

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Казанский национальный исследовательский
технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ»
(КНИТУ-КАИ)

Институт авиации, наземного транспорта и энергетики (ИАНТЭ)

кафедра «Производство летательных аппаратов»

Направление подготовки 22.03.01 «Материаловедение и технологии
материалов»

Профиль «Конструирование и производство изделий из композиционных
материалов»

К защите допустить

Зав. каф. ПЛА

В.И. Халиулин

«___» _____ 20___ г.

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

на тему «Разработка способа и оснастки для оптимизации параметров
инфузии связующего по параметру порообразования»

ОБУЧАЮЩИЙСЯ Латыпов К.Р.
(инициалы, фамилия) (личная подпись)

РУКОВОДИТЕЛЬ Бодунов Н.М.
(ученая степень, звание, инициалы, фамилия) (личная подпись)

Казань 2025

THE MINISTRY OF SCIENCE AND HIGHER EDUCATION

OF THE RUSSIAN FEDERATION

federal state budgetary educational institution of higher education
«Kazan National Research Technical University named after A.N.Tupolev-KAI»
(KNRTU-KAI)

Institute of Aviation, Land Transportation and Power Engineering

Department for Aircraft Manufacturing

Direction of training 22.03.01 «Materials Science and Materials technology»

Major «Design and manufacture of composite materials»

Approved for diploma protection

Head of Department

V.I.Khaliulin

«__» ____ 20 ____ г.

GRADUATION QUALIFICATION WORK

on the topic « Development of a method and equipment for optimizing the
parameters of binder infusion according to the vaporization parameter »

STUDENT Latypov K.R.

(инициалы, фамилия)

(личная подпись)

SUPERVISOR Bodunov N.M.

(ученая степень, звание, инициалы, фамилия) (личная подпись)

Kazan 2025

АННОТАЦИЯ

**ИНФУЗИЯ, ПОРООБРАЗОВАНИЕ, ПРОНИЦАЕМОСТЬ, СКОРОСТЬ
ПРОПИТКИ, МОДЕЛЬ ПОРООБРАЗОВАНИЯ.**

Цель работы:

В процессе работы были изготовлены образцы пластин на основе углеродной ткани. Предложено два варианта пропитки: под давлением и под вакуумом. Определены такие свойства как пористость, коэффициент наполнения. Выбраны оптимальные соотношения скорости и времени для получения изделия с наименьшим количеством пор.

Разработана формообразующая оснастка для получения РЛВ. Экспериментально изготовлены образцы РЛВ и определены их свойства.

Результаты исследования могут быть использованы для создания РЛВ, отвечающее требованиям, для которых будет изготовлено изделие.

ANNOTATION

INFUSION, VAPORIZATION, PERMEABILITY, IMPREGNATION RATE, PORE FORMATION MODEL.

The purpose of the work:

In the course of the work, samples of plates based on carbon fabric were produced. Two options of impregnation are offered: under pressure and under vacuum. Properties such as porosity and filling coefficient are determined. Optimal ratios of speed and time have been selected to obtain a product with the least number of pores.

Forming equipment has been developed for producing RFCs. RLV samples were experimentally produced and their properties were determined.

The results of the study can be used to create an RV that meets the requirements for which the product will be manufactured.

ВВЕДЕНИЕ

Современные высокотехнологичные отрасли, такие как авиастроение, автомобилестроение и ветроэнергетика, активно внедряют композитные материалы, сочетающие легкость, прочность и коррозионную стойкость. Главное направление развития этих отраслей является внедрение композитных материалов, сочетающих уникальные свойства: малый вес, высокую механическую прочность, коррозионную стойкость и долговечность. Одним из ключевых методов их производства является инфузия связующего (Vacuum Infusion Process), которая обеспечивает высокое качество изделий при относительно низкой себестоимости. Однако широкое применение этой технологии ограничивается риском образования пор — дефектов, существенно снижающих механические характеристики композитов. Порообразование возникает из-за сложного взаимодействия множества факторов: реологических свойств связующего, геометрии преформы, параметров вакуумного давления, температурных режимов и кинетики отверждения. Устранение таких дефектов требует глубокого понимания физико-химических процессов, происходящих на этапе пропитки, и разработки системного подхода к оптимизации технологии.

Актуальность исследования обусловлена необходимостью:

Устранения ключевого недостатка инфузии — неконтролируемого образования микро- и макропор из-за сложного взаимодействия факторов (вязкости связующего, проницаемости преформы, режимов давления).

Так же повышения эффективности технологии для производства крупногабаритных и сложноформуемых деталей с минимальными дефектами.

Целью дипломной работы является разработка способа и специализированной оснастки для оптимизации параметров инфузии связующего, направленных на снижение порообразования в композитных материалах.

Цель работы:

Изучить процесс порообразования в композитных изделиях, изготовленных методом инфузии связующего:

В соответствие с целью работы были поставлены следующие **задачи:**

- Выявить основные закономерности, подтвердить/опровергнуть существующие представления о механизме процесса порообразования;
- Определить пористость изделия, путем разреза и шлифования;

Задачи исследования:

1. Провести анализ трансферных методов формования изделий из ПКМ
2. Разработка методики эксперимента.
3. Выбор материалов для экспериментальных работ, определение свойств материалов. Разработка расчётной модели в esi
4. Проведение эксперимента. Анализ полученных данных. Апробация результатов.

ГЛАВА 1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

1.1 Анализ существующих методов и технологий.

Процесс производства композитов[1] представляет собой сложный симбиоз науки и инженерии, где ключевую роль играет выбор технологии формования.

Одним из методов формования является RTM — это технология, при которой смола с низкой вязкостью заливается в закрытую форму, пропитывает армирующие материалы и затвердевает, принимая форму. Она относится к категории технологий жидкостного формования или структурного жидкостного формования композитных материалов. Суть метода заключается в предварительном размещении армирующих материалов, которые были предварительно спроектированы, вырезаны или механически сформированы в спроектированной форме. Форма должна иметь периферийную герметизацию и уплотнение, а также обеспечивать равномерное течение смолы. После закрытия формы в неё заливается определённое количество смолы, а после затвердевания смолы готовое изделие извлекается из формы.

Этот процесс обладает множеством преимуществ[41]. В нём можно использовать различные армированные волокнами материалы и полимерные системы, а также получать изделия с превосходной поверхностью. Он подходит для производства высококачественных изделий сложной формы, имеет высокое содержание волокон, меньшее количество летучих компонентов во время формования, меньшее загрязнение окружающей среды, хорошо адаптируется к автоматизации производства, требует небольших инвестиций и отличается высокой эффективностью производства. Поэтому технология RTM широко используется в автомобильной, аэрокосмической, оборонной промышленности, при производстве механического оборудования и электроники. Основным фактором, определяющим изделия RTM, является пресс-форма.

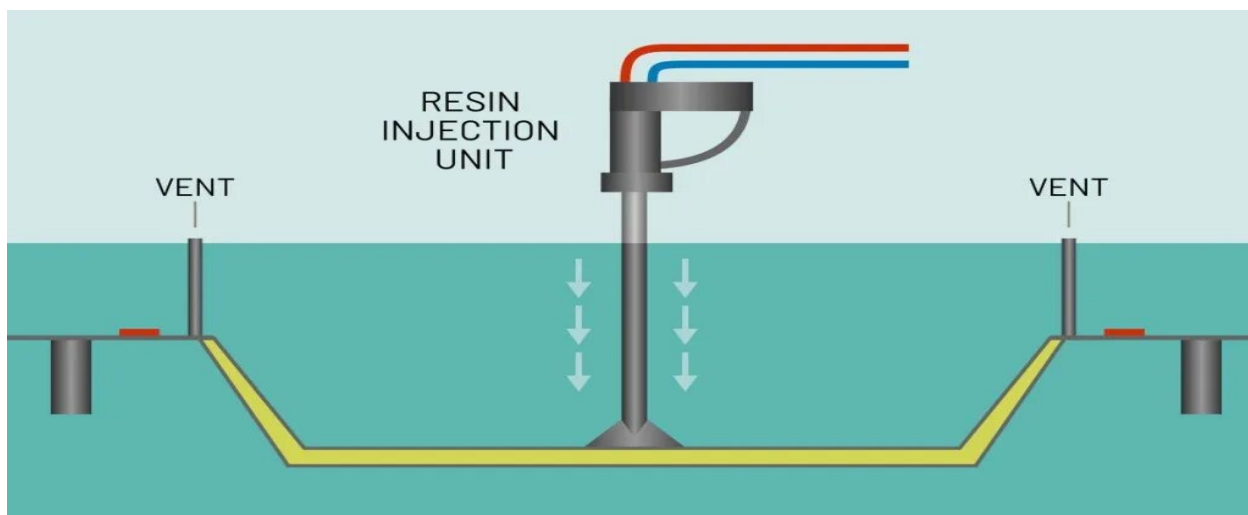


Рисунок 1.1 – Метод RTM



Рисунок 1.2 – Метод RTM в реальных условиях

Особое место занимает метод вакуумной инфузии[2], сочетающий экономичность, масштабируемость и высокое качество. Его способность равномерно пропитывать сложные армирующие преформы делает его незаменимым при создании крупногабаритных конструкций.

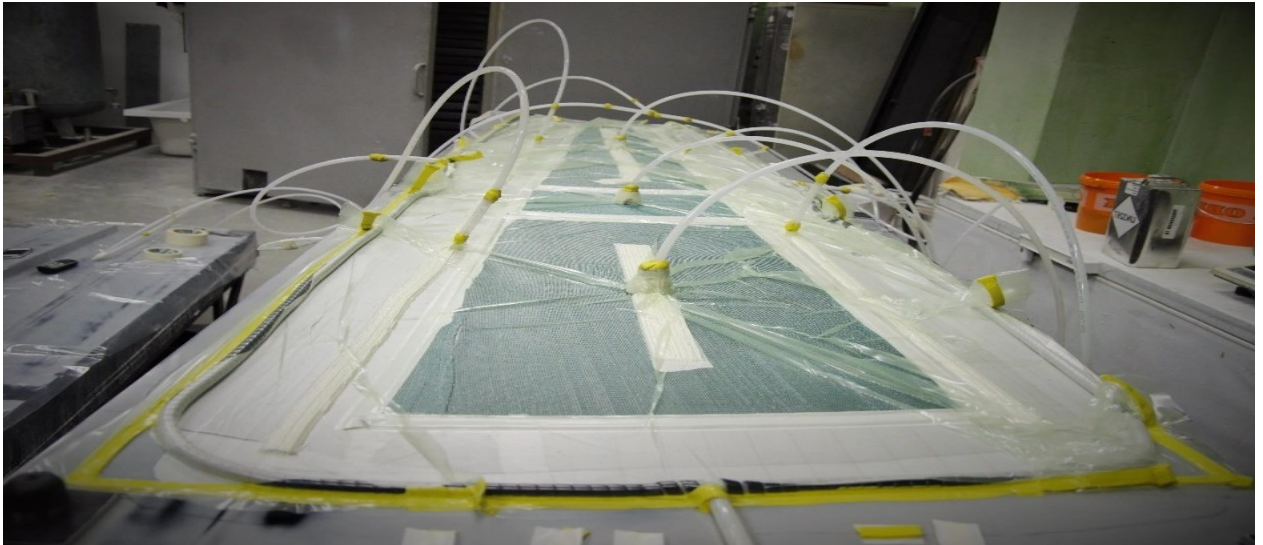


Рисунок 1.3 – метод вакуумной инфузии

Метод вакуумной инфузии[3] (VARI) широко применяется в производстве крупногабаритных композитных конструкций благодаря своей экономичности, масштабируемости и способности обеспечивать равномерное пропитывание сложных армирующих преформ (Рис. 1). В отличие от классического Resin Transfer Molding (RTM), где связующее подаётся под высоким давлением, VARI использует вакуум для удаления воздуха из преформы перед подачей смолы, что снижает риск захвата газовых включений.

Современные модификации метода, такие как Vacuum Assisted Resin Transfer Molding (VARTM), интегрируют дополнительные элементы управления потоком (например, распределительные сети или перфорированные плёнки), что улучшает пропитку и уменьшает образование сухих пятен. Однако даже при использовании VARTM остаются проблемы, связанные с неоднородностью микроструктуры армирующих материалов, особенно при работе с высокоплотными тканями, где межфиламентное пространство обладает крайне низкой проницаемостью.

На этапе пропитки основными параметрами являются скорость фильтрации связующего и пористость изделия.

Первостепенной задачей является выявление ключевых параметров, влияющих на процесс пропитки преформы при его математическом или экспериментальном моделировании. К таким параметрам могут относиться, например, вязкость связующего, давление и температура среды, время контакта материалов, геометрия преформы, скорость подачи смолы или характеристики пористой структуры армирующего материала.

Однако широкое применение этой технологии ограничивается риском образования пор[4],[11,12,32] — дефектов, существенно снижающих механические характеристики композитов[14,15,36,40]. Порообразование [27] возникает из-за сложного взаимодействия множества факторов: реологических свойств связующего, геометрии преформы, параметров вакуумного давления, температурных режимов и кинетики отверждения. Устранение таких дефектов требует глубокого понимания физико-химических процессов [31], происходящих на этапе пропитки [28], и разработки системного подхода к оптимизации технологии.

Модель возникновения пор при вакуумной инфузии процесс пропитки связующим армирующего пакета при инфузии традиционно принято описывать эмпирическим законом Дарси[5], открытым в середине 19 века при изучении фильтрации вязких жидкостей через пористые среды, представляющим собой предельный случай уравнений Навье-Стокса для течения жидкости между близкорасположенными параллельными плоскостями.

Экспериментальная установка, основанная на принципах закона Дарси, использовалась для оценки коэффициента проницаемости исследуемых материалов. В ходе испытаний образец пористой структуры размещался в специальном контейнере с перфорированным основанием. Через верхнюю часть системы подавался постоянный поток воды, которая просачивалась через материал. При достижении стабильного режима фильтрации (когда объем вытекающей жидкости за единицу времени переставал изменяться)

фиксируются временной интервал и суммарный объем прошедшей через образец воды.

Для расчета проницаемости K применялись данные о геометрических параметрах системы (высоты h_1 и h_2 и dd), длительности эксперимента и количестве фильтрата. Важным условием являлось соблюдение стационарного режима течения, при котором градиент давления и объемный расход оставались неизменными на протяжении всего измерения. Это обеспечивало корректность определения искомого параметра, характеризующего способность материала пропускать жидкости.

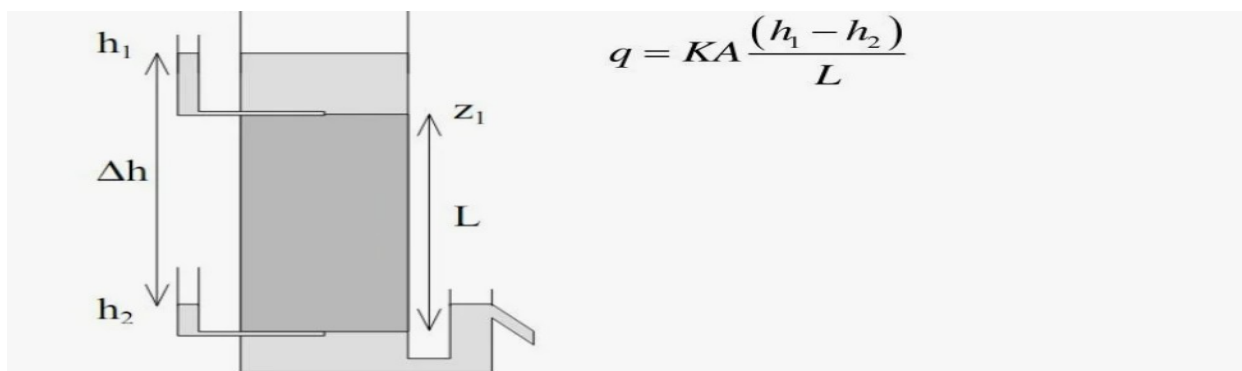


Рисунок 1.4 – экспериментальная установка

По закону Дарси скорость фильтрации пропорциональна градиенту давления и проницаемости среды и обратно пропорциональна вязкости жидкости:

$$\bar{v} = - \frac{K(V_f, T)}{\mu} \bar{\nabla} P.$$

где K - тензор проницаемости армирующего наполнителя, μ - вязкость связующего, V - скорость течения связующего, P - градиент давления, V - объемное содержание волокна, T - толщина пакета армирующего наполнителя.

Величины K , m , V , и Γ определяются экспериментально, а градиент давления $V^\circ p$ определяется в соответствии с технологическими параметрами процесса пропитки.

Хотя закон Дарси обеспечивает удовлетворительную точность для изотропных сред, его применение к анизотропным армирующим структурам (например, тканям с переплетёнными волокнами) требует учёта нелинейных эффектов. Например, при высоких скоростях потока или в зонах с резким изменением проницаемости (межфиламентные каналы) возникают отклонения от линейной модели.

Существует ряд работ [6],[7],[8], где описывают полные формулировки закона Дарси, его происхождения, формулировки, а так же полные выводы формул.

Для их описания используются расширенные уравнения, такие как модель Бринкмана, учитывающая инерционные эффекты:

$$\mu K \mathbf{v} + \rho (\mathbf{v} \cdot \nabla) \mathbf{v} = -\nabla P.$$

Образование пор в композитных материалах [9] в процессе инфузии связующего является сложной многофакторной проблемой, обусловленной взаимодействием физико-химических свойств материалов, параметров технологического процесса и внешних условий. Одной из ключевых причин дефектообразования выступают характеристики самого связующего.

Высокая вязкость смолы ограничивает её проникновение в плотные зоны преформы, способствуя формированию воздушных карманов, в то время как присутствие летучих компонентов (растворителей, влаги) приводит к газовыделению при нагреве или вакуумировании. Кроме того, кинетика отверждения играет критическую роль: ускоренное гелеобразование увеличивает вязкость до завершения заполнения пустот, фиксируя поры в структуре. Низкое поверхностное натяжение [17,18] связующего также ухудшает смачивание волокон, препятствуя заполнению микрополостей.

Важным аспектом являются параметры технологического процесса. Недостаточный вакуум не обеспечивает полного удаления воздуха из преформы и связующего, а высокая скорость инфузии провоцирует

«каналирование» — формирование зон с преимущественным потоком смолы, что оставляет незаполненные участки. Температурные условия напрямую влияют на поведение материала: перегрев ускоряет отверждение, сокращая время на дегазацию, а низкие температуры повышают вязкость, замедляя пропитывание. Отдельного внимания заслуживает подготовка связующего: неполная дегазация перед заливкой или нарушение стехиометрии при смешивании компонентов могут изменить реологические свойства смолы, усиливая склонность к порообразованию.

Структурные особенности преформы также вносят вклад в возникновение дефектов. В работе [19] указана, что низкая проницаемость волокнистого каркаса, вызванная плотной укладкой или сложной геометрией, создает зоны с неравномерным пропитыванием. Наличие остаточной влаги [26,30] в волокнах или абсорбция воды из окружающей среды при испарении формирует газовые включения. Неоднородная архитектура преформы, включая вариации плотности и ориентации волокон, усугубляет проблему, создавая локальные перепады скорости потока связующего.

Проницаемость, как ключевой параметр пористой среды, определяет способность волокнистой преформы пропускать жидкое связующее под действием градиента давления. Это свойство играет критическую роль в технологии вакуумной инфузии, где равномерное заполнение пустот между волокнами напрямую влияет на качество конечного композитного изделия. Согласно закону Дарси, скорость потока связующего (Q) через преформу пропорциональна градиенту давления (∇P) и проницаемости материала (k), обратно пропорциональна вязкости связующего (μ):

$$Q = -k\mu \cdot \nabla P$$

Данное уравнение подчеркивает, что при фиксированном вакуумном давлении эффективность пропитки зависит не только от реологических свойств смолы, но и от структурных характеристик преформы.

Проницаемость волокнистых структур формируется под влиянием множества факторов. Во-первых, геометрия и ориентация волокон задают базовую архитектуру порового пространства. Например, однонаправленные слои демонстрируют анизотропию — их продольная проницаемость может на порядок превышать поперечную из-за вытянутых каналов между параллельными волокнами. Во-вторых, плотность укладки волокон существенно снижает проницаемость: увеличение объемной доли волокон (VV_f) уменьшает размер и связность пор, затрудняя движение связующего. Экспериментальные исследования показывают, что при $V_f > 60\%$ проницаемость многих стекло- и углетканей падает экспоненциально, что требует применения повышенного вакуума [29] или модификации связующего. В-третьих, неоднородности в преформе, такие как зоны с перекрестной укладкой, локальные уплотнения или наличие вставок (например, сотовых заполнителей), создают области с резким изменением проницаемости, провоцируя неравномерное заполнение и захват воздуха.

Важным аспектом является также масштабный эффект. На микроуровне проницаемость определяется взаимодействием связующего с отдельными волокнами, включая явления смачивания и капиллярного впитывания. Однако на макроуровне, актуальном для инженерных расчетов, проницаемость рассматривается как усредненная характеристика, зависящая от статистического распределения пор и их связности. Это усложняет прогнозирование поведения материала, особенно для препрегов со сложной многослойной структурой. Современные подходы к оценке проницаемости включают экспериментальные методы (например, измерение потока через образец в условиях контролируемого давления) и численное моделирование на основе микромеханических моделей или данных микротомографии [33].

В контексте минимизации [22] порообразования оптимизация проницаемости преформы становится одной из приоритетных задач. Низкая проницаемость увеличивает время инфузии, что в сочетании с быстрым гелеобразованием связующего приводит к фиксации воздушных полостей.

Для решения этой проблемы применяются стратегии, направленные на улучшение структуры преформы: использование распределительных сеток, создание дополнительных каналов для потока смолы или предварительное нанесение связующего на отдельные участки. Кроме того, регулировка параметров процесса (вакуума, температуры) позволяет компенсировать ограниченную проницаемость. Например, нагрев связующего снижает его вязкость, увеличивая эффективную скорость потока даже в плотных преформах.

Имеется ряд работ, таких как [9-13], в которых рассматривается проблема формирования пор при течении флюида во внутриволокнистом пространстве преформы.

1.2 Исследование механизмов порообразования.

Для [10,20,21,23] описания возникновения пор в материале использовалась модель, согласно которой при пропитке могут возникать два типа пор: микропоры и макропоры. Макропоры (диаметром > 100 мкм) возникают при низких скоростях инфузии, когда капиллярные силы доминируют над силами вязкого течения (Рис. 5.а). В таких условиях связующее не успевает заполнить крупные полости между жгутами волокон, что приводит к захвату воздуха. Микропоры (диаметром < 10 мкм) образуются при высоких скоростях потока, где вязкое сопротивление препятствует проникновению смолы в узкие межфиламентные каналы (Рис. 5.б). Дополнительным фактором является поперечное обтекание жгутов, создающее локальные зоны с низкой проницаемостью.

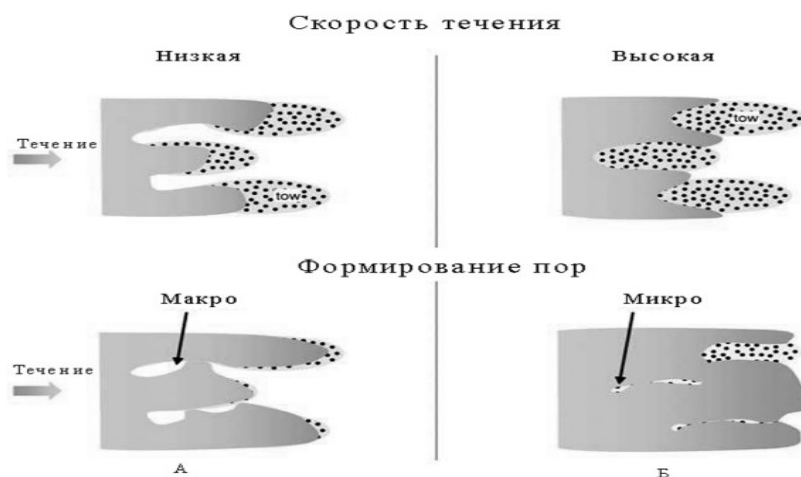


Рисунок 1.5 – образование микро/макро пор:

а) макропоры образуются из-за капиллярных сил (низкая скорость пропитки);

б) микропоры образуются из-за силы вязкого сопротивления (высокая скорость пропитки).

Поскольку эти ткани состоят из жгутов с высоким содержанием волокон, их микроархитектура весьма неоднородна. Следовательно, поток смолы становится неравномерным [25], и воздух захватывается, образуя воздушные пузырьки во фронте потока. Даже после изготовления в конечном изделии остаются пузырьки воздуха или пустоты. В частности, эти дефекты типа пустот ухудшают механические характеристики, зависящие от матрицы, а именно прочность на изгиб, сжатие и межслойный сдвиг.

Наличие пустот изменяет общую структуру потока смолы [24]. Это может быть причиной разницы между насыщенной и ненасыщенной проницаемостями, нелинейного профиля давления в зоне частичного насыщения и постепенного снижения давления на входе при постоянной скорости подачи.

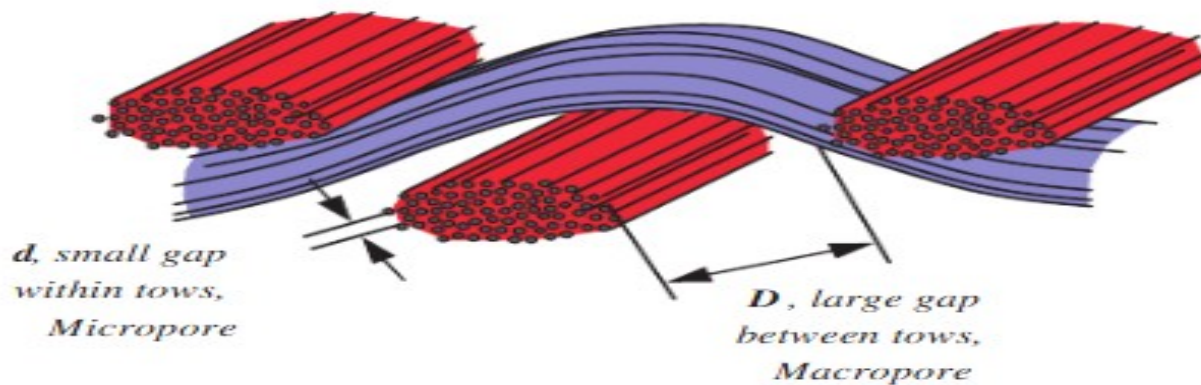


Рисунок 1.6 – структура наполнителя

Связь между скоростью потока и типом пористости такая:

- Низкая скорость потока: Способствует образованию макропор. Причина: капиллярные силы (ответственные за впитывание в мелкие полости) преобладают над силами потока. (Рисунок 7а).
- Высокая скорость потока: Приводит к увеличению микропористости. Причина: силы потока (фильтрации) становятся сильнее капиллярных сил, формируя более мелкую структуру пор. (Рисунок 7б).
- Микропоры могут также возникать, когда поток обтекает жгут поперек. Это происходит из-за того, что жидкость почти не может просочиться через очень плотное пространство между отдельными нитями жгута. (Рисунок 7в).

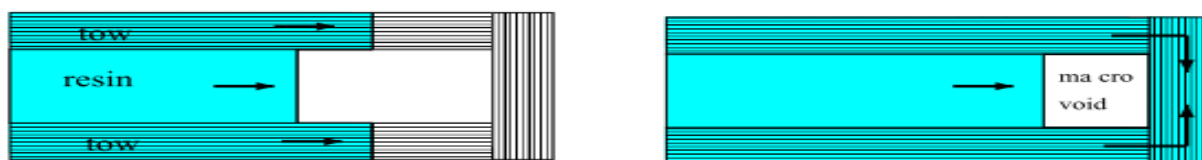
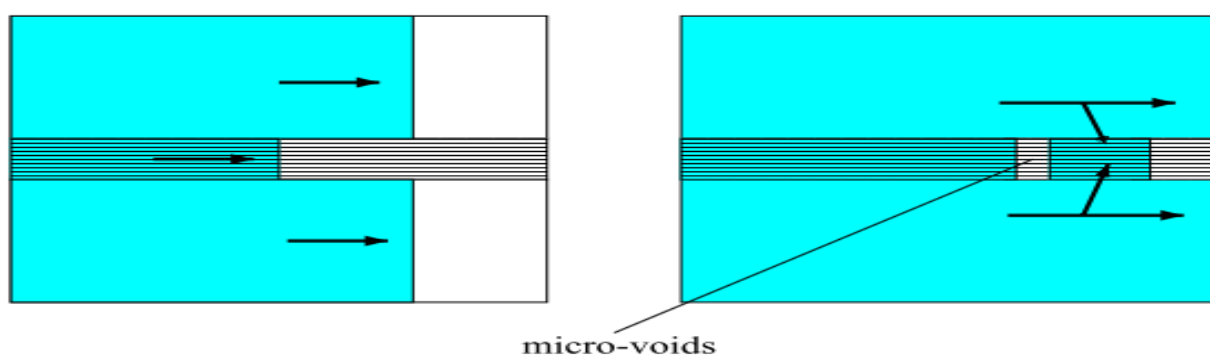


Рисунок 7.а)



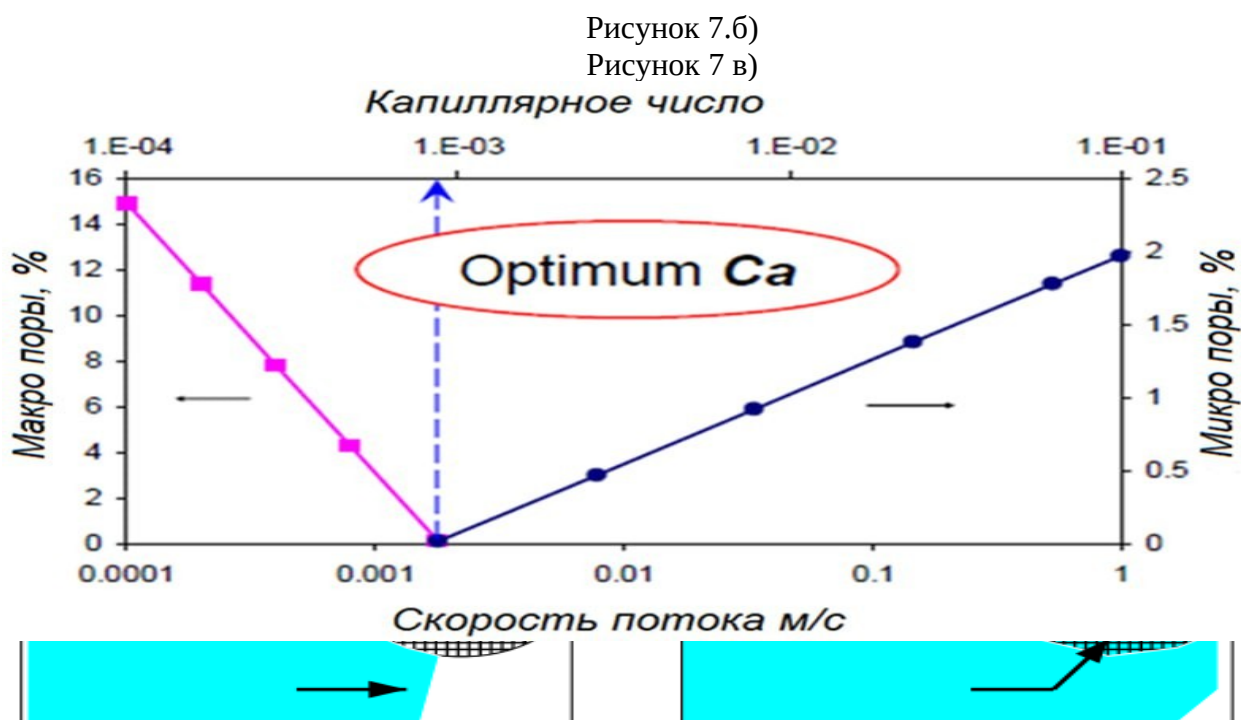


Рис 8 – Зависимость пористости от скорости потока

Для анализа пористости изделия используют [34,35,37-39]:

- Ультразвуковая томография: Обнаруживает макропоры размером от 50 мкм.
- Рентгеновская микроскопия [16] (Micro-CT): Разрешение до 1 мкм, позволяет визуализировать микропоры.
- Оптическая микроскопия: Применяется для оценки распределения пор в поверхностных слоях.

Основная цель разработанного подхода и численных методов, представленных в этой статье, заключается в моделировании и последующей оптимизации процесса вакуумной инфузии, в частности, для правильного прогнозирования и устранения образования сухих пятен при производстве.

Рассматриваем продвижение жидкой смолы в преформе при вакуумной инфузии как двухфазный поток в пористой среде, где движение и конфигурация фронта смолы контролируются уравнением фазового поля, которое является основным уравнением сопряжённой прямой задачи, описывающей динамику процесса.

1.3 Патентный обзор.

Таблица 1.1 – Патентный обзор

№	Номер патента	Название	Формула изобретения
1	RU248 0335C1	Способ изготовления волокнистых композитов вакуумной инфузией и устройство для осуществления способа.	1. Способ изготовления волокнистых композитов вакуумной инфузией из волокнистой преформы с распределительной тканью, размещенных в многополостном устройстве, отличающийся тем, что преформу с распределительной тканью размещают в рабочей полости, создают разрежение P1 в вакуумном канале, соединяющем рабочую полость с первым источником вакуумирования для обеспечения поступления смолы к волокнистой преформе за счет всасывания смолы под действием разрежения из расходной емкости со смолой с последующей фронтальной инъекцией смолы в преформу и пропиткой преформы смолой, и производят отверждение пропитанной смолой преформы с образованием волокнистого композита, при этом осуществляют непрерывное удаление воздуха и газообразных включений из рабочей полости с противоположных сторон преформы через проницаемые для газообразных включений, но не проницаемые для смолы первую и вторую мембраны, соответственно, в первую и вторую полости, соединенные между собой посредством вакуумных каналов, в которых создают одинаковое разрежение P2 и P3, отличное от разрежения P1 в рабочей полости, со вторым источником вакуумирования, причем за счет разности величин разрежений P1, P2 и P3 в вакуумных каналах осуществляют транспортирование и последующее удаление газообразных включений и избыточного количества смолы из области рабочей полости, ограниченной

		<p>преформой и проницаемой для газа, но не проницаемой для смолы второй мембраной и не содержащей распределительной ткани, в вакуумный канал с разрежением P1 путем размещения в упомянутой области рабочей полости над преформой дренажного материала рабочей полости для организации в рабочей полости проточного канала, образованного каналом подачи смолы, распределительной тканью, дренажным материалом рабочей полости и вакуумным каналом, соединенным с первым источником вакуумирования, обеспечивающего пропитку преформы смолой, и одновременное вытеснение из преформы газообразных включений и излишков смолы с их последующей транспортировкой к дренажному материалу рабочей полости и вакуумному каналу, соединенному с первым источником вакуумирования. 2. Способ по п.1, отличающийся тем, что величины разрежений P1, P2 и P3 выбирают из условия: $P1 \leq 0,9P2$, $P1 \leq 0,9P3$. 3. Способ по п.1, отличающийся тем, что в качестве дренажного материала рабочей полости используют жесткую сетчатую структуру, не сжимаемую в условиях вакуума. 4. Способ по п.1, отличающийся тем, что в качестве дренажного материала рабочей полости используют волокнистый нетканый материал на основе нейлона. 5. Способ по п.1, отличающийся тем, что преформу уплотняют за счет выдержки при температуре пропитки. 6. Устройство для осуществления способа по п.1, включающее первую полость, которая ограничена относительно окружающего пространства оснасткой и первой проницаемой для газа, но не проницаемой для смолы мембраной, закрепленной на оснастке с помощью герметичных уплотнителей, при этом первая полость содержит дренажный материал первой полости и связана посредством вакуумного канала со вторым источником</p>
--	--	---

		<p>вакуумирования, рабочую полость, которая ограничена относительно окружающего пространства первой проницаемой для газа, но не проницаемой для смолы мембраной, и второй проницаемой для газа, но не проницаемой для смолы мембраной, закрепленной на оснастке с помощью герметичных уплотнителей, и содержит волокнистую преформу с распределительной тканью, при этом рабочая полость подсоединена посредством вакуумного канала к первому источнику вакуумирования и связана посредством канала подачи смолы с расходной емкостью со смолой, и вторую полость, которая ограничена относительно окружающего пространства второй проницаемой для газа, но не проницаемой для смолы мембраной, закрепленной на оснастке с помощью герметичных уплотнителей, и не проницаемой для газа и смолы мембраной, закрепленной на оснастке с помощью герметичных уплотнителей, при этом вторая полость содержит дренажный материал второй полости и связана посредством вакуумного канала со вторым источником вакуумирования, причем в области рабочей полости, ограниченной преформой и проницаемой для газа, но не проницаемой для смолы второй мембраной, и не содержащей распределительной ткани, над преформой размещен дренажный материал — Уд.: 14 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 рабочей полости, находящийся в контакте с вакуумным каналом, соединяющим рабочую полость с первым источником вакуумирования для организации в рабочей полости проточного канала, образованного каналом подачи смолы, распределительной тканью, дренажным материалом рабочей полости и вакуумным каналом, соединенным с первым источником вакуумирования, обеспечивающего пропитку преформы смолой и одновременное вытеснение из преформы газообразных включений и</p>
--	--	---

			<p>излишков смолы с их последующей транспортировкой к дренажному материалу рабочей полости и вакуумному каналу, соединенному с первым источником вакуумирования. 7. Устройство по п.6, отличающееся тем, что распределительная ткань находится в контакте с портом подачи смолы. 8. Устройство по п.6, отличающееся тем, что канал подачи смолы выполнен с возможностью подключения к первому источнику вакуумирования через вакуумную ловушку. 9. Устройство по п.6, отличающееся тем, что распределительная ткань размещена между первой проницаемой для газа, но не проницаемой для смолы мембраной, и преформой. 10. Устройство по п.6, отличающееся тем, что волокнистая преформа содержит интегрированный элемент усиления. 11. Устройство по п.6, отличающееся тем, что дренажный материал рабочей полости размещен, по меньшей мере, частично на внешней поверхности интегрированного элемента усиления.</p>
4	RU283 4552C1	Способ получения изделий вакуумной инфузией	<p>1. Способ получения изделий вакуумной инфузией, при котором укладывают преформу на оснастку, формируют герметизирующие преформу внутренний и внешний пакеты, включая прокладку подающей связующее линии и вакуумной линии во внутреннем пакете и прокладку вакуумной линии во внешнем пакете, вакуумируют внутренний пакет путем подключения линии вакуумного насоса к подающей связующее линии при контроле уровня вакуума в вакуумной линии внутреннего пакета, вакуумируют внешний пакет путем подключения вакуумной линии пакета к линии вакуумного насоса при контроле уровня вакуума в вакуумной линии пакета в месте, удаленном от места подключения к ней линии вакуумного насоса, причем во внутреннем пакете создают уровень вакуума, который равен или выше уровня вакуума во внешнем пакете,</p>

			<p>после вакуумирования пакетов вакуумный насос переключают от подающей связующее линии к вакуумной линии, а подающую связующее линию соединяют с источником связующего и осуществляют пропитку преформы, сушат пропитанную связующим преформу. 2. Способ по п.1, отличающийся тем, что во внутреннем пакете получают и поддерживают вакуум не более 1,3 кПа, а во внешнем пакете получают и поддерживают вакуум не более 5 кПа. 3. Способ по п.1 или 2, отличающийся тем, что перед вакуумированием пакетов осуществляют предварительную сушку преформы путем удаления влаги через подающую связующее линию. 4. Способ по п.3, отличающийся тем, что сушку проводят с одновременным приложением нагрева. 5. Способ по одному из пп.1-4, отличающийся тем, что контроль уровня вакуума осуществляют посредством вакуумметра абсолютного давления. 6. Способ по одному из пп.1-5, отличающийся тем, что используют подающую связующее линию, пропускная способность которой выше, чем у вакуумной линии.</p>
5	RU2747007C2	Способ изготовления изделий из волокнистого полимерного композита поверхностной инфузией и устройство для его осуществления	<p>1. Способ изготовления изделий из волокнистого полимерного композиционного материала на основе непрерывных органических и неорганических волокон и термореактивной матрицы поверхностным инфузионным процессом, включающий размещение волокнистой заготовки в рабочей камере, которая ограничена воздухопроницаемыми барьерным и фильтрующим слоями, причем барьерный слой имеет в своем составе накопительный и барьерный компоненты, создание разрежения в вакуумном канале, при помощи которого вакуумируются первая, вторая и рабочая камеры с одинаковым разрежением, обеспечение поступления связующего на накопительный компонент барьерного слоя из канала подачи с последующим накоплением и</p>

			<p>распределением связующего в накопительном компоненте барьерного слоя при температуре T_1, увеличение температуры до значения T_2 при непрерывном всасывании связующего из расходной емкости в канал подачи связующего и поступление на накопительный компонент барьерного слоя, причем при достижении температуры T_3 барьерный компонент становится проницаемым для связующего для обеспечения поверхностно-ортогонального объемного поступления связующего из накопительного компонента барьерного слоя к волокнистой заготовке и инъекции связующего в волокнистую заготовку с постоянной подачей связующего на накопительный компонент от канала подачи связующего, при этом осуществляют постоянную откачку газообразных включений из рабочей камеры через проницаемый для газообразных включений, но непроницаемый для связующего фильтрующий слой с одной стороны волокнистой заготовки, что обеспечивает дальнейшее транспортирование газообразных включений в вакуумный канал, затем продолжают нагрев, и в интервале температур от T_2 до T_3 удаляют излишки связующего через реверсивный канал, после чего продолжают нагрев до температуры T_4 отверждения пропитанной связующим волокнистой заготовки с образованием изделия из волокнистого полимерного композиционного материала, удаляя из него излишки связующего и газообразные включения через фильтрующий и барьерный слои. 2. Способ по п.1, отличающийся тем, что в состав барьерного и фильтрующего слоев входят жертвенные слои, позволяющие удалить барьерный и фильтрующий слои с поверхности изделия после окончания процесса изготовления изделия. 3. Способ по п.1, отличающийся</p>
--	--	--	---

		<p>тем, что фильтрующий слой имеет в своем составе компонент аналогично полупроницаемой мембране, выполняющей функцию удаления воздуха и газообразных включений по всей поверхности волокнистой заготовки. 4. Способ по п.1, отличающийся тем, что барьерный слой расположен по всей площади волокнистой заготовки. 5. Способ по п.1, отличающийся тем, что барьерный слой находится в контакте с каналом подачи связующего. 6. Способ по п.1, отличающийся тем, что реверсивный канал образован подключением канала подачи связующего через ловушку для связующего к источнику вакуумирования. 7. Способ по п.1, отличающийся тем, что барьерный и фильтрующий слои герметично соединены между собой при помощи герметизирующего жгута. 8. Способ по п.1, отличающийся тем, что волокнистая заготовка содержит интегрированный элемент усиления. 9. Устройство для осуществления способа по п.1, включающее первую камеру, которая ограничена относительно окружающего пространства оснасткой и проницаемым для воздуха и газообразных включений, но непроницаемым для связующего фильтрующим слоем, закрепленным на оснастке с помощью герметизирующих жгутов, рабочую камеру для размещения волокнистой заготовки, причем рабочая камера ограничена от окружающего пространства воздухопроницаемыми фильтрующим слоем и барьерным слоем, причем барьерный слой закреплен на фильтрующем слое при помощи герметизирующего жгута, вторую камеру, которая ограничена от окружающего пространства барьерным слоем и герметичной пленкой вакуумного мешка, вакуумный канал, при помощи которого вакуумируются первая, вторая и рабочая</p>
--	--	--

			<p>камеры, соединенный с источником вакуумирования, причем величина разрежения во всех камерах одинакова за счет наличия проницаемости барьерного и фильтрующего слоев, а также наличия распределительной сетки, соединяющей между собой первую и вторую камеры, расходную емкость с каналом подачи связующего к барьерному слою и реверсивный канал, образованный за счет подключения канала подачи связующего через ловушку для связующего к источнику вакуумирования. 10. Устройство по п.9, отличающееся тем, что волокнистая заготовка находится в рабочей камере между барьерным и фильтрующим слоями, находящимися в непосредственном контакте с волокнистой заготовкой. 11. Устройство по п.10, отличающееся тем, что волокнистая заготовка содержит интегрированный элемент усиления.</p>
--	--	--	--