извитость. Профилирование волокон достигается формированием их через фильеры особой геометрии (треугольник, многолучевая

звезда, ромб, различные щелевидные отверстия) или с отверстиями. Профилирование позволяет придать поверхности волокна шероховатость, повышенную сцепляемость, а изделиям из них большую комфортность, объемность, пористость. Создание полых синтетических волокон с каналами привело к повышению показателей гигроскопических и теплозащитных свойств [3].

3. Формование полотна. Применение нетканого полотна. Волокно после высокоскоростного чесания и перекрестной укладки образует равномерную волокнистую сеть, которая непосредственно превращается в полотно методом гидросплетения (давление воды 200–400 бар) или термоскрепления горячим воздухом ($T=130\text{--}165\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Использование полностью формирующих компьютеризированных плосковязальных машин для прямого вязания деталей одежды (например: Четырехшпиндельные машины полного формования, 3D-макетирование в одно целое) с минимальным количеством швов «умное вязание».

4. Функциональная отделка. Например, обработка ПП нити в смеси газов аргон–пропан–бутан ее прочность возрастает на 15 %. Обработка поверхности полотна установкой низкотемпературной плазмы для долговременного улучшения свойств, таких как гидрофильность, антибактериальность и др.

Ведущие китайские спортивные и туристические бренды активно занимаются производством термоодежды. Компания Anta (г. Фучжоу) применяет собственную разработку «Hot Tech», основой которой является графен-модифицированный ПП, годовой объем производства превышает 15 миллионов единиц. Серия «Thermal Return» компании Li-Ning (г. Пекин) основана на технологии полых ПП волокон, годовой объем производства составляет около 12 миллионов единиц. Группа компаний Tread сотрудничает с ведущими международными компаниями в области материалов с фазовым переходом, выпуская серию TIEF с интеллектуальным терморегулированием, годовой объем производства около 8 миллионов единиц [4, 5].

При производстве термоодежды в Китае должны соблюдаться следующие национальные стандарты [6–9]:

1. GB 18401-2010 «Технический регламент о безопасности продукции легкой промышленности» регламентирует содержание формальдегида, pH, устойчивости окраски, запаха и наличия запрещенных азокрасителей.

2. GB/T 35611-2017 «Оценка экологичной продукции. Текстильные материалы» предъявляет требования к экологичности продукции на протяжении всего жизненного цикла.

3. GB/T 11048-2018 «Текстильные материалы. Метод испытания теплоизоляционных свойств» определяют коэффициент теплоизоляции (теплопроводности) и показатель CLO (физическая единица измерения теплозащитных свойств одежды). Основные требования к теплоизоляции термобелья: коэффициент теплоизоляции $\geq 30\%$ (повседневные легкие модели) до $\geq 50\%$

(профессиональные модели для активного отдыха), показатель CLO должен быть в диапазоне 0,5–1,2.

4. GB/T 21655.1-2008 «Текстильные материалы. Оценка влагопоглощающих и быстросохнущих свойств. Часть 1: Комбинированный метод испытаний» оцениваются влагопоглощение ткани ($\geq 200\%$), время растекания капли воды (≤ 3 секунды) и скорость испарения влаги ($\geq 0,3$ г/ч). Продукция, соответствующая стандарту, может маркироваться как обладающая функцией «влагопоглощения и быстрой сушки».

Огромные производственные мощности Китая по термоодежде в сочетании с моделью потребления «быстрой моды» приводят к образованию большого количества неиспользуемой и выбрасываемой одежды. В 2025 году общий объем производства одежды на предприятиях Китая выше установленного масштаба составил около 52 миллиардов штук. По статистике, в Китае ежегодно образуется более 20 миллионов тонн старых текстильных изделий, уровень комплексной утилизации составляет менее 20 %, при этом переработка смешанных химических волокон (таких как смеси ПП/полиэстера) особенно затруднена из-за высоких затрат на разделение [1].

Основные методы утилизации текстильных материалов:

1. Физико-механическая переработка (основной метод, который широко используется в настоящее время). Технологический процесс включает следующие стадии: сбор и сортировка старой одежды; удаление фурнитуры (молний, пуговиц и т.д.); механическое разволокнение и дробление; обработка до состояния волокна; фильтрация и очистка от примесей.

Полученные материалы (вторичные материальные ресурсы) могут напрямую использоваться в качестве наполнителя (например, для диванных подушек, звукоизоляционной ваты) или после прядения превращаться в продукцию с низкой добавленной стоимостью Downcycling.

Недостатки метода: после многократной переработки длина и прочность волокон значительно снижаются.

2. Химическая деполимеризация (передовое направление). Для таких термопластичных материалов, как ПП, химическая переработка демонстрирует потенциал.

Технология пиролиза при высокой температуре: в бескислородной или низкокислородной среде старая одежда из ПП подвергается пиролизу при 400–600 °С, образуя пиролизную жидкость, газообразные продукты и твердый углеродный остаток (УТО). Пиролизная жидкость может очищаться до топлива или снова использоваться в качестве химического сырья. УТО можно использовать для получения топлива, сорбционных материалов, красителей.

Технология алкоголиза/гидролиза: в присутствии катализатора ПП частично деполимеризуется с помощью спиртов или воды при определенных

(температура=200-260°C и давлении=3-5МПа) Предприятия, такие как Zhejiang Huading (г. Ханчжоу провинция Чжэцзян) и Sanlian Hopoint (г. Пекин), занимаются разработкой и промышленным внедрением соответствующих технологий.

Преимущества метода: возможность переработки смешанного текстиля, полученные продукты имеют более высокую стоимость, реализуется замкнутый цикл «от волокна к волокну».

В настоящее время активно ведутся разработки по совершенствованию физико-химических методов утилизации. Такие учреждения, как Нинбоский институт материалов Китайской академии наук (г. Нинбо), разрабатывают «технологии разделения с использованием сверхкритических флюидов», которая использует способность сверхкритического CO₂ избирательно растворять различные компоненты, такие как полиэстер/ПП, для их разделения с чистотой до 95 % и выше. Разделенные чистые полимеры могут быть повторно расплавлены и превращены в волокно [10].

Китай создает систему переработки отходов по принципу: государственное руководство (экополитика, принятие законов); предприятие («зеленые» и «умные» технологии); общество (участие всего народа). Например, Интернет-платформы «Feimayi» («Летучие муравьи») и «Baijingu» («Белуга»), осуществляют сбор по предварительной онлайн-заявке с вывозом на дом, годовой объем переработки уже превышает десятки тысяч тонн. Программы приема брендами. Компания Anta запустила в 2021 году программу «Нулевые отходы текстиля», установив контейнеры для сбора в своих магазинах, и планирует к 2030 году переработать большое количество старого текстиля. В настоящее время под руководством Китайской ассоциации экономики замкнутого цикла создан отраслевой альянс по комплексному использованию старого текстиля для продвижения технологических инноваций и разработки стандартов [4, 11,12].

Таким образом, отрасль производства термоодежды из ПП в Китае перешла от погони за объемом производства к этапу высококачественного развития, ядром которого является экономика замкнутого цикла: функциональные инновации, «умное» производство и вторичная переработка.

Список литературы:

1. Сунь Жуйчжэ. Постоянные инновации и высококачественное развитие : Заключительное выступление на Китайском конгрессе по одежде 2025 года / Сунь Жуйчжэ – Текст : электронный // Текстильный и швейный еженедельник. – 2025. – №11. – 25. – URL: <https://cnga.org.cn/cngahtml/xwzx/hygc/20251124/1750.html> (дата обращения: дата обращения: 27.03.2026)).

2. Китайская федерация текстильной промышленности : официальный сайт. – г. Пекин : [сайт]. – URL: <https://www.cntac.org.cn/> (дата обращения: 27.03.2026).
3. Сергеева Е. А. Анализ способов модификации волокнистых материалов / Е.А. Сергеева, И. Ш. Абдуллин, Л. А. Зенитова, К. Д. Костина – Текст : электронный // Вестник Казанского технологического университета. – 2015. – №20. – С.164–167. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-sposobov-modifikatsii-voloknistyh-materialov> (дата обращения: 27.03.2026). – Режим доступа: Научная электронная библиотека «КиберЛенинка».
4. Компания «Anta Sports». Техническое описание серии «Hot Tech» : [сайт]. – URL: <https://www.anta.com> (дата обращения: 27.03.2026).
5. Компания «Li-Ning». Техническое описание серии Thermal Return : [сайт]. – URL: <https://m.lining.com> / (дата обращения: 27.03.2026)
6. ГОСТ GB/T 11048-2018. Текстильные материалы. Метод испытания теплоизоляционных свойств. [сайт]. –URL: <http://openstd.samr.gov.cn/> (дата обращения: 27.03.2026).
7. ГОСТ GB/T 21655.1-2008. Текстильные материалы. Оценка влагопоглощающих и быстросохнущих свойств : [сайт]. –URL: <http://openstd.samr.gov.cn/> (дата обращения: 27.03.2026).
8. ГОСТ GB 18401–2010. Технический регламент о безопасности продукции легкой промышленности : [сайт].–URL: <http://openstd.samr.gov.cn/> (дата обращения: 27.03.2026).
9. ГОСТ GB/T 35611–2017. Оценка экологичной продукции. Текстильные материалы : [сайт].–URL: <http://openstd.samr.gov.cn/> (дата обращения: 27.03.2026).
10. Институт материаловедения и инженерных технологий Китайской академии наук (г. Нинбо) [Электронный ресурс]. –2026. [сайт]. – URL: http://www.cas.cn/syky/202602/t20260228_5102973.shtml (дата обращения: 27.03.2026) .
11. Интернет-платформа сбора вторсырья «Фэй Майи» [Электронный ресурс]. – 2026. [сайт].– URL: <http://www.feimayi90.com/aboutus.html> (дата обращения: 27.03.2026) .
12. Платформа «Бай Цзиньюй». Интернет-платформа сбора вторсырья [Электронный ресурс]. – 2026. [сайт].– URL: <https://www.baijingyu.com/> (дата обращения: 27.03.2026).