

На правах рукописи

Аунг Тху Хан

**АНАЛИЗ ДЕФЕКТОВ В ИЗДЕЛИЯХ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ
И ВОССТАНОВЛЕНИЕ ИХ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ МЕТОДОМ
СВАРКИ**

Специальность 05.17.06 – Технология переработки полимеров и композитов

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук

Москва – 2014

Работа выполнена на кафедре «Технология переработки неметаллических материалов» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «МАТИ - Российский государственный технологический университет имени К.Э. Циолковского».

Научный руководитель: - доктор технических наук **Комаров Герман Вячеславович**, профессор кафедры «Технология переработки неметаллических материалов» ФГБОУ ВПО «МАТИ – Российский государственный технологический университет имени К.Э. Циолковского»

Официальные оппоненты: - доктор технических наук **Калинчев Эрик Леонидович**, профессор, заслуженный деятель науки и техники РФ, зам. директора института ОАО «Институт пластмасс имени Г.С. Петрова»

- кандидат технических наук **Бейдер Эдуард Яковлевич**, ведущий научный сотрудник ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» ГНЦ РФ

Ведущая организация ООО «УК Группа «Полипластик», г. Москва

Защита диссертации состоится «22» октября 2014 г. в 10 часов на заседании диссертационного Совета Д 212.204.01 по специальности 05.17.06 – Технология и переработка полимеров и композитов при ФГБОУ ВПО «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева» по адресу: 125047 г. Москва, Миусская пл., д. 9.

С диссертацией можно ознакомиться в Научно-информационном центре РХТУ им. Д. И. Менделеева.

Автореферат диссертации размещен на сайте РХТУ им. Д.И. Менделеева

Автореферат разослан «...» 2014 года.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах (заверенных печатью организации) просим опрашивать по адресу: 125047, Москва, Миусская пл. д. 9. РХТУ им. Д.И. Менделеева. Факс: +7(499) 978-89-78.

Ученый секретарь
диссертационного Совета

канд.хим.наук



Биличенко Ю.В.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы:

В последние годы в авиа- и машиностроении большое внимание уделяется внедрению полимерных композиционных материалов (ПКМ). Применение таких материалов актуально и для развивающихся стран, к числу которых относится государство Мьянма.

Целым рядом ценных как технологических, так и эксплуатационных свойств обладают композиционные материалы на основе термопластов (ТКМ), в том числе возможностью вторичной переработки гибкой, штамповкой и т.п. и ремонта сваркой в расплаве.

Освоение современных технологий ремонта деталей из ПКМ и в том числе из ТКМ весьма востребовано в ведущих авиационных фирмах.

Одним из основных требований к ремонту конструкций из ПКМ является восстановление их исходной прочности в пределах назначенного срока службы деталей. При этом применительно к авиационным конструкциям чаще всего ставится задача ремонта в полевых условиях, что означает реализуемость метода при одностороннем подходе к устраняемому дефекту. Такое требование ограничивает выбор метода ремонта. Обращаясь к опыту ремонта металлических изделий, можно констатировать, что одним из наиболее приемлемых для многих отраслей техники является сварка с присоединением к дефектному участку ремонтной накладки. Возможности такого метода сварки с целью восстановления несущей способности дефектных деталей из ТКМ не охарактеризованы и требуют проведения дополнительных исследований. В связи с этим проведение исследований ремонтной сварки деталей из полимерных материалов (ПМ) для авиационного машиностроения является актуальным.

Целью работы была разработка технологии ремонтной сварки для восстановления несущей способности типового изделия из ПМ типа обшивка, в частности из термопластичного композиционного материала, имеющего дефект типа сквозное отверстие, имитирующий пулевое разрушение, или разрыв материала.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

- провести анализ повреждаемости и ремонтпригодности деталей из ПМ;
- изучить свойства конструкционных ПК, влияющие на способность восстановления несущей способности дефектных изделий;
- изучить данные о методах контроля качества и о дефектах сварных соединений деталей из ПМ;
- оценить возможность ремонта деталей из ПМ с применением различных методов сварки;

- предложить физическую модель ремонтной сварки, на основании которой выбрать метод ремонта образцов из одного типа ТКМ и разработать ремонтный материал;

- исследовать технологию ремонтной сварки модельных образцов из ТКМ;

-исследовать влияние конструкции соединения и типа ремонтного материала на степень восстановления несущей способности модельных образцов из ТКМ, имеющих дефекты.

Научная новизна:

1. При анализе свойств ПМ, влияющих на возможность восстанавливать их свойства в процессе ремонта, впервые отмечено, что при выборе метода и материала для ремонта необходимо учитывать как структуру, состав, так и весь комплекс механических, теплофизических и химических характеристик материала изделия.

2. Разработанная физическая модель сварки ПМ растворителем позволила обосновать построение технологического процесса и выбор режимов процесса ремонта с применением этого метода сварки.

При сварке растворителем присадочный материал в отличие от склеивания жидким клеем достаточно нанести на одну из соединяемых поверхностей. Это отличие в технологиях объяснено различием механизмов склеивания и сварки растворителем. Бóльшая, чем у клея, не содержащего растворитель, текучесть присадочного материала и взаимодействие его с полимером на поверхности ТКМ исключают образование пор на границе присадка/субстрат, которые в случае склеивания удаляются только при двухстороннем нанесении клея.

3. Установлено, что в сварном нахлесточном соединении напряжения сдвига концентрируются по краям перекрытия. Это позволяет применить методы повышения прочности соединения, известные в родственной сварке технологии склеивания.

4. Применительно к технологии сварки Т-образных швов установлено, что присоединением накладок в зоне шва тонкостенного ТКМ можно существенно повысить прочность соединения при растяжении.

5. Присоединением по диффузионному механизму имеющих различную геометрию накладок на дефектный участок деталей из ТКМ на основе матрицы, способной растворяться в органическом растворителе, несущую способность последних можно восстановить до исходного уровня.

Практическая значимость:

1. Разработана технология сварки растворителем изделия из полисульфонового стеклотекстолита, позволяющая достичь прочности соединения, близкой к прочности при сдвиге соединяемого материала.

2. Разработана технология ремонта деталей из ТКМ, содержащих дефекты типа разрыва или отверстия, с использованием диффузионного соединения накладки из

препрега на основе раствора матрицы ТКМ в органическом растворителе с материалом деталей.

3. При разработке технологии сварки растворителем устанавливать продолжительность сварки целесообразно по результатам испытания Т-образных соединений.

4. Использование методики испытания при растяжении параллельного соединения позволяет оценивать влияние режимов сварки растворителем на изменение структуры и свойств ПМ в зоне шва.

5. Разработанная технология ремонта прошла апробацию на базе ООО «НПО «Самос», что подтверждено соответствующим актом.

6. Материалы диссертации могут быть использованы в условиях государства Мьянмы для решения проблем ремонта изделий из ПКМ и для подготовки соответствующих специалистов.

Апробация работы:

Материалы работы изложены на 7 научно-технических конференциях, в том числе на V Междунар. конф. «Новые перспективные материалы и технологии их получения НППМ-2010» (Волгоград, Волг ГТУ, 2010), на XXXVI, XXXVIII - XL Международных молодежных конференциях «Гагаринские чтения» (Москва, МАТИ, 2010, 2012-2014 г.г.), на Всероссийских НТК «Новые материалы и технологии – НМТ» (Москва, МАТИ, 2010 и 2012 г.г.).

Публикации. Основное содержание диссертации опубликовано в 10 работах, в том числе в 2 ведущих рецензируемых журналах, входящих в перечень ВАК РФ. Список публикаций приведен в конце реферата.

Объем диссертации и её структура. Диссертация изложена на 166 страницах машинописного текста и 31 страницах приложения, содержит 31 рисунок и 24 таблицы. Работа состоит из введения, 4 глав, приложения и общих выводов. Списки литературы приведены после каждого раздела диссертации.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность работы, сформулированы ее цель и задачи, определены объект и предмет исследования, приведены научная новизна и практическая значимость работы и описана структура диссертации.

В первой главе представлен анализ современного состояния в области проблем ремонта изделий из ПМ. Можно констатировать, что наука о ремонте изделий из конструкционных ПМ (КПМ) находится на стадии развития, поэтому сложившихся классификаций и стандартов в этой области технологии пока еще нет. В государстве Мьянма проблемы ремонта изделий из КПМ в исследованиях практически не затронуты. Полагали, что при разработке технических решений по ремонту изделий из КПМ анализ имеющегося мирового опыта позволит более целенаправленно подойти к постановке и решению задач работы.

Применительно к ремонту ТКМ могут быть применены различные виды сварки в расплаве. Простейшим можно признать вид сварки растворителем. Сущность ремонтной сварки тепловыми методами и растворителем одна и та же. Поэтому можно считать, что более простая в реализации сварка растворителем позволит в первом приближении оценить вообще возможность восстановления несущей способности дефектной детали из ТКМ применением ремонтной сварки.

Вторая глава посвящена изучению наиболее значимых свойств ПМ, оказывающих влияние на образование дефектов в деталях из них, на их устранение и функционирование подвергнутого ремонту изделия.

Состав и структуру КПМ и прежде всего ПКМ из-за их гетерогенности и гетерофазности часто нужно учитывать в большей мере, чем при ремонте деталей и изделий из других материалов. Применительно к ремонту с применением адгезионных соединений, необходимо, во-первых, учитывать многокомпонентность ПМ. Компоненты ПМ по-разному влияют на подготовку ремонтируемого участка, по-разному ведут себя как в процессе ремонта, так и при эксплуатации отремонтированного участка детали.

При подготовке к ремонту, затрагивающего поверхность ПМ, требуется в первую очередь знать, какова природа возможных низкомолекулярных, выполняющих роль слабых пограничных слоев, веществ на этих поверхностях.

Из-за присутствия в ПКМ стекловолоконного наполнителя, укрытого на поверхности детали «лаковым слоем», можно считать эффективным удаление последнего одним из видов механической обработки. Вместе с тем едва ли полезна будет обработка абразивом органопластика, так как поверхностная энергия γ_c полимерного наполнителя (например, для волокна типа СВМ $\gamma_c = 30-40$ мН/м), укрытого пленкой матрицы, близка к поверхностной энергии последней. Простое же «развертывание» поверхности в этом случае, а также при обработке неполярного термопласта может даже дать отрицательный результат из-за несовершенства заполнения клеем ворсистого микрорельефа поверхности.

Знание схемы расположения наполнителя, особенно обладающего большей теплопроводностью, чем полимерная матрица, позволит оценить возможность подведения теплоты к ремонтируемому с применением нагрева участку. Оценка свойств наполнителя может существенно повлиять на выбор метода ремонта ПМ.

Из-за малого содержания матрицы в поверхностных слоях ТКМ по сравнению с ненаполненными термопластами для образования бездефектного сварного соединения ремонтируемой детали и привариваемой накладки может потребоваться введение между ними прокладки из ненаполненного полимера, который должен быть более легкоплавким, чем матрицы детали и накладки и совместим с ними.

На технологии ремонта и на восстановлении несущей способности детали или узла сильно отражаются механические свойства ПМ.

Повышение жесткости ПКМ накладки, например, за счет увеличения степени его наполнения или ориентации наполнителя вдоль направления нагружения согласно уравнению Фолькерсена:

$$\tau_{\text{ср}} = \tau_{\text{max}}/(\Delta/2)^{1/2},$$

где $\tau_{\text{ср}}$, τ_{max} – среднее и максимальное напряжения в нахлесточном соединении; $\Delta = G l^2/E \cdot \delta \cdot d$, G – модуль сдвига клеевой прослойки; E – модуль упругости при растяжении ПКМ накладки; δ – толщина накладки; d – толщина клеевой прослойки;

благоприятно сказывается на напряженном состоянии нахлесточного клеевого соединения, работающего на сдвиг, и приводит к повышению его прочности, а следовательно, реализуемости свойств материала ремонтируемой детали.

Низкая межслоевая прочность ПКМ отражается на легкой повреждаемости деталей при сдвиговом или расслаивающем их нагружении.

В нашей работе прочность при сдвиге соединения приформовываемой наклейки с полисульфоновым стеклопластиком благодаря ее армированию многонаправленным полотном удалось повысить на 15 % по сравнению с армированием однослойной стеклотканью марки 7581-К 506 фирмы Porcher. Прочность при сдвиге материала наклейки на основе однослойной ткани можно повысить, применив предварительную прошивку пакета слоев наполнителя.

Низкую твердость необходимо учитывать, например, при формулировании требований к металлическим ремонтным крепежным элементам и рабочим инструментам (отсутствие заусенцев и острых кромок) и/или к защитным слоям из ткани, бумаги, липких лент на поверхности ремонтируемых ПМ, а также к чистоте контактирующих поверхностей детали и прикрепляемой отформованной наклейки.

Из-за чувствительности ПМ к концентраторам напряжений рекомендуется при ремонтной сварке добиваться монолитизации материала в зоне сварного шва и плавных переходов от шва к основному материалу. Моделируя ремонт деталей из термопластов с применением экструзионной сварки соединением встык скошенных пластинок, установили, что дефекты соединения, характеризующиеся отсутствием плавного перехода от шва к основному материалу, служат концентраторами напряжений. При отклонении формы поперечного сечения шва от эталонной при введении с помощью экструзионной сварки вставки в пробоину детали необходимо после сварки удалять увеличенные наплывы рядом со швом и чрезмерно вытекший расплав в корне шва.

Чтобы исключить концентраторы напряжений в виде резких переходов сечений в зоне ремонта, необходимо, например, создавать, приформовкой слоев препрега наклейки сегментообразной в поперечном сечении формы.

Процессы ремонта и эксплуатация отремонтированных изделий могут сопровождаться нагревом. В связи с этим знание особенностей теплофизических свойств ПМ весьма важно как для проектирования процесса ремонта, так и для прогнозирования поведения отремонтированного участка.

На выполнение ремонта и на возможности восстановить их несущую способность отражаются специфические химические свойства ПМ и способность сопротивляться воздействию окружающей среды. Одним из таких свойств является растворимость в органических растворителях. Растворимость термопластов и высокая вязкость растворов сделали возможной ремонтную их сварку растворителем.

Окружающая среда может воздействовать как на объем, так и на поверхность ПМ, влияя на соответствующие их свойства. Превращение линейной структуры поверхностного слоя термопласта в сетчатую при воздействии УФ-излучения затрудняют или вовсе исключают ремонтную сварку в расплаве.

Во многих случаях выполнения ремонта на практике приходится давать комплексную оценку ремонтпригодности ПМ.

Третья глава посвящена анализу методов контроля качества и дефектов сварных соединений деталей из ПМ. Полагали, что разрабатывая технологию ремонтной сварки, необходимо предварительно изучить литературные данные об устранении дефектов сварных соединений ПМ. Среди этих данных надеялись найти решения стоящих в работе задач.

В современной сварке ПМ применяют все виды технического контроля. Объектами контроля являются: свариваемые и присадочные материалы, вспомогательные материалы (например, растворители), свариваемые детали, техническая документация, оборудование, оснастка, условия окружающей среды, технологический процесс, средства защиты персонала, сваренное изделие.

В работе кратко оценены основные виды разрушающего и неразрушающего контроля сварных соединений ПМ. В литературе по этому вопросу чаще всего говорится о предотвращении появления дефектов и отсутствуют сведения об их устранении. Основное внимание нами уделено анализу дефектов сварных соединений.

Из опубликованных работ вытекает, что изучение свариваемости ТКМ и возникновения дефектов в сварных соединениях не перешло на более высокую ступень – исследование методов устранения дефектов, в частности, применением ремонтной сварки, которая широко вошла в область сварки металлов.

Четвертая глава посвящена изучению возможностей ремонтной сварки одного из представителей ТКМ, имеющего модельные дефекты. Как показано в главах 1 и 3, среди технологий ремонта деталей из ПМ менее всего изученной является ремонтная сварка. Указанному изучению предшествовала разработка метода ремонтной сварки, которая в общем виде включает оценку дефекта и ремонтируемого материала, выбор метода устранения дефекта, выбор ремонтного материала, технологию устранения дефекта и контроль качества ремонта.

Одной из проблем при тепловой сварке ТКМ является деформирование волокнистой структуры в зоне шва. В технологии склеивания известно ограничение

этого явления применением дистанционных элементов (ДЭ). В связи с этим была проведена серия опытов по оценке ограничения деформирования ТКМ в зоне шва этим методом при сварке нагретым инструментом. Эксперименты подтвердили, что использование ДЭ позволяет регулировать степень осадки материала шва и благодаря этому сохранять в заданных пределах его структуру и достигать необходимую прочность соединения. Установили, что прочность сварных соединений может быть на уровне 80-90 % прочности ТКМ при сдвиге. Однако использовать ДЭ в условиях ремонта листовых деталей на изделии, особенно при одностороннем доступе к нему, в частности, для присоединения накладок к обшивкам ремонтируемых панелей представляется невозможной из-за сложности оснащения.

Пришли к выводу, что более просто и экономично будет выполнять ремонтную сварку растворителем. Полагали, что данные по ремонтной сварке растворителем позволят сделать выводы вообще об эффективности ремонтной сварки при восстановлении несущей способности дефектных деталей из ТКМ.

Для разработки ремонтной сварки растворителем потребовалось создать ее физическую модель (рис. 1). После подготовки соединяемых поверхностей (рис. 1,а) проводится их активирование растворителем (рис. 1, б), а затем поверхности с нанесенным присадочным материалом (рис. 1,в) приводятся в контакт (рис. 1, г). При этом идет сглаживание присадочного материала в местах его выступов, сопровождающееся разобшением и сфероидизацией воздушных включений между выступами. Чтобы удалить пузырьки воздуха, находящиеся в присадочном материале в условиях гидростатического сжатия, и получить, таким образом, бездефектный шов, необходимо обеспечить осадку зоны шва приложением давления p_c и в результате этого течение присадочного материала вдоль соединяемых поверхностей.

В качестве объектов исследования выбраны материалы на основе полисульфона, доступного для изготовления обшивок летательных аппаратов. Основной объем экспериментов проведен со стеклопластиком (толщиной от 0,35 до 2,0 мм) марки КТМС-1П на основе стеклоткани Т-15(П)-76 и полисульфона марки ПСФ-150 (ТУ 6-06-31-99). При выборе режимов сварки преимущественно применяли образцы в виде пластинок размером 60x20 мм, имеющих продольную ось в направлении основы стеклоткани. Из образцов изготавливали нахлесточные соединения согласно ГОСТ Р ИСО 17659 2009 с длиной перекрытия 15 мм. Считали, что такие образцы имитируют достаточно распространенный вид дефекта – сквозное отверстие, ослабление которым компенсируется присоединяемой по кромке отверстия накладкой. Влияние режимов и условий сварки оценивали на образцах параллельных соединений согласно ГОСТ Р ИСО 17659-2009. При изучении возможности усиления нахлесточного и Т-образного соединений применяли образцы с накладками.

Исследования в этой части работы касались выбора растворителя и состава присадочного материала, определения режимов сварки, оценки прочности сварных соединений при сдвиге и разработки технологических рекомендаций по переходу к ремонтной сварке ТКМ.

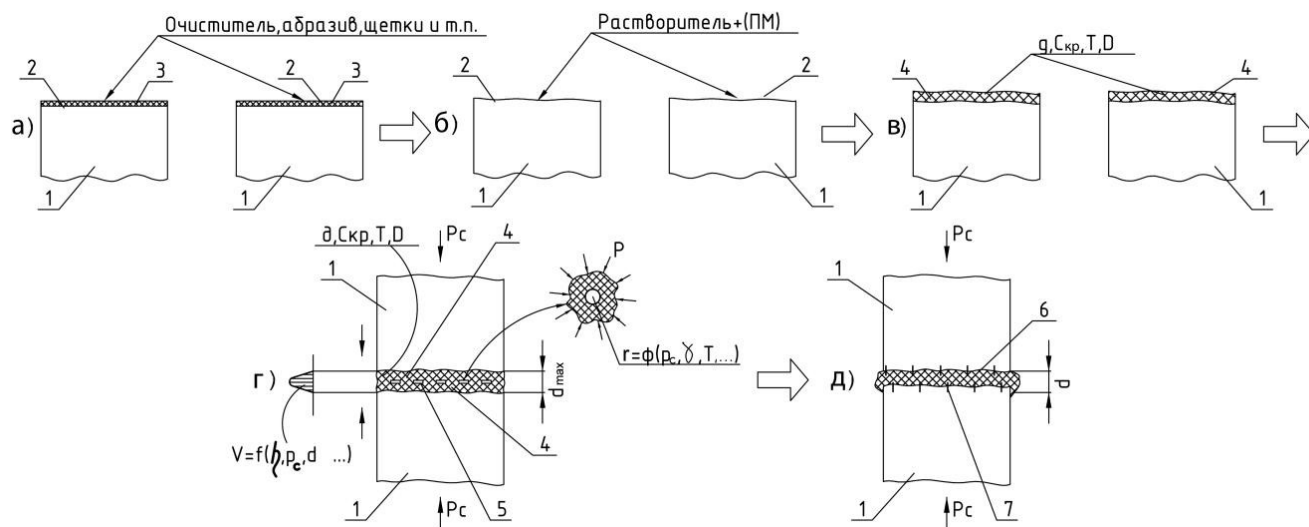


Рисунок 1. - Физическая модель сварки ПМ жидким при комнатной температуре растворителем: 1 - соединяемые детали; 2 - свариваемые поверхности; 3 – загрязнения (смазка, жиры, пыль и т.п.); 4 – присадочный материал, содержащий растворитель; 5 - воздушное включение; 6 - сварной шов; 7 – межмолекулярные связи. t_i – текущее время; $t_{ов}$ - продолжительность открытой выдержки; $t_{св}$ – продолжительность сварки; p_c - давление во время фазы образования соединения; $p_{гп}$ - давление газового пузырька; $p_{гп} = p_c + 2\gamma/r$, γ - поверхностное натяжение присадочного материала; T - температура деталей; V - скорость течения расплава; η – вязкость расплава; R_z - параметр шероховатости свариваемых поверхностей; g – расход присадочного материала; $C_{кр}$ – критическая концентрация растворителя, соответствующая переходу смеси полимер+растворитель из расплавленного (жидкого) в твердое состояние; D – коэффициент диффузии растворителя в ПМ; d_{max} – максимальная толщина размягченного слоя, $d_{max} = \beta g / C_{кр}$; $t_{св} = g^2 / \alpha C_{кр}^2 D$; α, β – постоянные. $a, б, в - t_i = 0$; $г - t_i = t_{ов}$; $д - t_i = t_{ов} + t_{св}$.

В качестве растворителя выбрали хлороформ. Присадочным материалом служила лаковая композиция с оптимальным содержанием полисульфона 23 %-масс.

В работе определяли как время $t_{мп}$, достижения максимальной прочности соединения, так и выдержку $t_{рп}$, достаточную для достижения «технологической» прочности. Параллельно с зависимостью $\tau = f(t)$ находили зависимость потери присадкой растворителя. У образцов нахлесточных соединений через 4-5 мин закрытой выдержки при нормальной температуре достигли прочности при сдвиге около 0,2 МПа. За это время из зоны шва испарилось и диффундировало около 16

% растворителя. Вместе с тем определение прочности при сдвиге еще не дает ответа на вопрос, в каком состоянии находится полимерная матрица в зоне контактирующих образцов. Даже при наличии остатков растворителя в этой зоне соединение, нагружаемое одновременно по всей его поверхности, может сопротивляться разрушению. Поэтому провели исследование влияния выдержки на

прочность соединения при расслаивании, которая более чувствительна к деформационным свойствам материала шва, чем прочность при сдвиге, и не зависит от площади соединения, а зависит от его ширины при одинаковых других параметрах.

В отличие от нахлесточных образцов через 25 мин выдержки «технологической» прочности при расслаивании соединения не достигли (табл. 1). Более того, растворитель в шве присутствует в таком количестве, что при расслаивании образцов образуются тяжи. Более надежное соединение, пригодное для передачи сварного изделия на следующую операцию, можно получить за время выдержки 60 мин.

Таблица 1 Влияние продолжительности t выдержки от момента контактирования до момента испытания Т-образных сварных образцов стеклотекстолита КТМС-1П при растяжении при комнатной температуре на их прочность P .

| t | 25 мин | 60 мин | 5 суток | 7 суток |
|--------------|--------|--------|---------|---------|
| P^* , Н/см | 0 | 9,0 | 54 | 53 |

*Средние результаты испытания не менее 3-х образцов на один вариант режима

Для ускорения процесса сварки применили дополнительную термообработку в термошкафу при температуре 55°C (ниже температуры кипения хлороформа - 61,2°C), с целью оценки ее влияния на прочность соединения.

Эксперименты показали возможность осуществления ускоренной ремонтной сварки с использованием нагревателей, не требующих подвода электроэнергии, например, в виде термохимической ленты, представляющей собой гибкий пиротехнический элемент.

Для выяснения, не является ли причиной снижения прочности сварных соединений по сравнению с прочностью свариваемого материала действие растворителя, были изготовлены образцы параллельных соединений пластинок шириной 15 мм и длиной 150 мм из модельного стеклотекстолита КТМС-1П толщиной 0,4 мм. Все образцы разрушились вдали от зоны шва около зажимов разрывной машины, что косвенно указывало на отсутствие изменений структуры и ослабления материала шва под влиянием растворителя.

Поскольку при сварке растворителем температура во всем объеме свариваемых деталей перед началом процесса и после его завершения остается постоянной, то говорить о термических остаточных напряжениях в шве, возникающих при тепловой сварке, говорить не приходится.

Возможность влияния диффузионных напряжений на прочность сварного соединения оценили проведением дополнительной термообработки соединений, выполненных по оптимальному режиму. При визуальном осмотре образцов нахлесточных соединений изменений их внешнего вида (коробления) не обнаружили. Прочность соединений при сдвиге осталась на исходном уровне.

В экспериментах была оценена эффективность применения при сварке растворителем мало изученных в технологии сварки конструкторских методов

повышения прочности соединений. Увеличение длины перекрытия в нахлесточном соединении приводит к снижению разрушающего напряжения, хотя разрушение образцов при длине перекрытия 10 мм и выше происходило по основному материалу в околошовной зоне. Было проверено, как увеличение толщины материала шва по сравнению с толщиной деталей может отразиться на прочности Т-образных соединений. Из данных табл. 2 видно, введение утолщения материала Т-образных швов, изготовленных сваркой растворителем, дает такой же заметный эффект в повышении их прочности, как и при тепловой сварке термопластов.

Возможность восстановления прочности дефектных деталей сваркой растворителем оценивали на образцах длиной 200 мм и шириной 25 мм из стеклотекстолита марки КТМС-1П различной толщины (от 0,4 до 2,0 мм). В них были выполнены наиболее опасные, как представляется, дефекты для конструкционных деталей типа разрыва стенки в виде боковой прорези длиной 6 мм в направлении поперек направлению основы или отверстия диаметром 6 мм.

Таблица 2 Влияние толщины двухсторонних накладок в Т-образных соединениях сваркой растворителем стеклотекстолита КТМС-1П толщиной 0,2 мм на их прочность* при расслаивании.

| №№ п/п | Толщина накладки, мм | Разрушающее усилие*, Н/10 мм | Характер разрушения |
|-----------|-------------------------|---------------------------------|---------------------|
| 1 | - | 26,7 | Расслоение по шву |
| 2 | 0,2 | 61,0 | То же |
| 3 | 0,4 | 84,2 | То же |
| 4 | 0,6 | 92,9 | То же |
| 5 | 1,0 | >160,0 | Разрыв около зажима |
| 6 | 2,0 | >135,0 | То же |

*Средние результаты испытания не менее 3-х образцов

Чтобы обеспечить идентичность ремонтируемого ТКМ и материала усиливающих накладок для одновременного включения их в работу при нагружении, в качестве ремонтного материала выбрали пластинки из готового стеклотекстолита той же марки КТМС-1П, что и ремонтируемые образцы, и препреги на основе раствора полисульфона и стеклотканей двух марок: российской Т-15(П)-76 (ТУ 6-48-53-90, партия № 962, толщиной 0,18 мм) и фирмы Pocher (Франция) 7581-К 506 толщиной 0,27-0,29 мм. Готовые препреги хранили в герметичной упаковке.

Технологический процесс ремонта по первому варианту с помощью накладок из готового стеклотекстолита по сути своей заключался в их приварке с одной или с двух сторон дефектных участков. Присадочный материал наносили на обе соединяемые поверхности. При втором варианте ремонта процесс внешне выглядел как приформовка препрегов на основе реактивного связующего, но механизм процесса присоединения накладок из слоев препрегов на основе указанных выше тканей и раствора полисульфона к дефектным участкам был иным. Растворитель в препреге вызывал набухание слоя полисульфоновой матрицы на поверхности дефектного образца, и происходило диффузионное соединение накладки и

ремонтируемого ТКМ. К накладкам прикладывали давление около 0,05 МПа. В производственных условиях ремонта его несложно создать с помощью вакуумного мешка. В работе регулировали толщину, длину и форму накладок. Для создания толщины накладки, способной восстановить прочность дефектного участка, монтаж ее слоев проводили последовательно с перекрытием краев предыдущего слоя последующим слоем. Прочность соединения привариваемых накладок, достаточную для выполнения последующих после ремонта монтажных операций, можно получить после выдержки под давлением и при нормальной температуре уже в течение 1 ч. Формование многослойной накладки из препрега длится не менее 1 суток. Двухстороннее нанесение накладок с точки зрения обеспечения более плавного перехода от стенки детали к дефектной зоне предпочтительнее одностороннего, но требует в условиях производства доступа к дефектной зоне с двух сторон. Ускорить процесс формования накладок удалось применением гибких термохимических нагревательных элементов российского или японского производства, обеспечивающих нагрев до 60°С.

Образцы с приваренными усиливающими накладками подвергали испытанию при растяжении согласно ГОСТ'у 11262-80. Их прочность сравнивали с прочностью исходных целых образцов и образцов, имеющих обозначенные выше дефекты. Из данных табл. 3 видно, что эти дефекты приводят к существенному снижению прочности образцов из ТКМ по сравнению с целым материалом (см. №№ 6, 10, 13). Изготовление прорези механической резкой у материала толщиной 0,6 мм вызвало большее снижение прочности (см. № 6), чем у материала толщиной 1,1 мм (см. № 10).

Однако и в обоих случаях применение усиливающих накладок, присоединяемых методом сварки или формируемых из препрегов на дефектном участке, позволяет восстанавливать его прочность до достаточно высокого уровня.

Вместе с тем увеличение толщины и размеров накладок не всегда повышает относительную прочность ν усиленных образцов (см. №№ 2, 3 и 4). Сравнивая данные для материалов толщиной 0,4 (№№ 2, 3 и 4) и 0,6 мм (№ 7), отличающихся прочностью, можно констатировать, что чем прочнее исходный ремонтируемый материал, тем ниже степень восстановления его несущей способности в процессе ремонта. В этой части обнаружено аналогичное поведение сварных соединений с накладками и клеевых соединений ПМ с накладками из аморфного металла. Разрушение образцов при этом носит когезионный характер.

В целом степень восстановления прочности дефектных образцов можно регулировать, изменяя толщину и площадь накладок (см. №№ 11 и 12, 15 и 16). Двухстороннее нанесение также повышает относительную прочность усиленных образцов (см. №№ 7 и 8).

Таблица 3 Влияние на прочность дефектных образцов из полисульфонового стеклотекстолита КТМС-1П присоединения к ним сваркой растворителем или

приформовкой диффузионным способом усиливающих накладок из полисульфонового стеклотекстолита.

| №№ п/п | Способ ремонта | Толщина образца, мм | Площадь поперечного сечения, мм ² | Тип образца | Тип накладки | Длина накладки, мм | Разрушающая нагрузка при растяжении Н | Прочность при растяжении Н/мм ² | v ¹⁾ , % |
|--------|---|---------------------|--|---|---|---|---------------------------------------|--|---------------------|
| 1 | Ремонт с применением приформовки прешрега | 0,4 | 10 | Целый материал | - | - | 4725 | 472,5 | - |
| 2 | | | | С дефектом типа боковая прорезь | С одной стороны на основе ткани Т-15(П)-76 | 40+40 ²⁾ | 2975 | 297,5 | 63,0 |
| 3 | | | | | | 20+30+50 ²⁾ | 3060 | 306,0 | 64,8 |
| 4 | | | | | | 20+30+40+50 ²⁾ | 2809 | 280,9 | 59,4 |
| 5 | Ремонт с применением сварки | 0,6 | 15 | Целый материал | - | - | 4927 | 328,47 | - |
| 6 | | | 11,4 | С дефектом типа боковая прорезь | - | - | 1257 ³⁾ | 110,3 | 33,8 |
| 7 | | | 15 | | С одной стороны из одного слоя КТМС-1П толщиной 0,4 мм | 70 | 4071 ⁴⁾ | 271,4 | 82,6 |
| 8 | | | 15 | | То же | С двух сторон по одному слою из КТМС-1П толщиной 0,4 мм | 70 | 5040 ³⁾ | 336,0 |
| 9 | Ремонт с применением сварки | 1,0 | 25 | Целый материал | - | - | 8430 | 337,2 | - |
| 10 | | 1,1 | 20,9 | С дефектом типа боковая прорезь | - | - | 4918 | 235,3 | 69,8 |
| 11 | | 1,0 | 25 | | С одной стороны из КТМС-1П толщиной 0,6 мм | 30 | 5735 ⁴⁾ | 229,4 | 68,0 |
| 12 | | | 25 | | | 40 | 6330 ⁴⁾ | 253,2 | 75,1 |
| 13 | | 25 | С дефектом типа отверстие диаметром 6 мм | С одной стороны 4 слоя и с другой стороны 1 слой из КТМС-1П толщиной 0,2 мм | 20+30+40+50 ²⁾ и 50 | 7656 ⁴⁾ | 306,2 | 90,8 | |
| 14 | Ремонт с применением приформовки | 1,0 | 19 | С дефектом типа отверстие диаметром 6 мм | - | - | 4330 | 228,0 | 67,6 |
| 15 | | 1,0 | 25 | | С одной стороны на основе ткани 7581-К 506 | 40+45 ²⁾ | 8220 | 328,8 | 97,5 |
| 16 | | 1,0 | 25 | | С одной стороны 3 слоя и с другой стороны 2 слоя на основе ткани 7581-К 506 | 30+40+60 ²⁾ и 55+55 ²⁾ | 9274 ⁵⁾ | 370,9 | 100 |

¹⁾Относительная прочность. ²⁾Чередование слоев по толщине накладки. ³⁾Разрушение в зажимах разрывной машины. ⁴⁾Разрушение в зоне дефекта. ⁵⁾Разрушение по кромке накладки.

ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

1. Решение проблем ремонта изделий из ПМ требует комплексного подхода с позиций полимерного материаловедения, технологии и механики соединений ПМ. При выборе метода ремонта необходимо учитывать как структуру, состав, так и весь комплекс механических, теплофизических и химических характеристик ПМ изделия. Сохранить волокнистую структуру термопластичного КМ в зоне сварного шва и вместе с этим достичь прочности сварного соединения, близкой к прочности при

сдвиге соединяемого материала, удается применением сварки растворителем, которая может рассматриваться как альтернатива другим методам в ремонтной технологии восстановления несущей способности дефектных деталей.

2. Поскольку сущность процессов ремонтных тепловой сварки и сварки растворителем в общем виде одинакова, то результаты исследования свариваемости растворителем позволяют получить предварительные данные о свойствах сварных соединений, изготовленных тепловыми методами. Результаты исследования ремонта приформовкой накладок из препрегов на основе раствора матрицы ремонтируемого ТКМ и волокнистого наполнителя позволяют отнести этот метод к диффузионному соединению и рассматривать его аналогом сварки металлов наплавкой. Такие накладки могут быть нанесены как на прямолинейные, так и на криволинейные поверхности.

3. Выбирать важнейший параметр сварки растворителем - время, обеспечивающий достижение «технологической прочности» соединения, целесообразно по результатам его испытания на расслаивание, так как прочность при расслаивании более чувствительна к деформационным свойствам материала шва, чем прочность при сдвиге, и при одинаковых других характеристиках не зависит от площади соединения. «Технологическая прочность» нахлесточного соединения при сварке растворителем полисульфонового стеклопластика достигается за время закрытой выдержки при комнатной температуре в течение 60 ± 5 мин.

4. При сварке растворителем об отсутствии негативного влияния режимов и условий сварки на свойства ТКМ можно судить по результатам испытания при растяжении двух слоев сваренных посередине пластинок (так называемого параллельного соединения).

5. Прочность восстановленного с помощью сварки растворителем дефектного участка может быть близкой к 100 % исходной прочности ремонтируемого ТКМ. Оценивая ремонтпригодность материалов, отличающихся прочностью, можно констатировать, что чем прочнее исходный ремонтируемый материал, тем ниже степень восстановления его несущей способности.

6. Изготовление утолщения материала Т-образных швов ТКМ, выполненных сваркой растворителем, дает такой же заметный эффект повышения прочности, как и при тепловой сварке термопластов. Увеличить прочность благодаря дополнительной конструкторской доработке – приварке накладки на зону перекрытия можно и у нахлесточного сварного соединения.

7. При исследовании влияния длины перекрытия на прочность одинарных нахлесточных сварных соединений ТКМ пришли к заключению, что распределение касательных напряжений в нем такое же, как и в клеевом аналогичной конструкции, т.е. имеет место концентрация напряжений по краям перекрытия. Величина разрушающей нагрузки для полисульфонового стеклотекстолита марки КТМС-1П толщиной 0,6 мм практически стабилизируется при длине перекрытия 20-25 мм.

8. Опробованная в лабораторных условиях технология восстановления несущей способности дефектных деталей из ТКМ сваркой растворителем пригодна для реализации в условиях ремонтных служб предприятий.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. Комаров Г.В., Аунг Тху Хан, Андросова Н.И., Здановский Е.М. Свойства полимерных материалов при ремонте и восстановлении несущей способности изделий // Технология машиностроения, 2013.- № 1.- С. 5-12.

2. Аунг Тху Хан, Комаров Г.В. Исследование восстановления прочности дефектных деталей из конструкционных термопластичных материалов методом сварки// Пласт. массы.- 2014.- № 5-6.- С. 41-44.

3. Комаров Г.В., Аунг Тху Хан. Применение сварки при ремонте деталей из термопластичных композиционных материалов // Сб. научн. трудов V Междунар. конф. «Новые перспективные материалы и технологии их получения. НППМ-2010» Волгоград, 14-16 сент. 2010 г.- Волгоград: Волг. ГТУ, 2010.- С. 157-159.

4. Аунг Тху Хан, Комаров Г.В. Исследование технологии ремонта деталей из ПКМ с применением приформовываемых накладок из ТКМ // «XXXVI Гагаринские чтения». Научные тр. Международной молодежной научн. конф. В 8 томах. Москва, 6-10 апреля 2010 г.- М.: МАТИ, 2010. - Т.1.- С. 10.

5. Комаров Г.В., Аунг Тху Хан. Ремонт деталей из конструкционных термопластичных материалов сваркой растворителем // Новые материалы и технологии – НМТ-2010». Материалы Всероссийской научн.-технич. конф.. Москва, 16-18 ноября 2010 г. В 3 томах. - М.: ИЦ МАТИ, 2010. - Т. 1.- С. 98-99.

6. Аунг Тху Хан, Комаров Г.В. Сварка термопластичного КМ с помощью растворителя // «XXXVIII Гагаринские чтения». Научные труды Междунар. молодежной научн. конф. В 8 томах. Москва, 10-14 апр. 2012 г.- М.: МАТИ, 2012. - Т. 1. - С. 8-9.

7. Комаров Г.В., Аунг Тху Хан. Исследование возможности восстановления прочности термопластичных композиционных материалов, имеющих дефекты, сваркой // Научные труды МАТИ. Вып. 18 (90).- М.: МАТИ, 2011.- С. 13-18.

8. Комаров Г.В., Аунг Тху Хан. Анализ дефектов сварных соединений полимерных материалов // Новые материалы и технологии – НМТ-2012. Материалы Всеросс. научн.-техн. конф. Москва, 20-22 нояб. 2012 г. – М.: МАТИ, 2012.- С. 108-109.

9. Аунг Тху Хан, Комаров Г.В. Анализ дефектов сварных соединений термопластичных композиционных материалов (ТКМ) // «XXXIX Гагаринские чтения». Научн. труды Междунар. молодежной научн. конф. В 9 томах. Москва, 9- 13 апр. 2013 г.- М.: МАТИ, 2013. - Т. 1.- С. 10-11.

10. Аунг Тху Хан, Комаров Г.В. Методы обнаружения и анализ дефектов в сварных изделиях из полимерных материалов// «XL Гагаринские чтения. Научные труды Междунар. молодежной научн. конф. в 9 томах. Москва, 7-11 апр. 2014 г.-М.: МАТИ, 2014.- Т. 1.- С. 10-11.

Формат 60x84 1/16. Объем – 1 п.л. Тираж – 100 экз. Заказ №

Издательство – «Реглет». Москва, Ленинградский пр-т, д.74, корп. 1