

674
3-40

Белорусский государственный технологический университет

УДК 674.04:620.22-419

ЗАЯЦ Ирина Михайловна

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОГОНАЖНЫХ
ИЗДЕЛИЙ С ПЕРЕМЕННЫМИ ПО ТОЛЩИНЕ
СВОЙСТВАМИ ИЗ ДРЕВЕСНО-ПОЛИМЕРНЫХ
КОМПОЗИТОВ**

05.17.06 - Технология и переработка пластических масс, эластомеров и композитов

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Минск 1997

Работа выполнена в Солигорском институте проблем ресурсосбережения

Научный руководитель -
кандидат технических наук **Прушак В.Я.**

Официальные оппоненты :
**доктор технических наук,
профессор Довгяло В.А.**
**кандидат химических наук,
доцент Полуянович В.Я.**

Опонирующая организация **НПМО «Минскпроектмебель»**

Защита состоится *27* *июня* 1997 г. в *10⁰⁰* часов на заседании совета по защите диссертаций Д 02.08.04 в Белорусском государственном технологическом университете, 220630, г. Минск, ул. Свердлова, 13а.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Белорусского государственного технологического университета.

Автореферат разослан *27 мая* 1997 г.

Ученый секретарь
совета по защите диссертаций,
кандидат технических наук



В.Б. Снешков

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ.

Актуальность темы диссертации. Важнейшим и наиболее уязвимым звеном процесса добычи и обогащения минеральных удобрений на ПО "Беларуськалий" является подъем руды с глубины 500-1000 м и ее транспортировка к сильвинитовым обогатительным фабрикам и солевалам, осуществляемые с помощью трубопроводов и ленточных конвейеров. Так, остановка конвейерной системы на одном руднике на 1 час приводит к исключению из объема добычи свыше 2000 тонн калийных удобрений, что равносильно потере 170 тыс. долларов США. Этот факт, а также жесткие условия эксплуатации подъемно-транспортного оборудования (ударные нагрузки, химически активная, абразивосодержащая среда) требуют проведения исследований, направленных на повышение долговечности быстроизнашивающихся узлов. К ним в первую очередь относятся корпуса роликов, подшипники скольжения и трубопроводы, транспортирующие солевые растворы.

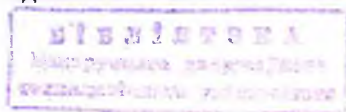
Одним из перспективных направлений решения этой проблемы является применение древесно-полимерных композитов (ДПК). Однако получаемые традиционными методами детали из ДПК одного состава не могут полностью удовлетворять комплексу эксплуатационных требований. Поэтому очевидна необходимость разработки новых составов ДПК и высокопроизводительной технологии изделий с переменными по толщине свойствами, каждый слой которых соответствовал бы определенной группе требований.

Связь работы с крупными научными программами, темами. Исследования выполнялись в соответствии с заданиями РНТП в области естественных наук "Материал 2 - 15" (N гос. регистр. 19941928) на 1991-1995 г.г.

Цель и задачи исследования. Цель исследования - разработка технологии получения из высоконаполненных древесно-полимерных композиций разнородного состава погонажных изделий с переменными по толщине свойствами для подъемно-транспортного оборудования.

Для достижения поставленной цели были определены следующие задачи:

- ♦ на основе реологического анализа зон формирующего канала получить соотношения для расчета их размеров, исходя из условия обеспечения оптимальных технологических режимов получения изделий из ДПК;
- ♦ разработать технологию и устройства для получения погонажных изделий с переменными по толщине физико-механическими свойствами;
- ♦ разработать технологические методы повышения физико-механических свойств полых цилиндрических изделий из ДПК;
- ♦ оптимизировать составы материалов несущего и рабочего слоев деталей, эксплуатирующихся в условиях воздействия химически активной абразивосодержащей среды.



Научная новизна полученных результатов. Получены соотношения, позволяющие определять оптимальные значения длины зон формирующего канала, при прохождении которых древесно-полимерная композиция последовательно переходит в вязко-текучее, вязко-пластическое и жесткое состояния. Реологический анализ показал, что поверхность раздела зон вязко-пластического и жесткого состояний ДПК в канале кругового сечения имеет форму эллипсоида вращения, ограниченного цилиндрической поверхностью. Разработана технология полых цилиндрических изделий заданной или бесконечной длины с переменными по толщине свойствами, сущность которой сводится к обеспечению синхронного и противоположно направленного перемещения различных по составу пресс-масс и разделяющей их перегородки в зоне уплотнения формирующего канала.

Показано, что снижение температуры начала отверждения ДПК на основе фенолоформальдегидного олигомера (ФФО) достигается при введении в его состав оксидов хрома или цинка, способствующих возникновению в полимерной сетке координационных связей. Экспериментально установлено, что механические характеристики композита, армируемого волокнистым наполнителем, повышаются в 1,1-1,6 раза при увеличении содержания сорбционной влаги в наполнителе до 2-6 мас.%. Анализ реокинетических и термомеханических кривых показал, что этот эффект обусловлен не только уменьшением краевого угла смачивания волокон связующим и пластификацией их поверхностного слоя. Более существенное влияние оказывает повышение степени сшивки полимерной матрицы и ускорение процесса ее отверждения. Ускоряющее действие влаги особенно эффективно при низких температурах и на более глубоких стадиях отверждения.

Разработаны технологические методы упрочнения изделий в процессе импульсного прессования, обеспечивающие непрерывное продольно - поперечное их армирование предварительно растянутыми струнами и устранение границ раздела между слоями, образуемыми соседними циклами прессования.

Новизна полученных результатов защищена 13 патентами Республики Беларусь и Российской Федерации.

Практическая значимость полученных результатов. Оптимизированы режимы прессования и созданы устройства, позволяющие получать полые цилиндрические изделия с переменными по толщине физико-механическими свойствами и реализовать разработанные методы их упрочнения. Разработаны устройства и технология слоистых погонажных изделий из ДПК различного состава. Определены типы и содержание наполнителей, обеспечивающих высокую стабильность прочностных и триботехнических свойств ДПК в химически активных средах. Предложены новые высоконаполненные композиты для формования ударопрочного несущего и износостойкого рабочего слоев деталей, подвергаемых коррозионно-механическому изна-

шиванию и циклически повторяющимся ударным нагрузкам. Разработана методика прогнозирования долговечности роликоспор ленточных конвейеров, позволяющая учитывать нагрузочно-скоростные факторы и особенности эксплуатации конвейеров в воздушно-соляной среде с высоким содержанием влаги и абразивных частиц.

Экономическая значимость полученных результатов. Разработанные технология и композиты нашли практическое применение при изготовлении корпусов и подшипников роликов ленточных конвейеров, антифрикционных вкладышей барабанных фильтров, трубопроводов, эксплуатирующихся на шильвинитовых обогатительных фабриках и рудниках ПО "Беларуськалий". При этом получен годовой экономический эффект в размере 1435 млн. руб., а экономия стального трубного проката составила 240 тонн в год.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту:

- новые технология и устройства, позволяющие получать из высоконаполненных ДПК погонажные изделия с заданным градиентом физико-механических свойств по толщине;
- результаты анализа реологических зон формирующего канала и соотношения, связывающие оптимальные значения длин этих зон с теплофизическими и механическими характеристиками ДПК, формой и размерами получаемых изделий;
- механизм влияния оксидов металлов и сорбционной влаги волокон на процесс формирования и свойства высоконаполненных композитов;
- новые составы композитов и закономерности влияния типа и содержания наполнителей на механические и триботехнические свойства ДПК;
- технологические методы повышения механических характеристик погонажных изделий и устройства для их реализации.

Личный вклад соискателя. Выполнил исследования по оптимизации составов новых материалов [3,12,17-19,24,25]; обосновал механизм изменения свойств ДПК в зависимости от влагосодержания волокнистого наполнителя [2]; принимал участие в разработке технологии погонажных изделий с переменными по толщине свойствами [1,6,9,10,14-16,20-23], методов их упрочнения [5,8,11], методики расчета оптимальных размеров реологических зон формирующего канала [4,7]; организации производства и внедрения деталей подъемно-транспортного оборудования.

Апробация результатов диссертации. Результаты исследований, включенные в диссертацию, доложены на научно-технических конференциях "Применение композиционных материалов в народном хозяйстве" (Солігорск, 1992г.), "Ресурсосберегающие и экологически чистые технологии" (Гродно, 1995г.), "Современные материалы, оборудование и технологии упрочнения и восстановления деталей машин" (Новополоцк, 1995г.), "Крайний Север-96" (1996г.), "Новые материалы и технологии" (Минск, 1996г.),

международной научно-технической конференции “Полимерные композиты-95” (Солигорск, 1995г.) и на международном симпозиуме по трибофатике (Гомель, 1993г.).

Опубликованность результатов. По материалам диссертации опубликовано 8 статей, 7 тезисов докладов. Методы формования и упрочнения изделий, устройства для их реализации и новые материалы защищены 13 патентами.

Структура и объем диссертации. Работа состоит из введения, пяти глав, выводов, списка литературы и приложения. Изложена на 121 страницах, содержащих 37 иллюстраций, 13 таблиц и список использованных источников из 116 наименований. Приложение включает 23 страницы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ

Введение содержит обоснование актуальности темы работы, описание известных научных результатов и областей их практического применения.

Первая глава посвящена обзору методов получения изделий из высоконаполненных ДПК. Показана перспективность получения длинномерных изделий методом импульсного прессования, сущность которого заключается в циклическом продавливании композиции через обогреваемый формующий канал. Анализируются недостатки этого метода и известные способы повышения механических свойств изделий, получаемых импульсным прессованием.

Рассмотрены составы и свойства высоконаполненных ДПК, которые применяются или могут быть применены для изготовления деталей горношахтного оборудования. Показано, что ДПК одного состава не может обеспечить соответствие детали всей совокупности эксплуатационных требований. Сделан вывод о необходимости разработки технологии слоистых изделий либо изделий с плавно изменяющимися по толщине физико-механическими и триботехническими свойствами. На основании анализа литературных данных сформулированы цель и задачи исследований.

Во второй главе описаны объекты и методы исследования, обоснован выбор компонентов, применяемых для создания новых композитов.

В качестве связующих использовали фенолоформальдегидный олигомер, полистирол (ПС), поливинилхлорид (ПВХ) и полиэтилен (ПЭ), а в качестве наполнителей - стекловолокно, полиакрилонитрильные и арамидные волокна, древесные частицы, отходы переработки резины и кожи. Образцы из ДПК содержали также целевые добавки: графит, стеараты и оксиды металлов. Стойкость ДПК к воздействию химически активных веществ изучали по изменению их свойств после выдержки в течение 720 час в среде хлористого калия и натрия, селъвинита, серной, соляной и фосфорной кислот, гидроксида натрия и сульфата аммония.

Механические и триботехнические характеристики ДПК определялись по соответствующим стандартам на разрывной машине ЦД-4 и машинах трения

МИ-ИМ, СМЦ-2 и АРГИ. Структурные исследования осуществлялись с применением методов оптической микроскопии и ИК-спектроскопии, дифференциально-термического (ОД-102) и термомеханического (Thermoflex, Rigacu) анализов. Давление и сила трения пресс-массы о стенки формирующего канала измерялись с помощью специально разработанных тензометров. Для определения ударной прочности ДПК была разработана установка, реализующая принцип гашения энергии падающего груза. Эксплуатационные испытания деталей из ДПК проводились на ПО "Беларуськалий".

Обработка экспериментальных данных осуществлялась с помощью методов математической статистики, а оптимизация составов ДПК - с применением методов математического планирования эксперимента.

В третьей главе изложены сущность и закономерности разработанной технологии изделий с переменными по толщине свойствами, предложены и обсуждаются методы улучшения их свойств.

Технология импульсного прессования позволяет получать из высоконаполненных ДПК полые цилиндрические заготовки для трубопроводов, подшипников скольжения и корпусов роликов ленточных конвейеров. При формировании таких заготовок пресс-масса перемещается вдоль формирующего канала, испытывая воздействие изменяющихся по величине давления и температуры (рис.1). При этом она последовательно проходит зоны: уплотнения и перехода в вязко-текучее состояние (А), вязко-пластического (В) и жесткого состояния (С). Длина l_i каждой из этих зон является основным фактором, регулирующим давление прессования и время отверждения композиции и определяющим физико-механические характеристики получаемых изделий. Поэтому был выполнен расчет l_i , с учетом свойств ДПК и оптимальных значений технологических параметров формирования изделий.

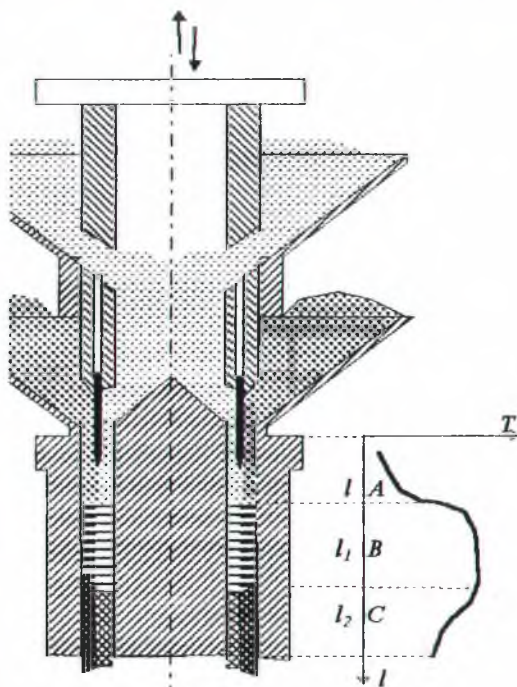


Рис. 1. Схема устройства, реализующего метод получения изделий с переменными по толщине свойствами

Длина зоны уплотнения l_0 оценивалась экспериментально на основании анализа зависимостей плотности и ее распределения по объему изделия от давления прессования P , текучести пресс-массы и высоты h заготовки, формуемой за один цикл прессования. Для расчета длины участка канала, при прохождении которого ДПК переходит в вязко-текучее, а затем - в вязко-пластическое состояние и резит (зоны А и В) получена формула вида:

$$l_1 = \frac{\Delta R^2 h}{\alpha t} \left(k_1 + k_2 \ln \frac{T - T_0}{T - T_T} + k_3 \frac{\alpha}{\Delta R} \right) \quad (1)$$

где ΔR - толщина формуемого изделия;

α - коэффициент теплопроводности пресс-массы;

t - время между двумя соседними циклами прессования;

k_1, k_2 - безразмерные коэффициенты, зависящие соответственно от давления прессования и высоты заготовки;

T - температура обогреваемой стенки канала;

T_0 - температура пресс-массы на входе в формующий канал;

T_T - температура перехода ДПК в вязко-текучее состояние;

k_3 - коэффициент, характеризующий время выдержки ДПК при температуре отверждения связующего, необходимое для его перехода из стадии резолита в резит.

Достоверность полученного соотношения подтверждена экспериментально, а также расчетами l_1 , выполненными с использованием нестационарного решения уравнения теплопроводности для длинного сплошного цилиндра, нагреваемого внешней средой, температура которой, достигнув максимума, остается постоянной.

На основании решения дифференциального уравнения равновесия элементарного объема ДПК в формующем канале, была получена формула для расчета длины l_2 зоны С, в которой реализуется "пробкообразный" режим движения композита. Анализ показал, что длина зоны С, определяющая усилие прессования, зависит от формы и размеров получаемого изделия, прочности ДПК на сдвиг τ_s и удельной силы трения композита по стенке формующего канала τ_0 . В частном случае, при получении полых цилиндрических изделий (канал кольцевого сечения), формула для расчета l_1 принимает вид:

$$l_2 = \left[\frac{\rho g H}{2\tau_0} + \frac{1 - \nu}{1 - 2\nu} \sqrt{\left(\frac{\tau_s}{\tau_0} \right)^2 - \frac{3}{4} \left(\frac{\rho_x}{R_H} \right)^2} \right] \Delta R \quad (2)$$

где ρ, ν - плотность и коэффициент Пуассона ДПК;

R_H, ρ_x - наружный и текущий радиусы полого цилиндра;

H - параметр, включающий высоту изделия и пресс-массы в канале.

Получены также соотношения, свидетельствующие о том, что поверхность раздела зон В и С представляет собой часть эллипсоида вращения, ограниченного цилиндрическими поверхностями. Радиус кривизны этой поверхности определяет предельные значения длины l_2 и распределение давлений в зоне С. Таким образом, изменяя длину зон формирующего канала, можно управлять технологическими режимами получения изделий, а следовательно и их физико-механическими свойствами.

Метод импульсного прессования позволяет получать изделия из ДПК одного состава, который не может в полной мере удовлетворять всему комплексу требований, предъявляемых к деталям горно-шахтного оборудования.

Для решения этой проблемы был разработан метод формирования погонажных изделий с переменными по толщине свойствами. Сущность технологии, реализующей этот метод заключается в том, что в наружную и внутреннюю полости формирующего канала, разделенного подвижной перегородкой, одновременно подаются две разнородные по составу композиции (рис.1). В процессе прессования (прямой ход пуансона) происходит синхронное и противоположно направленное перемещение прессуемой массы и перегородки, а освобождаемое перегородкой пространство заполняется пресс-массой обоих составов. В результате между наружным и внутренним слоями образуется переходной слой, состоящий из смеси обеих композиций. Изменяя диаметр и толщину подвижной перегородки, можно управлять градиентом физико-механических свойств по толщине изделия.

Разработанная технология позволяет получать изделия, у которых отсутствует четко выраженная граница раздела между композитами различных составов и наблюдается плавное изменение свойств по толщине. В отличие от традиционно применяемых технологий слоистых изделий, исключается необходимость поиска методов повышения адгезионной прочности соединения слоев. При изготовлении изделий, высота которых соизмерима с диаметром, например, заготовок подшипников скольжения, предложено применять тонкие перегородки из спрессованной, но не отвержденной ДПК, которая по содержанию наполнителей занимает промежуточное положение между композициями внутреннего и наружного слоев. Поскольку оба слоя изделия формируются при одинаковых температурно-временных и силовых режимах, то ДПК для них различались только типом и содержанием наполнителей. В качестве связующего во всех случаях выбирался ФФО.

Установлено, что зависимости механических свойств ДПК на основе ФФО от температуры T и давления P прессования графически изображаются кривыми с максимумами при $P_0=35\div 45$ МПа и $T_0=155\div 165$ °С. Причем, рост содержания волокнистого наполнителя в ДПК вызывает смещение координат максимумов в область более высоких давлений. Увеличение P и T после

достижения оптимальных значений вызывает разрушение структуры древесных частиц и достижение чрезмерной степени сшивки связующего, что приводит к падению механических характеристик ДПК. Для снижения T_g до уровня, ниже температуры начала разложения структуры древесных частиц ($T=150\text{ }^\circ\text{C}$), было предложено вводить в состав связующего оксиды цинка и хрома. Установлено, что это позволяет снизить температуру начала отверждения ДПК до $145\text{ }^\circ\text{C}$, что объясняется возникновением в полимерной сетке дополнительных координационных связей. Возможно также, что оксиды цинка и хрома способствуют также возникновению комплексов, склонных к образованию поперечных связей с элементами структуры лигнина.

Известно, что частичная замена древесных частиц волокнами, выполняющими роль армирующего наполнителя, позволяет значительно повысить ударную вязкость α_u и сопротивление ДПК разрушению при изгибе σ_u . Однако этот эффект достигается при высокой прочности адгезионного взаимодействия связующего с волокнистым наполнителем. Исследования показали, что свойствами ДПК можно управлять путем изменения влагосодержания S_e волокон. Так, увеличение S_e арамидных волокон приводит к немонотонному изменению механических свойств (α_u , σ_u), пористости и влагопоглощения изделий из высоконаполненных композитов. Оптимальные значения указанных параметров наблюдаются при содержании сорбционной влаги в пределах 2-6 мас.% в зависимости от типа волокна. При этом, растет текучесть пресс-композиции и увеличиваются в 1,1-1,6 раза α_u и σ_u .

Экспериментально установлено, что этот эффект обусловлен влиянием ряда факторов. С ростом содержания сорбционной влаги увеличивается разрывное удлинение волокон вследствие ее пластифицирующего действия на поверхностный слой. При $S_e = 2,5-4,5$ мас.% достигает минимального значения краевой угол смачивания θ волокна связующим ($\theta = 26 - 28^\circ$). Однако основной причиной изменения механических характеристик композита является то, что увеличение S_e до 8 мас.% ускоряет процесс отверждения связующего. Это подтверждается реокинетическими исследованиями и расчетными значениями скоростей реакции отверждения. Ускоряющее действие влаги особенно заметно при низких температурах и на более глубоких стадиях отверждения. Сорбционная влага способствует также повышению степени сшивки связующего, о чем свидетельствует увеличение температуры его стеклования. Ответственными за дополнительную сшивку полимерной матрицы являются гидроксильные группы. Следовательно, регулирование S_e волокнистого наполнителя является эффективным технологическим методом повышения физико-механических свойств ДПК.

Исследования показали, что наиболее вероятной областью концентрации микротрещин и разрушения является граница раздела слоев, формируемых соседними циклами прессования. Для повышения прочности материала на

границе раздела предложено торцевую поверхность пуансона выполнять криволинейной и сообщать ему вращательное движение при выходе из формирующего канала. При повороте пуансона выступы его торцевой поверхности рыхлят верхний слой спрессованной заготовки, что обеспечивает возможность проникновения в объем этого слоя древесных частиц следующей порции композита. Такое решение позволяет получать погонажные изделия с высокой стабильностью степени уплотнения материала по объему изделия и равномерным распределением механических свойств по длине.

Для получения высокопрочных корпусов роликов, эксплуатирующихся в условиях воздействия ударных нагрузок, была разработана технология продольно-поперечного армирования полых цилиндрических изделий. Сущность ее в том, что гильза и сердечник, образующие формирующий канал, снабжены фильерами, через которые в пресс-массу подаются армирующие струны. В процессе прессования сердечник поворачивается на заданный угол, укладывая струну по спирали. Струны, пропускаемые через фильеры неподвижной гильзы и перемещающиеся вместе с пресс-массой, осуществляют ее продольное армирование. В результате в объеме изделия образуется армирующая сетка, форма и размеры ячейки которой регулируются соотношением скоростей вращательного движения сердечника и поступательного - пуансона. Продольно-поперечное армирование позволяет повысить сопротивление корпусов роликов разрушению в 1,3-1,7 раза.

Четвертая глава содержит данные о свойствах ДПК различного состава и закономерностях их изменения в зависимости от режимов нагружения и состава окружающей среды.

Горно-шахтное оборудование эксплуатируется в воздушно-соляной среде, содержащей сильвинит, хлористый калий и хлористый натрий, а также в растворах этих солей и фосфорной кислоты. Поэтому были выполнены исследования по выбору типа связующего, определяющего хим-влагостойкость и другие свойства ДПК. Показано, что высокой стабильностью механических свойств обладают ДПК на основе ФФО. После выдержки в течение 720 часов в растворах указанных веществ α_c и σ_c этих композитов снижаются в среднем на 12%. Для ДПК на основе ПС этот показатель находится в интервале 25-40%. Наименее стойкой оказалась композиция на основе ПВХ (свыше 50%), что связано с низкой адгезионной способностью связующего к частицам древесины.

Оптимизация содержания древесных частиц (x_1), волокнистого наполнителя (x_2) и ФФО (x_3) в композиции проводилась с применением центрального композиционного ротатбельного планирования. Установлено, что максимумы α_c и σ_c ДПК достигаются при содержании древесных частиц, соответствующем 54-57 мас.%. Для композитов с более высоким x_1 характерна слабая адгезия связующего с наполнителем, обусловленная не полным обвола-

квиванием наполнителя олигомером и уменьшением вероятности его проникновения в капилярно-пористую систему древесины. При значении x_1 ниже оптимального, толщина слоя связующего между частицами наполнителя становится достаточной для его хрупкого разрушения. В кодированных переменных влияние факторов x_2 и x_3 на ударную вязкость и прочность на изгиб при оптимальном значении x_1 адекватно описывается следующими соотношениями:

$$\alpha_y = 26,3 + 2,6x_2 + 3,1x_3 + 0,08x_2x_3 - 2,4x_2^2 - 2,1x_3^2 \quad (3)$$

$$\sigma_u = 105,8 + 14x_2 + 6,9x_3 - 0,12x_2x_3 - 9,2x_2^2 - 9,34x_3^2$$

Канонический анализ уравнений (3) и решение компромиссной задачи показали, что α_y и σ_u достигают максимума при 22-25 мас.ч. ФФО, и 12-18 мас.ч волокнистого наполнителя (рис.2). Таким образом, содержание волокнистого наполнителя по отношению к x_1 должно находиться в интервале 0,21-

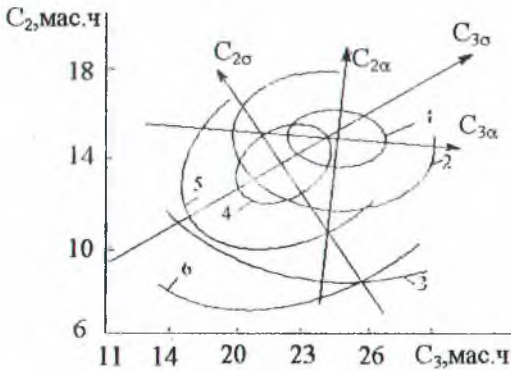


Рис. 2 Сечение поверхностей отклика, характеризующих ударную вязкость и прочность ДПК на изгиб, плоскостью, соответствующей оптимальному содержанию древесных частиц ($C_1=55$ мас.%) 1 - $\alpha_y = 28$ кДж/м²; 2 - 27; 3 - 25; 4 - $\sigma_u = 110$ МН/м²; 5 - 105; 6 - 90

0,33, а по отношению к x_3 - в интервале 0,5-0,88. Эти соотношения остаются справедливыми для стеклянных, полиакрилонитрильных и арамидных волокон. При этом возможно введение до 10 мас.% целевых добавок.

ДПК приведенного состава обладают высокими механическими характеристиками ($\alpha_y = 29-36$ кДж/м², $\sigma_u = 91-130$ МН/м², $\sigma_c = 179-193$ МН/м²), способны выдерживать длительное воздействие циклических ударных нагрузок и могут быть использованы для формования несущего

слоя корпусов роликов, подшипников скольжения и трубопроводов. Рабочий слой деталей эксплуатируется в условиях фрикционного нагружения. Поэтому, сохраняя высокие прочностные свойства, он должен удовлетворять требованиям, предъявляемым к триботехническим материалам. Введение в состав ДПК сухих смазок (стеараты кальция и цинка, оксид цинка, йодистый калий, фторопласт) до $C_a=3$ мас. % не вызывает существенного снижения α_y и σ_u , а коэффициент трения f уменьшается в 1,3-2 раза. При дальнейшем увеличении содержания сухих смазок f монотонно уменьшается, но при этом образуется сольватирующий слой, препятствующий адгезион-

ному взаимодействию связующего и наполнителя, что приводит к значительному падению α , и σ_u . Установлено, что f и прочностные характеристики, являясь конкурирующими факторами, обуславливают немонотонную зависимость интенсивности J изнашивания ДПК по стали и закрепленному абразиву от C_a . Минимум кривой $J(C_a)$ наблюдается в интервале 2,5-4 мас.% в зависимости от типа смазки.

Экспериментальные исследования показали, что для легконагруженных узлов трения эффективно применение ДПК, модифицированных оксидом цинка. Повышение нагрузочной способности достигается при использовании смеси оксида цинка (2,5 мас.%) с йодистым калием (1,0 мас.%). Композиты, содержащие стеараты металлов, отличаются высокой стабильностью триботехнических характеристик при изменении нормальной нагрузки.

На основании выявленных закономерностей трения и изнашивания ДПК были разработаны рекомендации по выбору типа и содержания наполнителей в зависимости от условий эксплуатации. В частности, показано, что формирование рабочего слоя корпусов ленточных конвейеров, эксплуатирующихся при трении качения в присутствии абразива, должно осуществляться из ДПК, содержащего 1,0-2,5 мас.% стеарата цинка или кальция. При этом снижается f и увеличивается сопротивление ДПК изнашиванию.

Рабочий слой трубопроводов, по которым осуществляют транспортировку солевых растворов, подвергается воздействию потока абразивных частиц и химически активных веществ. В этих условиях древесные частицы, волокна которых ориентированы вдоль вектора скорости солевого потока, обеспечивают низкое сопротивление ДПК абразивному изнашиванию. Замена 50% входящих в состав ДПК древесных частиц измельченными отходами кожи повышает долговечность трубопроводов в 1,8-2,1 раза. Обладая пористо-волокнистой структурой и хорошей адгезионной способностью к связующему, частицы кожи обеспечивают возможность получения ДПК с высокими стойкостью к воздействию агрессивных сред и сопротивлением абразивному изнашиванию.

Подшипники скольжения роликоопор эксплуатируются в воздушно-соляной среде при воздействии ударных нагрузок. Возможно попадание в зону трения мелкодисперсных твердых частиц горной породы и растворов хлористого калия и поваренной соли. Моделируя такие условия эксплуатации подшипников, установили, что введение волокнистых наполнителей в ДПК, несмотря на повышение α , и σ_u , приводит к снижению износостойкости рабочего слоя и сопрягаемого с ним вала ролика. Увеличение содержания волокон C_u в композиции сопровождается монотонным ростом интенсивности изнашивания, обусловленным повышением адгезионной составляющей коэффициента трения и температуры фрикционного нагрева. При

этом Минимум кривой зависимости $f(P)$ и допустимый предел нормальной нагрузки смещаются в область малых значений P .

Показано, что сопротивление ДПК изнашиванию в присутствии абразива повышается в 1,4-1,7 раза при введении в его состав до 8 мас.% частиц эластомеров. Этот эффект более ощутим при воздействии на ДПК солевых растворов, которые, по-видимому, являются основным источником кристаллизации в зоне контакта частиц солей, оказывающих абразивное действие. При трении эластомер деконцентрирует напряжения в зоне контакта рабочего слоя подшипника с абразивом. При содержании эластомера свыше 8 мас.% сопротивление ДПК изнашиванию снижается, что в значительной мере обусловлено падением прочностных характеристик композита.

Пятая глава содержит сведения о практическом применении полученных результатов.

Описаны разработанные и запатентованные составы ДПК для изготовления несущего и рабочего слоев корпусов роликов, подшипников скольжения и труб. Разработана методика прогнозирования долговечности роликоопор ленточных конвейеров. Показано, что основным эксплуатационным фактором, определяющим их долговечность, является экспоненциально возрастающая с увеличением скорости вращения ролика циклическая радиальная нагрузка, вызванная неточностью изготовления корпуса и налипанием на его поверхность транспортируемого материала.

Для получения заготовок деталей заданной длины в технологический процесс включена операция расчленения полых цилиндров, реализующая разработанные способ и устройство и осуществляемая без остановки процесса прессования. Сущность способа заключается в том, что на выходе изделия из формующего канала установлено приемное устройство в виде крестовины, поворот которого осуществляется синхронно с перемещением отрезного механизма и пуансона. Изготовление подшипников скольжения заданной длины осуществляется путем периодической подачи в зону уплотнения формующего канала смеси талька и стеарата цинка, которая препятствует спрессовыванию соседних порций композиции.

Эксплуатационные испытания изделий из ДПК на сильвинитовых обогатительных фабриках и рудниках ПО "Беларуськалий" показали, что они обладают более высокой долговечностью по сравнению с традиционно применяемыми аналогами. Замена металла на ДПК позволила снизить металлоемкость изготавливаемых деталей в 2,4-7 раз, значительно уменьшить стоимость и энергопотребление подъемно-транспортного оборудования.

На опытном производстве Солигорского института проблем ресурсосбережения организовано серийное изготовление деталей трубопроводов, корпусов роликов ленточных конвейеров, подшипников скольжения барабанных фильтров и роликоопор. Внедрение на ПО "Беларуськалий" 36 тыс. штук

деталей и 480 погонных метров трубопровода позволило получить в 1996 году экономический эффект в размере 1435 млн. руб., при этом экономия трубного стального проката составила 240 тонн.

ВЫВОДЫ

1. На основе анализа реологических состояний ДПК при перемещении вдоль формирующего канала с изменяющейся температурой получены соотношения, позволяющие определять оптимальную длину реологических зон с учетом теплофизических и механических свойств композиции, формы и размеров формируемого изделия. Показано, что поверхность раздела зон вязко-пластического и жесткого состояний ДПК в канале кругового сечения имеет форму эллипсоида вращения ограниченной цилиндрической поверхностью.

2. Разработана технология погонажных изделий заданной или бесконечной длины с переменными по толщине свойствами. Сущность ее в том, что одновременно подаваемые в зону уплотнения разнородные по составу ДПК и разделяющая их (по периметру) перегородка в процессе прессования перемещаются синхронно в противоположные стороны, а освобождаемое перегородкой пространство заполняется смесью композиций обоих составов.

3. Установлено, что механические характеристики ДПК на основе термоактивного связующего зависят от влагосодержания армирующих волокон. Графически эта зависимость изображается кривой с максимумом, координата которого зависит от типа армирующего наполнителя и связующего. Для арамидных волокон максимум наблюдается при содержании 2-6 мас.% сорбционной влаги. Анализ термомеханических и реокинетических кривых показал, что этот эффект обусловлен повышением степени сшивки и ускорением процесса отверждения связующего. Роль ускоряющего действия сорбционной влаги более существенна при низких температурах и на более глубоких стадиях отверждения. Повышению механических характеристик ДПК способствуют также пластификация поверхностного слоя волокон в присутствии влаги и уменьшение краевого угла смачивания.

4. Изучено влияние оксидов металлов на процесс отверждения фенолоформальдегидного олигомера. Установлено, что температура начала отверждения ДПК снижается на 10-15 °С при введении в их состав оксидов цинка или хрома, способствующих образованию дополнительных координационных связей в полимерной сетке.

5. Разработаны технологические приемы повышения прочности изделий из ДПК и устройства для их реализации, обеспечивающие формирование армирующей сетки в объеме изделия и исключающие возможность образования участков с низкой когезионной прочностью, которые разделяют части детали, сформированные соседними циклами прессования. Эти методы реа-

лизуются путем сообщения вращательного движения пуансону с криволинейной торцевой поверхностью и сердечнику, образующему внутреннюю поверхность формирующего канала и содержащему фильеры для подачи армирующих струн в зону прессования. Форма и размеры армирующей сетки регулируются соотношением скоростей вращательного движения сердечника и поступательного - пуансона.

6. Получена немонотонная зависимость интенсивности изнашивания ДПК по закреплённому абразиву от содержания антифрикционных наполнителей, которая обусловлена снижением коэффициента трения и прочностю ДПК. Максимальная износостойкость композита наблюдается в интервале 2,5-4 мас.%, в зависимости от природы наполнителя. Установлено, что сопротивление ДПК гидроабразивному изнашиванию химически активной средой, содержащей абразивные частицы, значительно повышается при введении в его состав до 32 мас.% измельченных отходов кожи или эластомеров.

7. Разработаны и защищены 13 патентами РБ и РФ новые высоконаполненные древесно-полимерные материалы, устройства и технология серийного изготовления слоистых и с переменными по толщине свойствами деталей трубопроводов, корпусов роликов ленточных конвейеров, подшипников скольжения роликоопор и барабанных фильтров. Годовой экономический эффект от внедрения результатов исследований на ПО "Беларуськалий" составил 1435 млн. руб., а экономия трубного стального проката - 240 тонн в год

Основные результаты диссертации изложены в публикациях:

1. Прушак В.Я., Щерба В.Я., Заяц И.М., Протасеня А.В. Особенности процесса получения изделий из древесно-полимерных композитов методом импульсного прессования // Вести АН Б, сер. физ.-техн. наук.-1995.-N3.-С 44-47
2. Мокиенко Р.Л., Черкасова Н.Г., Михайлова О.И., Протасеня А.В., Заяц И.М. Влияние сорбционной влаги арамидных волокон на свойства органопластиков на основе терморезистивных связующих // Вести АНБ, сер. физ.-техн. наук - 1995. - N4.- С.15-19.
3. Заяц И.М. Триботехнические и физико-механические характеристики древесно-полимерных пресс-композиций // Трение и износ - 1996.- Т.17.- N4. - С.554-558.
4. Barsukov V.G., Sveklo J.F., Zayats I.M., Shapovalov V.M. Friction aspects of efficiency of extrusion equipment for processing of high-filled composites // Quality of machines. Nitra. - 1996.- P.92-94.

5. Заяц И.М. Особенности формирования погонажных изделий из древесно-полимерных композитов с использованием металлической арматуры // Вести АНБ, сер. физ.-техн. наук.- 1996.-N3.- С.50-52.
6. Prysak W., Szczerba W., Zajac I. Poprawa trwalosci przenosnikow tasmowych w zakladach prztrobki soli potasowych// Trwalosc elementow i wezlow konstrukcyjnych maszyn gornicznych.- 1996.- С.1-3.
7. Барсуков В.Г., Заяц И.М. Поверхность раздела реологических зон экструзионного канала кругового сечения при переработке высоконаполненных пресс-композиций // Материалы, технологии, инструменты.- 1996.- N1.- С.46-48.
8. Прушак В.Я., Заяц И.М. Долговечность и надежность роликов ленточных конвейеров //Материалы, технологии, инструмент.-1996. - N1. - С.-93-95.
9. Прушак В.Я., Заяц И.М., Делендик В.П. Технология и устройство для изготовления полых погонажных изделий из композиционных пресс-масс // Применение композиционных материалов в народном хозяйстве: Тез. докл. конф. - Солигорск, 1992.-С.94
10. Прушак В.Я., Щерба В.Я., Заяц И.М., Прогасеня А.В. Технология производства труб на основе бинарных композитов // Тез. докл. межд. симп. по трибофатике: Гомель, 1993. - С.78.
11. Прушак В.Я., Щерба В.Я., Заяц И.М. Продольно-поперечное упрочнение погонажных изделий из композиционных материалов // Современные материалы, оборудование и технологии упрочнения и восстановления деталей машин: Тез. докл. коф. Новополоцк, 1995. - С.93.
12. Заяц И.М. Влияние антифрикционных модификаторов на физико-механические свойства древесно-полимерных композиционных материалов // "НОМАТЕХ": Тез. докл. конф.- Минск, 1996. - С.56-57.
13. Пат. N 2005613 (РФ) В29С. Устройство для изготовления полых погонажных изделий из пресс-масс / Прушак В.Я., Заяц И.М. (РБ); - 5018903; Заявл. 24.12.91; Оpubл. 15.01.94; БИ. N1.
14. Пат. N 974 (РБ) В27N. Устройство для изготовления полых погонажных изделий из пресс-масс / Прушак В.Я., Заяц И.М.(РБ); - 86А; Заявл. 14.01.93; Оpubл. 15.12.95; АБ N1.
15. Пат. N 2026184 (РФ) В29С. Устройство для изготовления полых погонажных изделий из композиционных пресс-масс / Прушак В.Я., Заяц И.М. (РБ); - 5060959; Заявл.4.06.92; Оpubл.9.01.95; БИ. N2.
16. Пат. N 832 (РБ) В27N. Устройство для изготовления погонажных изделий из пресс-масс / Прушак В.Я., Заяц И.М. (РБ); -71А; Заявл.04.01.93; Оpubл.15.08.95; АБ N3.

17. Пат. N2047626(РФ) С08L. Полимерная пресс-композиция / Прушак В.Я., Щерба В.Я., Заяц И.М. (РБ); - 5058453; Заявл.11.08.92; Опубл.10.11.95; БИ. N31.
18. Пат. N845(РБ) С08L. Древесная пресс-композиция / Прушак В.Я., Заяц И.М.(РБ); - 109А; Заявл.26.01.93; Опубл.15.08.95; АБ N1
19. Решение по заявке N 950012 (РБ). С08J. Антифрикционная полимерная пресс-композиция / Прушак В.Я., Щерба В.Я., Протасеня А.В., Заяц И.М. (РБ). Заявл. 4.01.1995.
20. Пат. N 2026789 (РФ) В29С. Устройство для изготовления полых изделий из разнородных древесных пресс-масс / Прушак В.Я., Заяц И.М.(РБ); - 50568837; Заявл.28.07.92; Опубл.20.01.95; БИ N2
21. Пат. N 2026790 (РФ) В29С. Устройство для изготовления полых изделий из разнородных пресс-масс / Прушак В.Я., Заяц И.М. (РБ); - 5058266; Заявл.10.08.92; Опубл.20.01.95; БИ N2
22. Пат. N 2041817 (РФ) В27N. Способ получения погонажных изделий из пресс-масс и устройство для его осуществления / Прушак В.Я., Щерба В.Я., Заяц И.М.(РБ); - 5068186; Заявл. 29.07.92; Опубл. 10.11.95; БИ N23.
23. Пат. N 2051789 (РФ) В27N. Устройство для получения полых погонажных изделий заданной длины из пресс-масс / Прушак В.Я., Щерба В.Я., Заяц И.М. (РБ); - 5057029; Заявл.29.07.92; Опубл.10.01.96; БИ N1.
24. Пат. N1049(РБ) С08L. Древесная пресс-композиция / Прушак В.Я., Заяц И.М.(РБ); - 110А; Заявл.26.01.93; Опубл.14.03.96; АБ N1
25. Решение по заявке N2599 (РБ) С08L. Полимерная композиция / Прушак В.Я., Щерба В.Я., Протасеня А.В., Заяц И.М. (РБ). Заявл. 12.12.1994.

Р Э З Ю М Э ЗАЯЦ ІРЫНА МІХАЙЛАЎНА

Распрацоўка тэхналогіі паганажных вырабаў з пераменнымі па таўшчыні ўласцівасцямі з драўнянапапімерных кампазітаў

Адгезія, арміраванне, валакно, даўгавечнасць, драўняныя часціцы, кампазіт, напаяльнік, зацвярдзенне, паганажны выраб, трываласць, рэалагічная зона, звязваючае, тэхналогія, фенолафармальдэгідны алігамер, фармуючы канал.

Аб'ект даследавання: драўнянапапімерныя кампазіты.

Мэта работы: распрацоўка тэхналогіі атрымання з высоканапоўненых драўнянапапімерных кампазіцый разнастайнага саставу паганажных вырабаў з пераменнымі па таўшчыні ўласцівасцямі для пад'ёмна-транспартнага абсталявання.

Метады даследавання і апаратура - метады ІК-спектраскапіі, дыферэнцыяльна-тэрмічнага і тэрмамеханічнага аналізу, машыны трэння, распрацаваныя прылады і стэнды.

Прыведзены суадносіны для вызначэння аптымальных даўжынь зон фармуючага канала, якія ўлічваюць цеплафізічныя і механічныя ўласцівасці кампазіцыі, форму і памеры вырабу, атрыманага імпульсным прэсаваннем. Апісаны распрацаваныя тэхналогія і прыстасаванні для яе рэалізацыі, якія дазваляюць атрымліваць з высоканапоўненых драўнянапапімерных кампазіцый (ДПК) паганажныя вырабы з пераменнымі па таўшчыні ўласцівасцямі.

Прапанаваны тэхналагічныя метады ўмацавання вырабаў з ДПК шляхам дасягнення аптымальнага ўтрымання вільгаці арміруючымі валокнамі, ажыццяўлення падоўжна-папярочнага арміравання вырабаў і дасягнення раўнамернага размеркавання шчыльнасці кампазіту і кагезійнай трываласці па даўжыні вырабу.

Распрацаваны новыя матэрыялы для атрымання карпусоў ролікаў стужкавых канвейераў, трубаправодаў, подшыпнікаў слізгацення ролікаапор і барабанных фільтраў. Рэалізацыя вынікаў даследаванняў на ВА "Беларуськалій" дазваляе эканоміць 240 тон трубнага сталевага пракату ў год.

РЕЗЮМЕ

ЗЯЦ ІРИНА МИХАЙЛОВНА

Разработка технологии погонажных изделий с переменными по толщине свойствами из древесно-полимерных композитов

Адгезия, армирование, волокно, долговечность, древесные частицы, композит, наполнитель, отверждение, погонажное изделие, прочность, реологическая зона, связующее, технология, фенолоформальдегидный олигомер, формирующий канал.

Объект исследования: древесно-полимерные композиты.

Цель работы: разработка технологии получения из высоконаполненных древесно-полимерных композиций разнородного состава погонажных изделий с переменными по толщине свойствами для подъемно-транспортного оборудования.

Методы исследования и аппаратура - методы ИК-спектроскопии, дифференциально-термического и термомеханического анализов, машины трения, разработанные устройства и стенды.

Приведены соотношения для определения оптимальных длин зон формирующего канала, учитывающие теплофизические и механические свойства композиции, форму и размеры изделия, получаемого импульсным прессованием. Описаны разработанные технология и устройства для ее реализации, позволяющие получать из высоконаполненных древесно-полимерных композиций (ДПК) погонажные изделия с переменными по толщине свойствами. Предложены технологические методы упрочнения изделий из ДПК путем достижения оптимального влагосодержания армирующих волокон, осуществления продольно-поперечного армирования изделий и равномерного распределения плотности композита и когезионной прочности по длине изделия.

Разработаны новые материалы для получения корпусов роликов ленточных конвейеров, трубопроводов, подшипников скольжения роликоопор и барабанных фильтров. Реализация результатов исследований на ПО "Беларуськалий" позволяет экономить 240 тонн трубного стального проката в год.

SUMMARY

Zayats Irina Mikhailovna

The development of technology for wood-polymer composite-based continuous articles with varying across thickness properties

Adhesion, reinforcement, fiber, longevity, wood particles, composite, filler, curing, continuous article, strength, rheological zone, binder, technology, phenol-formaldehyde oligomer, forming channel.

The object of investigation are wood-polymer composites.

The aim of the work is to develop a technology for continuous article based on high-filled wood-polymer composite with varying across thickness properties intended for hosting-and-conveying machinery.

Experimental technique involves IR spectroscopy, DTA and thermomechanical analysis as well as friction machines and developed devices and benches.

Formulae to calculate optimal length of forming channel zones have been obtained. The analysis takes into account thermo-physical, mechanical properties of composite material as well as shape and dimensions of parts obtained by pulse molding. The technology developed and the devices for its realization are described used to obtain the mentioned articles. Optimizing content of reinforcing fiber moisture, longitudinal and transversal reinforcement of parts as well as creation of uniform distribution of material density and its cohesive strength along part length have been proposed to increase the strength of wood-polymer based parts.

New materials for roller bodies of belt conveyors, pipelines, idler plain bearings and drum filters have been developed. Use of the results obtained at "Belaruskaliy" leads to economics effect equal to 240 tons of steel rolled stock per year.

Заяц Ирина Михайловна

Разработка технологии погоняжных изделий с переменными по толщине свойствами из древесно-полимерных композитов

Подписано в печать 23.05.97. Формат 60x84 1/16. Печать офсетная. Усл.печ.л. 1.3. Усл.кр. - оп. 1.3. Уч. -изд. л. 1.1. Тираж 80 экз.
Заказ **222**.

Белорусский государственный технологический университет
220630, Минск, Свердлова, 13а

Отпечатано на ротапринтере Белорусского государственного технологического университета
220630, Минск, Свердлова 13а