

Проблемы и перспективы создания отечественного производства
высоко- и сверхвысокопрочных армирующих материалов на основе
сверхвысокомолекулярного полиэтилена

С. И. Шкуренко^{*1}, В. П. Галицын^{*}, А. В. Соколов^{*}

** НИИ Синтетического волокна с экспериментальным заводом, (АО «ВНИИСВ»),
Тверь, Россия*

Аннотация

АО «ВНИИСВ», г. Тверь, совместно с Институтом катализа СО РАН им. Г. К. Борескова разработали технологии синтеза катализатора сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ) и высоко- и сверхпрочные полиэтиленовые волокна с использованием методов гель-формования и последующего многократного ориентационного вытягивания сформованного волокна из СВМПЭ. Создана экспериментальная установка, наработаны и опробованы при изготовлении изделий опытные партии СВМПЭ нитей и показана их высокая эффективность. Определены промышленные площадки для размещения производства реакторного порошка СВМПЭ волоконной марки и высоко- и сверхпрочных полиэтиленовых волокон на его основе.

Ключевые слова

Реакторный порошок СВМПЭ волоконной марки, метод гель-формования и ориентационного вытягивания, высоко- и сверхпрочные волокна из СВМПЭ, пластики на основе ткани из СВМПЭ, области применения СВМПЭ.

Введение

Развитие многих отраслей промышленности неразрывно связано с созданием новых армирующих волокон, обладающих экстремально высоким уровнем удельных прочностных показателей.

Наиболее ярким примером являются высокопрочные армирующие нити из линейного гибкоцепного полимера — сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ),

получаемые с использованием методов гель-формования из горячего полуразбавленного раствора и последующего многократного ориентационного вытягивания сформованного волокна. В таблице 1 приведены показатели прочности и начального модуля основных, наиболее применяемых в композиционных материалах, видов армирующих волокон.

¹ Для переписки:

Email: svet18.50@mail.ru

Таблица 1 — Прочностные показатели основных видов армирующих волокон, выпускаемых в промышленном масштабе

Марка нити	Прочность, сН/текс	Начальный модуль, сН/текс
ПЭ нити фирмы DSM		
SK-60	240-260	6500-7500
SK-78	340-350	11000-13700
ПЭ нити АО «ВНИИСВ»*		
ПЭ-1	270-300	8000-8500
ПЭ-2	330-360	13000-14500
П-арамидные нити		
Руслан (ОАО «Каменскволокно, РФ)	240	9600
Русар-С (НПП «Термотекс», РФ)	290	11200
Углеродные волокна		
T-400 (Тогау, Япония)	250	14200
T-800 (Тогау, Япония)	315	16500
Стекланные волокна		
Е-стекло (ОАО «НПО Стеклопластик», РФ)	120-140	3300-3500
Е-стекло (ОАО «НПО Стеклопластик», РФ)	160-165	3600-3800

*Опытные партии.

Таблица 2 — Основные показатели качества СВМПЭ нитей

Наименование показателя	Характеристика показателя
Плотность, г/см ³	0,97—0,98 Самая низкая среди всех армирующих волокон. Не тонет в воде.
Удельная разрывная нагрузка, сН/текс	от 260 до 400
Начальный модуль упругости, сН/текс	от 7000 до 15000
Электромагнитная прозрачность, Гц	Прозрачны в диапазоне от 10 ⁴ до 10 ¹⁶ Не видимы для локаторов и приборов ночного видения.
Скорость рассеяния ударной волны, м/с	от 9000 до 12000 На 30—35 % выше, чем у п-арамидных нитей.
Водопоглощение, %	Отсутствует
Химическая стойкость	Инертны к морской воде, кислотам, щелочам, смазочным маслам, чистящим жидкостям, огнегасящим составам и т.д.
Усталостные свойства	Высокая устойчивость к истиранию, изгибу и переменному растяжению
Температура длительной эксплуатации, °С	От криогенной до плюс 70
Температура кратковременной эксплуатации, °С	До плюс 120
Степень кристалличности (калориметрическая), %	От 92 до 95
Срок складского хранения	Не ограничен.

От других армирующих волокон (п-арамидных, углеродных, стеклянных) нити из СВМПЭ помимо высоких прочностных показателей выгодно отличаются уровнем удельной разрывной нагрузки, низким значением плотности, способностью к рассеянию высокоскоростного удара, гидрофобностью, химической и биологической инертностью, отсутствием хрупкости при температуре до -70°C , устойчивостью к солнечной радиации, многократным циклическим нагрузкам, истиранию и изгибам, а также прозрачностью в широком диапазоне электромагнитного излучения (таблица 2).

Мировые годовые мощности по производству высокопрочных полиэтиленовых волокон — более 30 тысяч тонн (IHSCChemical/Fibers, SpecialtyOrganic). Выпуск нитей из СВМПЭ сосредоточен в основном в США, Голландии, Японии, Китае и Южной Корее, причем среднегодовые темпы роста составляют 10–15%.

Основным способом, реализованным во всех странах при производстве высокопрочных СВМПЭ нитей, является метод гель-формования (около 95% от общего выпуска). На долю твердофазного процесса приходится около 5%.

DSM Дупеема (Голландия) впервые разработала и запатентовала технологию гель-формования полиэтиленовых волокон с использованием в качестве растворителя декалина в 1982 году и остается, по-прежнему, ведущим и безусловным лидером в этом сегменте мирового рынка. Она выпускает сверхпрочные нити SK-75 и SK-78, которые имеют более высокий, чем у других армирующих волокон, уровень удельных упруго-прочностных показателей (прочность, $\sigma_p = 350$ сН/текс; модуль, $E = 12\,400$ сН/текс; разрывное удлинение, $\epsilon = 3.2\%$) и признаны эталоном для создания легкой волоконно-композитной брони.

В последние годы отмечается в указанной области высокая активность со стороны Китая. Производственные мощности быстро увеличиваются и уже составляют практически половину всех мировых. Большинство китайских компаний используют технологию гель-формования, разработанную компанией Jiangsu SHENHE Science and Technology Development Co., Ltd. На долю прочих производителей приходится менее 5%.

Среднегодовые темпы роста мирового потребления СВМПЭ нитей в период 2015–2021 г.г. составили ориентировочно 8.9%, причем в Китае эта цифра достигает 12.8%.

За рубежом указанные нити широко применяются для изготовления бронежилетов [1], боевых шлемов, бронеплит для автомобилей и самолетов, авиационных грузовых контейнеров, обтекателей, корпусов лодок, различных защитных панелей, щитов и т. д. При этом области применения СВМПЭ нитей постоянно расширяются, включая гражданское применение изделий в виде канатов, швартовочных и буксировочных тросов, рыболовных сетей, садков для выращивания рыбы, лент, парашютных строп и т.д. Уникальные свойства СВМПЭ нитей, такие как: низкий удельный вес, устойчивость к воздействию минусовых температур, обледенению, солнечной инсоляции и морской воде, а также практически нулевая гигроскопичность делают их незаменимыми для природных зон с полярным климатом и наличием морских границ.

Весьма важным является применение СВМПЭ нитей в качестве армирующего элемента ударостойких пластиков с плотностью $1.02\text{--}1.05$ г/см³, используемых в тех отраслях, где задача снижения массы изделия, долговременно работающего в диапазоне температур от минус 100 до плюс 70°C , имеет приоритетное значение.

Учитывая широкое применение высокопрочных СВМПЭ нитей в специальной технике и средствах индивидуальной защиты, технология получения высокопрочных СВМПЭ нитей зарубежными производителями не раскрывается, а их экспортные поставки, не превышающие 5–6 % от объема производства, строго контролируются.

В Российской Федерации промышленный выпуск СВМПЭ нитей, равно как и самого полимера для их производства, до настоящего времени отсутствуют. Импортируются, в основном, марки СВМПЭ для прессования плит.

По разным источникам рынок потребления СВМПЭ в России составляет от 2000 до 12000 тыс. тонн. Такой разброс в цифрах обусловлен неконтролируемым импортом, отсутствием собственного производства, а также достоверных фактических и перспективных объемов потребления полимера и волокон отдельными отраслями и компаниями. В настоящее время, как уже указывалось выше, основное количество СВМПЭ используется в виде прессованных плит для облицовки ковшей экскаваторов, вагонов для транспортировки природных ископаемых, транспортерных лент, для искусственных катков, втулок и т. д. В промышленном масштабе иные виды материалов из СВМПЭ, например, волокна, в Российской Федерации не производятся. Объем же потребления продукции из СВМПЭ предприятиями, производящими изделия специального применения, как правило, носит закрытый характер и имеет термин «ориентировочно».

Несмотря на разнообразие предложенных и реализованных вариантов технологического и аппаратного оформления процесса общая схема получения волокна из СВМПЭ по методу гель-технологии включает несколько принципиальных (базовых) стадий:

1) растворение реакторного порошка СВМПЭ в углеводородном растворителе при повышенной температуре и перемешивании;

2) продавливание полученного раствора через фильеру с последующим резким охлаждением горячих прядильных струй в приемной ванне, что приводит к фазовому разделению системы и образованию «мокрого» гель-волокна;

3) ориентационное термовытягивание «мокрого» гель-волокна или сухой нити (ксерогеля) до высоких значений кратности растяжения.

Условия проведения каждой из перечисленных стадий и свойства полученных при этом полупродуктов оказывают существенное влияние на качество готового волокна. Это обстоятельство предопределяет продолжение работ по поиску новых и модернизации уже существующих схем получения высокопрочных волокон из СВМПЭ.

В качестве растворителей СВМПЭ могут использоваться декалин, додекан, ксилол, трихлорбензол, минеральные масла парафинового или нафтенового типа, жидкие и твердые парафины, керосиновые фракции нефти и другие углеводороды, параметры растворимости которых близки к параметру растворимости ПЭ — $7.9-8.2 \text{ (кал/см}^3\text{)}^{-0.5}$. Рекомендуемая концентрация прядильного раствора варьируется в зависимости от ММ полимера и требуемых свойств готового волокна от 0.5 до 20%.

Отечественный способ получения волокон методом гель-формования, разработанный и реализованный на экспериментальной установке АО «ВНИИСВ», основан на приготовлении низкоконцентрированной (2–5%) суспензии порошка СВМПЭ в вазелиновом масле (жидкий парафин) и её растворении при температуре (Т) 180°C для получения прядильного

раствора, формования гель-волокон и их ориентационном вытягивании в две стадии: сначала «мокрого» гель-волокна в среде растворителя при $T=115\text{--}135^\circ\text{C}$ (рисунок 1), а затем «отмытого» от вазелинового масла (ВМ) с помощью низкокипящих бензиновых фракций (нефраса) и уже «сухого» волокна в среде горячего воздуха ($T = 145\text{--}155^\circ\text{C}$) [2-6].



Рисунок 1 — Линия получения СВМПЭ нити. Вид со стороны приемно-намоточной машины

На стадии ориентационного вытягивания «мокрого» гель-волокна растворитель, контактирующий с горячей поверхностью вытяжного устройства, обеспечивает быстрый и равномерный прогрев филаментов комплексной нити. Благодаря этому появляется возможность вытягивать толстые гель-нити, состоящие из большого числа филаментов, что положительно сказывается на экономических показателях производства. Присутствие растворителя, выполняющего при температуре вытягивания функцию пластификатора, позволяет к тому же проводить растяжение геленити при высоких скоростях деформации (до 0.1 с^{-1}), что повышает производительность технологического оборудования [2, 3, 5]. В то же время присутствие растворителя в составе полимерной системы не способствует плотной упаковке элементов, формирующейся при ориентационном вытягивании надмолекулярной структуры,

поскольку сопровождается образованием пор [4–6], и препятствует дальнейшему повышению температуры и кратности вытягивания ввиду плавления волокна при $T = 145\text{--}155^\circ\text{C}$. Поэтому перед второй стадией вытягивания на воздухе растворитель из волокна удаляется методом экстракции с помощью низкокипящих бензиновых фракций до содержания не более 0.5%.

В качестве исходного сырья для разработки отечественной технологии и получения высоко- и сверхпрочных полиэтиленовых нитей используется реакторный порошок волоконной марки, разработанный в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки «Федеральный исследовательский центр «Институт катализа им. Г. К. Борескова Сибирского отделения Российской академии наук» (Институт катализа СО РАН) при участии АО «ВНИИСВ» с применением катализатора Циглера–Натта марки ИКТ-8-20-ТС, также созданного и запатентованного Институтом катализа СО РАН.

Синтез СВМПЭ осуществляют методом суспензионной полимеризации этилена в углеводородном растворителе с использованием нанесенного титанмагниевого катализатора ИКТ-8-20-ТС состава: $n\text{TiCl}_4 \cdot \text{MgCl}_k (\text{OR}')_p$, где $n = 0.04\text{--}0.08$; $k = 1.5\text{--}1.8$; $p = 0.2\text{--}0.5$; R' – C_2H_5 и алюминийорганического сокатализатора (триэтилалюминия или триизобутилалюминия).

Основными техническими показателями синтезированного СВМПЭ являются: характеристическая вязкость (молекулярная масса), размер частиц и насыпная плотность порошка. В процессе разработки катализатора и СВМПЭ было испытано около 60 модификаций полимера.

В результате проведенных испытаний опытных партий СВМПЭ установлено, что определяющее влияние на их способность

к переработке в высокопрочную нить по методу гель-технологии оказывают строе-ние, молекулярная масса и другие свой-ства полимерного порошка, которые зави-сят в свою очередь от природы (типа) ис-пользуемого титанмагниевого катализа-тора и режима полимеризации этилена:

- синтез СВМПЭ волоконной марки должен быть основан на использовании катализатора, обладающего высокой активностью. Применение катализатора типа ИКТ-8-20-ТС с содержанием титана 2.9–3.5 % и малым размером частиц (3.0–3.5 мкм) позволяет осуществлять процесс синтеза при сравнительно низких зна-чениях температуры (45–52 °С) и давления этилена (0.6–1.2 атм) в реакторе полимеризации, что является обязательным усло-вием получения СВМПЭ с высокой склон-ностью к волокнуобразованию;

- величина характеристической вязко-сти СВМПЭ, способного перерабатываться в нити высокой прочности, должна быть ограничена интервалом значений 18-20 дл/г, а размер частиц и зольность полимерного порошка не превышать 100 мкм и 0.025 %, соответственно.

Выполненные исследования позволили отработать технологию производства СВМПЭ с оптимальным для волокнуобра-зования комплексом свойств и конкретизи-ровать требования к полимеру для гель-формования СВМПЭ нитей с высокими потребительскими свойствами (таблица 3).

Созданная ИК СО РАН технология синтеза и ее аппаратурное оформление позволяют при смене катализатора произ-водить широкий спектр СВМПЭ различ-ных марок для прессования, защитных по-крытий и т. д.

Сформованные в АО «ВНИИСВ» по методу гель-технологии опытные партии высоко- и сверхпрочных СВМПЭ нитей были переработаны в тканые полотна, ко-торые использовались в качестве

армирующей структуры. Для наработки тканых полотен использовались СВМПЭ с показателями, приведенными в таблице 4.

Таблица 3 — Свойства реакторного по-рошка СВМПЭ волоконной марки

1	Тип катализатора	ИКТ-8-20-ТС
2	Средний размер частиц ката-лизатора d_{50} , мкм	3.2
3	Характеристическая вяз-кость СВМПЭ в декалине при 135 °С, дл./г	14–18
4	Молекулярно-массовое рас-пределение СВМПЭ, Mw/Mn	3.8
5	Средний размер частиц поли-мерного порошка, D_{50} , мкм	80–100
6	Насыпной вес полимерного порошка, г/см ³	0.34–0.38
7	Массовая доля золы в по-рошке, %	0.019
8	Средняя температура плавлени-я порошка, °С	141.6
9	Степень кристалличности по-рошка, %	60.4

Таблица 4 — Механические показатели нити из СВМПЭ, прошедшей стадию до-полнительного ориентационного вытягива-ния

№ п/п	Наименование показателя	Норма
1	Удельная разрывная нагрузка, сН/текс	304
2	Начальный (1%-й) модуль упругости, сН/текс	13500
3	Удлинение при разрыве, %	2.8
4	Линейная плотность, текс	37

Полученные [7, 8]:

- легкие (1.02-1.05 г/см³) композици-онные материалы на основе ткани из вы-сокопрочной ПЭ нити и модифицирован-ного эпоксидного связующего обладают в сравнении с органопластиком на основе п-арамидной нити Русар более высоким уровнем удельных прочностных

показателей (σ изг.уд на 30% выше; τ сдв.уд. на 65% выше) и меньшим (более, чем в 7 раз) влагопоглощением;

– гибридные композиционные материалы ($1.32\text{--}1.34\text{г/см}^3$) на основе тканей из ПЭ нити и стекловолокна имеют в сравнении с органопластиком на основе параамидного волокна Русар более высокий уровень удельных прочностных показателей (σ изг.уд на 12–16% выше, τ сдв.уд. на 40–50% выше), меньшее (в 4.5 раза) влагопоглощение и обладают устойчивостью к сжимающим нагрузкам (170–180 МПа).

Одновременно были наработаны элементы изделий методом плоско ориентированной намотки некрученых СВМПЭ нитей (ПЭ-2) с показателями, приведенными в таблице 1, и образцы парашютных лент и канатно-веревочных изделий, которые показали высокую эффективность применения отечественных СВМПЭ нитей [9–12].

Следует подчеркнуть, что объемная потребность (в тоннах) в сверхвысокомолекулярном полимере для прессования существенно выше, чем для получения волокон. Поэтому целесообразно и экономически оправдано выпуск всех марок СВМПЭ объединить в рамках одного производства. Для этих целей был проведен сравнительный анализ 6 площадок возможного размещения производства СВМПЭ:

- площадка ИК СО РАН, г. Волгоград, (поставка сжиженного этилена ООО «Ставролен» г. Буденновск);
- ООО «Томскнефтехим», г. Томск (территория ООО «Катализатор»);
- ПАО «Казаньоргсинтез», г. Казань;
- ООО «Байкальский Химпром», г. Ангарск;
- ОАО «ГазпромнефтьСалават», г. Салават;

– ПАО «Татнефть», г. Нижнекамск.

При оценке качества промышленной площадки учитывались:

- наличие этилена необходимого качества;
- наличие специалистов и рабочего персонала, а также их опыт работы на ранее существовавшем производстве СВМПЭ или иных марок полиолефинов;
- территориальное расположение на карте России с учетом принципа равной удаленности от реально обозначенных потребителей волоконной марки полимера и СВМПЭ для прессования;
- развитость транспортной системы.

Анализ показал, что наиболее приемлемой является площадка особой экономической зоны (ОЭЗ) промышленно-производственного типа (ППТ) — «Алга» на территориях муниципальных районов Ишимбайский район и Стерлитамакский район Республики Башкортостан (Постановление Правительства РФ от 27 мая 2020 г. №764). Площадь ОЭЗ «Алга», ООО Управляющая компания «Промышленный технопарк «Салават», составляет 73.04 Га. Территория ОЭЗ находится в непосредственной близости к нефтехимическому предприятию ПАО «Газпром» в лице ООО «Газпром нефтехим Салават». Предполагается размещение производства СВМПЭ на площадке №3 ППТ ОЭЗ «Алга», в составе ее резидентов. Площадь производства СВМПЭ ~ 7.2 Га, на которой планируется создать производство реакторных порошков СВМПЭ в объеме 15 тыс. тонн/год с использованием этилена ООО «Газпром нефтехим Салават», которое обеспечивает канал для стабильной поставки этилена на долгосрочную перспективу. Запуск производства

реакторного порошка СВМПЭ запланирован на конец 2025 г. по технологии, разработанной ИК СО РАН им. Г. К. Борескова с применением катализаторов Циглера–Натта, в том числе специальной волоконной марки для гель–технологии. Проект реализует ООО «СВЭМ», г. Салават по лицензии Института катализа СО РАН.

В настоящее время сложилась парадоксальная и неординарная ситуация, когда в близкой к завершению стадии находятся работы по созданию высоко- и сверхпрочных нитей из СВМПЭ, включая аппаратное оформление, для ударопрочных конструкционных пластиков общего применения, средств бронезащиты и суперпрочных канатно-тросовых изделий, прессованных плит для ковшей экскаваторов, кузовов, вагонеток и транспортных желобов и т.д., а полимерное сырье для их производства планируется к выпуску не ранее конца 2025г. Прессованные плиты из закупаемой по импорту полимерной СВМПЭ продукции уже используются для добычи полезных ископаемых в Северных районах страны.

Подобные проекты носят архиважный характер и должны быть поддержаны на государственном уровне и выполняться при финансовом участии и контроле соответствующего ФОИВ.

Отсутствие производства СВМПЭ, необходимого для разработки и выпуска ответственных современных изделий, также продукции, направленной на поддержание безопасности РФ, вызывает серьезную озабоченность в условиях роста международного терроризма и числа военных конфликтов, а также техногенных катастроф.

Не менее важной проблемой, требующей принятия скорейших решений по восстановлению отечественной машиностроительной базы для изготовления основного и вспомогательного оборудования для гель-технологии производства высоко- и

сверхпрочных нитей из СВМПЭ, снижению зависимости от иностранного производителя в части комплектующих изделий, является также активизация высшего образования в части подготовки специализированных кадров в области волокон.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Meulman H. Ballistic performance of Dyneema UD in body armour at elevated temperatures. *Tech.Textil. Frankfurt am Main*, Germany, 24.05.2011. Booth: Hal 4.1 p. 71
- [2]. Галицын В. П., Соболева М. В., Белоусов О. А., Фетисов Д. О., Слипечук М. В. Пат. 2334027 Россия. 2007.
- [3]. Пахомов П. М., Галицын В. П., Хижняк С. Д., Чмель А. Е. Высокопрочные и высокомолекулярные полимерные волокна. Тверь: Тверской гос. ун-т. 2012.
- [4]. Соколов А. В., Галицын В. П., Пахомов П. М. и др. Влияние остаточного растворителя на механические свойства волокон сверхвысокомолекулярного полиэтилена, полученных методом гель-формования. *Химические волокна*, 2019, № 5, с. 53–55.
- [5]. Соколов А. В. Влияние растворителя на строение и физико-химические свойства высокопрочных волокон сверхвысокомолекулярного полиэтилена, полученных методом гель-формования.: диссертация к. хим. наук. Тверь. 2021.
- [6]. Соколов А. В., Галицын В. П., Шкурин С. И., Пахомов П. М. Очистка растворителя в технологии получения СВМПЭ волокон методом гель-формования. *Химические волокна*, 2021, №1, с. 3–7.
- [7]. Патент РФ № 2604621 С1. Высокопрочный водостойкий органокомпозит и способ его изготовления. Трофимов А.Н., Косолапов А.Ф., Беляева Е.А., Шацкая

Т.Е., Шкуренко С.И., Галицын В. П. и др. Публикация: 2016.12.10.

[8]. Патент РФ № 2618 882С2. Легкий высокопрочный водостойкий композиционный материал и способ его изготовления. Трофимов А.Н., Косолапов А.Ф., Беляева Е.А., Шацкая Т.Е., Шкуренко С.И., Галицын В.П. и др. Публикация: 2017.05.11.

[9]. Шкуренко С. И., Галицын В. П., Соколов А. В. и др. Состояние разработки и свойства отечественных СВМПЭ волокон и композитов на их основе. *Сборник трудов XVI Всероссийской научно-практической конференции «Новейшие тенденции в области разработки бронезащитных и конструктивных композитных материалов»*. Ялта, Республика Крым 23-27 сентября 2019 г. С. 29-31.

[10]. Крайнов А. С., Заикин С. В. Влияние давления формования на характеристики композитных бронематериалов из СВМПЭ волокна. *Сборник трудов XVI Всероссийской научно-практической конференции «Новейшие тенденции в области разработки бронезащитных и конструктивных композитных материалов»*. Ялта,

Республика Крым 23-27 сентября 2019 г. с. 37-39.

[11]. Беляева Е. А., Трофимов А. Н., Шкуренко С. И. и др. Слоистые оганокмполиты и гибридные композиты полифункционального назначения на основе волокон из сверхвысокомолекулярного полиэтилена. *Сборник трудов XVI Всероссийской научно-практической конференции «Новейшие тенденции в области разработки бронезащитных и конструктивных композитных материалов»*. Ялта, Республика Крым 23-27 сентября 2019 г., с. 47-51.

[12]. Шкуренко С. И., Галицын В. П., Соколов А. В. и др. Перспективы создания в России опытно-промышленного производства суперпрочных СВМПЭ волокон для бронекмполитов и изделий иного назначения. *Сборник трудов XVII Всероссийской научно-практической конференции «Актуальные проблемы разработки и применения бронезащитных, конструктивных и огнестойких композитных материалов»*. Ялта, Республика Крым, 7-11 сентября 2020 г., с. 15-17.

Шкуренко Светлана Ивановна — канд. хим. наук., заместитель генерального директора по инновациям АО «ВНИИСВ» (Российская Федерация, 170032, г. Тверь, Московское шоссе, 157).

Галицын Владимир Петрович — д-р хим. наук, заведующий лабораторией гелтехнологии отдела растворных и расплавных волокон АО «ВНИИСВ» (Российская Федерация, 170032, г. Тверь, Московское шоссе, 157).

Соколов Александр Викторович — канд. хим. наук, заведующий лабораторией формования полиолефиновых растворных и расплавных волокон отдела растворных и расплавных волокон АО «ВНИИСВ» (Российская Федерация, 170032, г. Тверь, Московское шоссе, 157).

Problems and prospects of creating domestic production of high- and ultra-high-strength reinforcing materials based on ultra-high molecular weight polyethylene

S. I. Shkurenko^{*,1}, V. P. Golitsyn^{*}, A. V. Sokolov^{*}

^{*} *Research Institute of Synthetic Fiber with Experimental Plant (JSC "VNIISV"), Tver, Russia*

Abstract

JSC "VNIISV", Tver, together with the Institute of Catalysis of the SB RAS named after G.K. Borekov, developed technologies for the synthesis of ultrahigh molecular weight polyethylene (UHMWPE) catalyst and high- and ultra-strong polyethylene fibers using gel-forming and subsequent multiple orientation stretching method of the formed UHMWPE fiber. Based on the results of this work an experimental facility has been created, manufactured and tested products created on the basis of experimental batches of UHMWPE threads and its high efficiency is shown. Industrial sites have been defined for the production of UHMWPE powder of fiber grade and high- and ultrahigh polyethylene fibers based on it.

Keywords

UHMWPE powder of fiber grade, gel-forming and orientation stretching method, high- and ultra-strong polyethylene fibers, UHMWPE fabric plastic, UHMWPE application fields.

REFERENCES

- [1]. H.Meulman. Ballistic performance of Dyneema UD in body armour at elevated temperatures. *Tech.Textil. Frankfur am Main*, Germany, 24.05.2011. Booth: Hal 4.1 p. 71
- [2]. Galitsyn V.P., Soboleva M.V., Belousov O.A., Fetisov D.O., Slipenchuk M.V. Pat. 2334027 Russia, 2007. (In Russ.)
- [3]. Pakhomov P.M., Galitsyn V.P., Khizhnyak S.D., Chmel A.E. High-strength and high-muzzle polymer fibers. Tver: Tver State University-T.2012. (In Russ.)
- [4]. Sokolov A.V., Korolev R.V., Murikhin K.S. et al. Residual Solvent Effect on Mechanical Properties of Ultra-High-Molecular-Weight Polyethylene Fibers Produced by Gel Spinning. *Fibre Chemistry*, 2020, No. 51, pp. 381–383.
DOI: 10.1007/s10692-020-10115-8
- [5]. Sokolov A.V. The effect of solvent on the structure and physico-chemical properties of high-strength ultra-high molecular weight polyethylene fibers obtained by gel molding.: dissertation of the Candidate of Chemical Sciences. Tver. 2021. (In Russ.)

¹ *Corresponding author*
Email: svet18.50@mail.ru

[6]. Sokolov A.V., Galitsyn V.P., Shkurenko S.I., Pakhomov P.M. Solvent Purification in Gel-Spinning Technology for UHMWPE Fibers. *Fibre Chemistry*, 2021, No. 53, pp. 1–4.

DOI: 10.1007/s10692-021-10228-8

[7]. RF Patent No. 2604621 C1. Vysokoprochnyy vodostoykiy organokompozit i sposob yego izgotovleniya [High-strength water-resistant organocomposite and the method of its manufacture]. Trofimov A.N., Kosolapov A.F., Belyaeva E.A., Shatskaya T.E., Shkurenko S.I., Galitsyn V.P., etc. Publication: 2016.12.10. (In Russ.)

[8]. RF Patent No. 2618 882C2. Legkiy vycokoprochnyy vodostoykiy kompozitsionnyy material i sposob yego izgotovleniya [Lightweight high-strength water-resistant composite material and the method of its manufacture]. Trofimov A.N., Kosolapov A.F., Belyaeva E.A., Shatskaya T.E., Shkurenko S.I., Galitsyn V.P., etc. Publication: 2017.05.11. (In Russ.)

[9]. Shkurenko S.I., Galitsyn V.P., Sokolov A.V., et al. Sostoyaniye razrabotki i svoystva otechestvennykh SVMPE volokon i kompozitov na ikh osnove [State of development and properties of domestic UHMWPE fibers and composites on their base], Proceedings of the XVI All-Russian Scientific and practical conference «The latest trends in the development of armor-protective and structural composite materials». Yalta, Republic of Crimea September 23-27, 2019, pp. 29-31. (In Russ.)

[10]. Krainov A.S., Zaikin S.V. Vliyaniye davleniya formovaniya na kharakteristiki kompozitnykh bronematerialov iz SVMPE volokna [Influence of molding

pressure on characteristics of composite armor materials made of UHMWPE fiber]. Proceedings of the XVI All-Russian scientific and practical conference «The latest trends in the development of armor-protective and structural composite materials». Yalta, Republic of Crimea September 23-27, 2019, pp. 37-39. (In Russ.)

[11]. Belyaeva E.A., Trofimov A.N., Shkurenko S.I. et al. Sloistyie organokompozity i gibridnyye kompozity polifunktional'nogo naznacheniya na osnove volokon iz sverkhvysokomolekulyarnogo polietilena [Layered nanocomposites and hybrid composites of multifunctional purpose based on ultra-high molecular weight polyethylene fibers]. Proceedings of the XVI All-Russian Scientific and practical conference «The latest trends in the development of armor-protective and structural composite materials». Yalta, Republic of Crimea, September 23-27, 2019, pp. 47-51. (In Russ.)

[12]. Shkurenko S.I., Galitsyn V.P., Sokolov A.V., et al. Perspektivy sozdaniya v Rossii opytно-promyshlennogo proizvodstva superprochnykh SVMPE volokon dlya bronekompozitov i izdeliy inogo naznacheniya [Prospects for creation of pilot production of extra-high-strength UHMWPE fibers for armored composites and other products in Russia] Proceedings of the XVII All-Russian Scientific and Practical Conference «Actual problems of development and application of armor-resistant, structural and fire-resistant composite materials». Yalta, Republic of Crimea, September 7-11, 2020, pp. 15-17. (In Russ.)

Shkurenko S. I. — Cand. Sc. (Chem.), Deputy General Director for Innovation of JSC «VNIISV» (Moskovskoye hw., 157, Tver, 170032 Russian Federation).

Galitsyn V. P. — Dr. Sc. (Chem.), Head of the Gel Technology Laboratory of the Department of solution and Melt Fibers of JSC «VNIISV» (Moskovskoye hw., 157, Tver, 170032 Russian Federation).

Sokolov A. V. — Cand. Sc. (Chem.), Head of the polyolefin solution and Melt Fiber Molding Laboratory of the Solution and melt Fibers Department of JSC «VNIISV» (Moskovskoye hw., 157, Tver, 170032 Russian Federation).

Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:

Проблемы и перспективы создания отечественного производства высоко- и сверхвысокопрочных армирующих материалов на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена / С. И. Шкуренок, В. П. Галицын, А. В. Соколов // Промышленные процессы и технологии. 2022. Т. 2. № 4(6). С. 20 – 31.

DOI: 10.37816/2713-0789-2022-2-4(6)-20-31

Please cite this article as:

Shkurenko S. I., Galitsyn V. P., Sokolov A. V. Problems and prospects of creating domestic production of high- and ultra-high-strength reinforcing materials based on ultra-high molecular weight polyethylene. Industrial processes and Technologies, 2022, vol. 2, no. 4(6), pp. 20 – 31.

DOI: 10.37816/2713-0789-2022-2-4(6)-20-31