

## **ОТЗЫВ**

**официального оппонента кандидата химических наук Сидорова Олега Ивановича на диссертационную работу Бородулина Алексея Сергеевича «Совершенствование технологии процесса пропитывания волокнистых наполнителей полимерными и олигомерными связующими», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.17.06 – «Технология и переработка полимеров и композитов»**

**Актуальность.** Полимерные композиционные материалы (ПКМ) находят широкое применение в различных отраслях техники. Характеристики ПКМ зависят не только от свойств исходных компонентов, но в существенной мере определяются параметрами технологического процесса их создания. Внедрение углепластиков, которые относятся к наиболее перспективным ПКМ, в различные отрасли промышленности пока идет недостаточными темпами. Это связано не только с высокой стоимостью углеродных волокон и большими технологическими проблемами их производства. Частично снизить стоимость изделий из углепластиков можно путем использования безпрепеговых технологий формования. Однако если процессы формования совмещаются с процессами пропитывания, то возникают новые проблемы, связанные со сложностью контроля качества процесса пропитывания. Представленная диссертация призвана ликвидировать этот пробел и потому является своевременной и актуальной.

### **Структура и оценка содержания диссертации.**

Диссертация изложена на 130 стр. машинописного текста, содержит 7 таблиц и 40 рисунков, состоит из введения, шести глав, выводов, списка литературы и приложения. Во введении обоснована актуальность темы

исследования, поставлены цель и решаемые задачи, охарактеризованы научная новизна и практическая значимость, приведены положения, выносимые на защиту диссертационной работы.

В *первой главе* изложены основные технологии формования изделий из ПКМ, описаны основные законы реологии растворов полимеров, дана классификация дисперсных систем по П.А. Ребиндеру, приведены наиболее распространенные методы моделирования и оценки реологических свойств связующих.

Во *второй главе* приводятся характеристики использованных волокон различной химической природы, как непрерывных, так и коротких, рабочих жидкостей, эпоксидных и кремнийорганических связующих, дано описание используемых методов исследования. Наряду с традиционным оборудованием, предназначенным для оценки реологических характеристик, механической прочности и пористости, диссертант использует и собственные методики, научная новизна которых подтверждена патентом.

*Третья глава* посвящена исследованию течения разнообразных жидкостей в капиллярах волокнистой заготовки. Автором обнаружены граничные слои (ГС), определены их толщины и прочность. Эта глава имеет наибольшую практическую значимость, поскольку позволяет оптимизировать режимы процессов пропитывания самых различных пар связующее-волокно. Установленные автором закономерности являются общими для самых различных систем олигомерное связующее – волокнистый наполнитель, что еще больше повышает их практическую ценность.

Исследования реологических свойств кремнийорганических связующих, в состав которых вводились короткие углеродные волокна, описаны в *четвертой главе*. Автором показано, насколько сильное влияние на структуру и реологические характеристики оказывает величина удельной поверхности волокон. Интересные и практически полезные



результаты получены автором при исследовании свойств дисперсно наполненных кремнийорганических связующих, поскольку они позволяют оптимизировать режимы перемешивания (на стадии приготовления связующего).

*В пятой главе* приведены математические модели, описывающие процессы капиллярного течения жидкостей. Этот раздел, безусловно, имеет большую научную значимость. В результате строгих математических выкладок показано, что происходит неизбежное формирование двухслойного потока, в граничном слое которого любая жидкость движется турбулентно с нулевым расходом, в осевом – ламинарно. Однако вызывает сомнение корректность использования в этом случае термина «нулевой расход».

*В шестой главе* приведены прикладные результаты диссертации, наиболее важными из которых являются результаты оценки пределов текучести сомкнувшихся граничных слоев, значения давлений, при которых будет происходить разрушение граничных слоев, новая трактовка дилатантного состояния порошкообразных ПКМ, расчет условий подавления (формируемого в фильере) турбулентного слоя полимерного раствора при изготовлении синтетических волокон.

### **Методология исследований.**

Методология всех экспериментальных исследований, приведенных в диссертационной работе Бородулина А.С., является современной, поскольку автором использована высокоточная измерительная аппаратура, включающая вычислительную технику. Оценка качества созданных автором композитов проводилась путем механических испытаний и микроструктурного анализа по стандартным методикам. Для оценки скорости процесса пропитывания однонаправленного волокнистого наполнителя автором была разработана и изготовлена специальная установка, которая позволила в реальном режиме времени определять

значения давлений, при которых происходило разрушение граничных слоев для каждой конкретной пары волокно-связующее и для каждой конкретной степени наполнения. Новизна предложенной автором методики и используемой установки подтверждена патентом РФ на изобретение.

**Анализ новизны результатов, обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций.**

Научная новизна диссертационной работы состоит в доказательстве бингамовской структуры ГС жидкостей, возникающих на поверхности волокон, в расширении научных представлений о реологии эластомерных композиций, армированных дискретными волокнами и порошками. Главным достижением диссертанта является разработка новой теоретической модели течения жидкостей, которая в капиллярном масштабе имеет универсальный характер.

Обоснованность научных положений, достоверность результатов и выводов подтверждаются воспроизводимостью экспериментальных данных, полученных автором с помощью стандартизованных методов исследования.

**Значимость результатов для науки и практики и возможные пути их использования.**

**Практическая значимость работы.** Диссертантом рассчитаны величины давлений, разрушающих каркас ГС связующего, что позволяет обеспечить максимальную скорость пропитывания. Автором предложены эффективные режимы перемешивания связующих, в состав которых введены короткие углеродные волокна. Автором сделано интересное предположение, объясняющее тангенциальную ориентацию фибрилл в оболочке волокон из СВМПЭ и сформулированы условия их переориентации в аксиальном направлении. Полученные автором



результаты исследований использованы при изготовлении различных композитных изделий: оснастки для изготовления зеркала антенны, надстройки пассажирского судна на подводных крыльях и др.

Рекомендации по использованию результатов исследования состоят в следующем:

а) математическую модель капиллярного течения жидкостей целесообразно использовать для корректировки технологических режимов вытяжки полимерных нитей в осадительной ванне на промышленных предприятиях, изготавливающих высокопрочные синтетические волокна;

б) критические давления смачивания целесообразно использовать для определения смачиваемости волокон на стадии контроля качества наполнителей.

**Соответствие содержания автореферата основным идеям и выводам диссертации, качество оформления автореферата.**

Содержание автореферата полностью соответствует основным положениям, выводам и рекомендациям, изложенным в диссертационной работе. Автореферат написан по стандартной форме, в объеме, достаточном для понимания сути всех проведенных исследований. Диссертация и автореферат полностью соответствуют предъявляемым требованиям.

**Анализ качества оформления диссертации.**

Диссертация написана грамотным техническим языком в полном соответствии с требованиями, предъявляемыми к кандидатским диссертациям. Однако в работе имеются отдельные опечатки, например, табл. 3.3 (не указана марка второго связующего), ошибка в уравнении 3.2 (в автореферате 2), ошибка в нумерации выводов (начинаются с цифры 2).

### **Замечания по диссертации и автореферату.**

1. Для понимания физики процессов, происходящих в процессе пропитывания, было бы целесообразно указать составы всех используемых связующих;
2. Было бы целесообразно привести примеры расчета углов смачивания для исследуемых систем волокно-связующее;
3. Введение новой характеристики волокон – ретикуляции поверхностной плотности не целесообразно, поскольку ее вполне заменяет удельная поверхность.
4. Следует исключить глицерин из объектов исследования, поскольку в технологии изготовления ПКМ он не применяется.
5. Нет объяснения причин полученного эффекта псевдопластичности и не ясно относится ли он к любым дисперсным наполнителям или же только к тому типу железных порошков, с которым работал автор.

Однако указанные замечания имеют уточняющий характер и не влияют на общую высокую положительную оценку оппонируемой диссертационной работы.

### **Заключение о соответствии диссертации требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней.**

Диссертация Бородулина Алексея Сергеевича на тему «Совершенствование технологии процесса пропитывания волокнистых наполнителей полимерными и олигомерными связующими», по актуальности, практической значимости и научной новизне является законченной самостоятельной научной квалификационной работой. В ней изложены важные научно обоснованные технические разработки, обеспечивающие решение актуальной научной задачи, связанной с оптимизацией технологических режимов процессов изготовления изделий из ПКМ на основе связующих и волокон разной химической природы. Это



позволит существенно повысить эффективность технологий производства изделий из волокнистых полимерных композиционных материалов без увеличения их стоимости.

Работа соответствует требованиям пункта 9 «Положения о присуждения ученых степеней» от 24 сентября 2013 года № 842, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Бородулин Алексей Сергеевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.17.06 – «Технология и переработка полимеров и композитов».

Официальный оппонент, кандидат химических наук, специальность 05.17.06 – Технология и переработка полимеров и композитов, начальник лаборатории



О.И. Сидоров

Подпись, должность, ученую степень Сидорова Олега Ивановича заверяю  
Начальник отдела кадров Полоникова Светлана Васильевна:



11

2016 г.

140090, Московская обл., г. Дзержинский, ул. Академика Жукова, д. 42  
тел.:8-(495)-551-75-78, e-mail: fcdt@monnet.ru