

УДК 665.939.5

Г.В. Мальшева¹, Д.В. Гращенков², Т.А. Гузева¹

ОЦЕНКА ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КЛЕЕВ И КЛЕЕВЫХ ПРЕПРЕГОВ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ТРЕХСЛОЙНЫХ ПАНЕЛЕЙ

DOI: 10.18577/2071-9140-2018-0-4-26-30

Проведена оценка технологичности клеевых материалов в зависимости от типов производств, на которых они изготовлены. На примере трехслойной панели рассмотрены характеристики технологичности при использовании жидких и пленочных клеев, а также клеевых препрегов. В качестве характеристики технологичности использовались показатели трудоемкости, материалоемкости и энергоемкости при производстве, эксплуатации и ремонте. Установлено, что клеевые препреги имеют наилучшие оценки по технологичности по всем используемым показателям.

Ключевые слова: клеевые соединения, технологичность, надежность, тип производства.

G.V. Malysheva¹, D.V. Grashchenkov², T.A. Guzeva¹

EVALUATION OF TECHNOLOGICAL USE EFFICIENCY OF ADHESIVES AND GLUE PREPREGS IN THE MANUFACTURE OF THREE-LAYER PANELS

An assessment of the technological efficiency of adhesive materials depending on the types of industries, where they were made, has been conducted. The technological efficiency characteristics while using liquid and film adhesion, materials intensity and energy intensity during production, operation and maintenance were used as a characteristic of technological efficiency. It has been established that glue prepregs have the best estimates for the technological efficiency according to the most indicators.

Keywords: adhesive joints, the technological efficiency, reliability, type of production.

¹Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» [Bauman Moscow State Technical University (National Research University of Technology)]; e-mail: bauman@bmstu.ru

²Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Государственный научный центр Российской Федерации [Federal State Unitary Enterprise «All-Russian Scientific Research Institute of Aviation Materials» State Research Center of the Russian Federation]; e-mail: admin@viam.ru

Введение

Клеевые соединения относятся к числу самых распространенных видов неразъемных соединений, с помощью которых выполняют сборочные операции при изготовлении подавляющего большинства конструкций машин и механизмов самого различного назначения [1–3], в том числе и авиационных. Выбор клеевого материала зависит от множества факторов и определяется не только комплексом физико-механических свойств клеевого материала и клеевого соединения, но и их эксплуатационными и технологическими свойствами, а также требованиями по технологичности [4, 5].

Показатели технологичности относятся к комплексным характеристикам любого изделия и характеризуют его приспособленность, т. е. удобство в применении при производстве, эксплуата-

ции и ремонте [6, 7]. Характеристики любых материалов, в том числе и клеевых, выражаются в конкретных единицах измерения и имеют стандартизованные методики определения, тогда как показатели технологичности имеют как качественные, так и количественные характеристики, и для их определения отсутствуют стандартизованные методы [8–10].

Требования по технологичности клеевых соединений определяются не только функциональными особенностями конструкций машин, в составе которых имеются клеевые соединения, но и его технологическими особенностями: количество компонентов клеевого материала, жизнеспособность, вязкость, кинетика нарастания вязкости, особенности технологии приготовления, особенности используемой оснастки и инструмента для нанесения клея и фиксации клеевых

соединений, требования по точности геометрических размеров клеевых швов и т. п.

В зависимости от назначения клеевого материала, условий изготовления и эксплуатации клеесборной конструкции к клеевым материалам предъявляется комплекс дополнительных требований. Например, к клеевым материалам, применяемым в арктических условиях [11], предъявляются специальные требования к растворителям, используемым для обезжиривания поверхностей перед нанесением клея, которые должны растекаться по металлической поверхности при температуре -60°C . К клеевым материалам, используемым при проведении текущего ремонта металлоконструкций, предъявляются требования по минимизации значений контактного давления при сборке клеевого соединения [12]. При склеивании конструкций из полимерных композиционных материалов существуют жесткие требования по технологии отверждения, обеспечивающие минимальные значения усадки и остаточных напряжений [13–15].

Целью данной работы является определение технологичности изготовления элемента трехслойной панели в зависимости от свойств используемых клеевых материалов.

Материалы и методы

В качестве объекта исследований использована трехслойная панель с сотовым наполнителем из алюминиевой фольги. Для материала панелей использован стеклопластик, изготовленный с применением эпоксидного связующего. В качестве клеевых материалов, предназначенных для крепления сотового наполнителя к обшивкам, использован пастообразный клей ВК-9, пленочный клей ВК-36 и клеевой препрег на основе стеклянной ткани и модифицированного эпоксидного связующего. Выбор марок клеев связан только с их технологическими характеристиками.

Для повышения технологичности клеевых технологий разработаны новые материалы и новые конструкторско-технологические решения, обеспечивающие повышение показателей производственных процессов. К таким материалам относятся клеевые препреги и самоклеящиеся пленки, которые являются конструкционными материалами и одновременно выполняют функции клея [1]. Высокая оценка технологичности клеевых препрегов, слоистых металлополимерных материалов и самоклеящихся пленок связана в том числе с обеспечением высокого уровня контроля их качества. Все работы по приготовлению этих материалов ведутся на специализированных предприятиях, где обеспечен должный контроль по всему технологическому маршруту – начиная от входного контроля и заканчивая оценкой надежности изготовленных конструкций.

Показатели технологичности в существенной степени зависят от типа производства, на котором

изготавливают изделия. Машиностроительные производства принято подразделять (в зависимости от их серийности) на единичные, мелко- (средне-)серийные и массовые [9]. В качестве критерия такого деления используют не количество выпускаемых изделий, а коэффициент закрепления технологических операций K , который определяют из отношения $K=O/P$, где O – общее количество всех технологических операций, выполняемых в течение определенного периода времени; P – общее число рабочих мест [9]. Таким образом, несколько предприятий, выпускающих одинаковое количество изделий в год, могут относиться к разным типам производств.

При единичном производстве объемы выпускаемых изделий невелики, а номенклатура таких изделий может быть, наоборот, очень высока, и поэтому на одном и том же рабочем месте выполняются самые различные операции. Значение коэффициента закрепления операций для единичного производства, как правило, не лимитируется, но оно всегда больше 50. К клеевым материалам, применяемым в условиях единичного производства, нет дополнительных требований по количеству компонентов, технологии подготовки поверхности под склеивание и нанесение. Это связано с тем, что при единичном производстве возможно обеспечить заданное качество клеевого соединения даже при условии применения многокомпонентных клеев с малым сроком их жизнеспособности. В единичном производстве отсутствует разделение производственных площадей по технологическим операциям процесса склеивания, и поэтому операции по приготовлению клея, подготовке поверхности под склеивание, сборке и отверждению выполняются на одном рабочем месте. В единичном производстве сборка клеевых соединений осуществляется вручную – без использования средств механизации и автоматизации. При такой технологии организации производства заданное качество обеспечивается только при наличии квалифицированного персонала при сравнительно небольших затратах.

Коэффициент закрепления операций в условиях мелкосерийного производства изменяется в диапазоне от 20 до 40 ($20 \leq K \leq 40$). В условиях мелкосерийного производства, как правило, планировка цехов и участков организована точно так же, как и в единичном производстве – по типам обработки (например, участок механической обработки, на котором располагается универсальное станочное оборудование, или участок склеивания, на котором имеется оборудование, необходимое для хранения компонентов клея и их приготовления, а также оснастка, используемая при отверждении клеевых соединений). В отличие от единичного производства, при мелкосерийном производстве участок подготовки поверхностей перед нанесением клеев, как правило, выделен в отдельное подразделение и оснащен оборудованием

Таблица 1

Показатели технологичности (усл. ед.) использования жидких клеевых материалов при изготовлении трехслойной панели с сотовым наполнителем

Вид технологичности	Трудоемкость	Материалоемкость	Энергоемкость
Производственная	3	3	3
Эксплуатационная	2	3	2
Ремонтная	5	5	4

для проведения пескоструйной (дробеструйной) обработки, обезжиривания с использованием как органических, так и водно-моющих растворов.

Отличительной особенностью среднесерийного и крупносерийного производств (по сравнению с мелкосерийным) является иное расположение технологического оборудования, которое выстраивают в зависимости от организации процесса сборки, которая может быть поточной или групповой. Коэффициенты закрепления технологических операций в среднесерийном производстве изменяются от 10 до 20, а в крупносерийном – от 1 до 10. Коэффициент закрепления в массовом производстве составляет 1.

В условиях крупносерийного и массового производства используют автоматизированные или механизированные виды выполнения сборки клеевых соединений, что требует наличия дополнительных средств контроля качества их выполнения. Сложность использования клеевых материалов в условиях массового производства (например, при поточной сборке) связана с тем, что необходимо увязать продолжительность изготовления каждого клеевого соединения с тактом сборки (она должна быть ей равна или кратна). Такт сборки на предприятиях может изменяться в пределах нескольких минут, тогда как длительность процесса отверждения клеев измеряется часами или даже сутками. Существует множество способов интенсификации процессов отверждения, например, за счет использования катализаторов или специальных режимов отверждения, однако они, как правило, приводят к ухудшению эксплуатационных свойств клеевых соединений.

Технологичность клеевых материалов подразделяют на производственную, эксплуатационную и ремонтную. Традиционно принято полагать, что клеевые материалы отличаются очень высокими характеристиками технологичности, однако это относится только к ремонтным производствам, и то только в части трудоемкости и материалоемкости.

Результаты и обсуждение

В табл. 1 приведены значения показателей технологичности, полученные экспертными методами [10, 12] для клеевой технологии получения трехслойной панели с сотовым наполнителем, изготовленной с использованием жидкого клея. Для оценки использовали пятибалльную систему: 1 – неудовлетворительно; 2 – плохо; 3 – удовлетворительно; 4 – хорошо; 5 – высокая технологичность. В качестве экспертов выступали заводские технологи, имеющие опыт разработки технологических процессов с применением клеевых материалов.

Как следует из данных табл. 1, клеевая технология характеризуется хорошими показателями технологичности только в ремонтном производстве. Наименьшие показатели технологичности клеесборных конструкций обеспечиваются в процессе эксплуатации конструкций, значения которых ниже или равны показателям при их производстве.

В табл. 2 приведены результаты экспертной оценки показателей технологичности изготовления элементов трехслойных панелей при использовании жидких и пленочных клеев, а также клеевых препрегов.

Таблица 2

Показатели технологичности (усл. ед.) клеевых соединений

Типы конструкций	Трудоемкость	Материалоемкость	Энергоемкость
Трехслойная панель с сотовым наполнителем, изготовленная с использованием жидкого клея	3	3	3
Трехслойная панель с сотовым наполнителем, изготовленная с использованием пленочного клея	4	4	3
Трехслойная панель с сотовым наполнителем, изготовленная с использованием клеевого препрега	5	5	5
Слоистая металлополимерная конструкция (СИАЛ)	4	5	4
Самоклеящаяся фольгированная пленка	4	5	5

При нанесении жидкого клея (при изготовлении трехслойных панелей с сотовым наполнителем) трудно обеспечить получение равномерного клеевого шва заданной толщины. Если же используется пленочный клей, то толщина клеевого шва обеспечивается автоматически. Однако использование пленочного клея еще не является гарантией качества изделия, поскольку оно в существенной степени будет зависеть от равномерности создания давления в процессе отверждения. Если вместо пленочного клея использовать клеевой препрег, то это не только позволяет в несколько раз сократить трудоемкость изготовления, но и автоматически обеспечивает качество формируемой конструкции.

В отличие от клеевых препрегов, которые поставляются на предприятия уже в готовом виде, использование традиционных клеевых материалов требует наличия не только квалифицированного персонала по работе с клеями, но и специальных средств оценки качества клеевого материала и готового клеевого соединения. На производстве достаточно сложно заранее предусмотреть влияние всех дестабилизирующих факторов, к которым относятся возможные нарушения технологической дисциплины, или факторов, связанных с изменяющейся производственной ситуацией. В этих случаях использование клеевых препрегов позволяет избежать множества технологических погрешностей и обеспечить требуемое качество при минимальных производственных затратах.

Заключения

В результате проведенных исследований показано, что характеристики технологичности редко используются при выборе марки клея и разработке технологического процесса склеивания, что связано с отсутствием стандартизованных методов их оценки и сложностью учета типа производства. Однако именно показатель технологичности определяет приспособленность материалов и технологий к использованию и оказывает существенное влияние на качество клеевого соединения. Приведены результаты экспертной оценки показателей технологичности конструкции элемента трехслойной панели, изготовленной с использованием стандартного клеевого материала. Установлено, что наилучшие показатели технологичности достигаются в ремонтном производстве, а наихудшие – при эксплуатации. При сравнении показателей технологичности для пастообразного пленочного клея и клеевого препрега установлено, что клеевой препрег по всем показателям превосходит пастообразные и пленочные клеевые материалы. Такие высокие показатели технологичности в первую очередь связаны с тем, что применение клеевых препрегов позволяет за одну технологическую операцию изготавливать верхнюю и нижнюю панели и проводить их сбоку с сотовым наполнителем, тогда как при изготовлении клеев (пастообразных и пленочных) первоначально изготавливают панели и только потом проводят их крепление к сотовому наполнителю.

ЛИТЕРАТУРА

1. Петрова А.П., Малышева Г.В. Клеи, клеевые связующие, клеевые препреги. М.: ВИАМ, 2017. 472 с.
2. Каблов Е.Н., Чурсова Л.В., Лукина Н.Ф., Куцевич К.Е., Рубцова Е.В., Петрова А.П. Исследование эпоксидно-полисульфоновых полимерных систем как основы высокопрочных клеев авиационного назначения // Клеи. Герметики. Технологии. 2017. №3. С. 7–12.
3. Михайлин Ю.А. Волокнистые полимерные композиционные материалы в технике. СПб.: Научные основы и технологии, 2013. 720 с.
4. Мишкин С.И., Раскутин А.Е., Евдокимов А.А., Гуляев И.Н. Технологии и основные этапы строительства первого в России арочного моста из композиционных материалов // Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн. 2017. №6 (54). Ст. 05. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 16.07.2018). DOI: 10.18577/2307-6046-2017-0-6-5-5.
5. Антипов В.В., Чесноков Д.В., Козлов И.А., Волков И.А., Петрова А.П. Подготовка поверхности алюминиевого сплава В-1469 перед применением в составе слоистого гибридного материала // Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн. 2018. №4 (64). Ст. 07. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 16.07.2018). DOI: 10.18577/2307-6046-2018-0-4-59-65.
6. Антипов В.В., Котова Е.В., Серебренникова Н.Ю., Петрова А.П. Клеевые связующие и клеевые препреги для алюмополимерных материалов // Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн. 2018. №5 (65). Ст. 06. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 16.07.2018). DOI: 10.18577/2307-6046-2018-0-5-44-54.
7. Николаев Е.В., Барботько С.Л., Андреева Н.П., Павлов М.Р., Гращенко Д.В. Комплексное исследование воздействия климатических и эксплуатационных факторов на новое поколение эпоксидного связующего и полимерных композиционных материалов на его основе. Часть 3. Расчет энергии активации и теплового ресурса полимерных композиционных материалов на основе эпоксидной матрицы // Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн. 2016. №5 (41). Ст. 11. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 16.07.2018). DOI: 10.18577/2307-6046-2016-0-5-11-11.
8. Малышева Г.В., Гузева Т.А., Гращенко Д.В., Раскутин А.Е. Влияние технологии нагрева на продолжительность процесса отверждения полимерных композиционных материалов // Труды ВИАМ: электрон.

- науч.-технич. журн. 2018. №8 (68). Ст. 02. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 16.07.2018). DOI: 10.18577/2307-6046-2018-0-2-23-27.
9. Технологическая наследственность в машиностроительном производстве / под ред. А.М. Дальского. М.: Изд-во МАИ, 2000. 360 с.
 10. Суслов А.Г., Дальский А.М. Научные основы технологии машиностроения. М.: Машиностроение, 2002. 684 с.
 11. Каблов Е.Н., Бузник В.М. Состояние и перспективы арктического материаловедения // Вестник Российской академии наук. 2017. Т. 87. №9. С. 827–839.
 12. Баурова Н.И., Зорин В.А. Применение полимерных композиционных материалов при производстве и ремонте машин: учеб. пособие. М.: МАДИ, 2016. 264 с.
 13. Гращенков Д.В. Стратегия развития неметаллических материалов, металлических композиционных материалов и теплозащиты // Авиационные материалы и технологии. 2017. №S. С. 264–271. DOI: 10.18577/2307-6046-2016-0-S-264-271.
 14. Щеголева Н.Е., Гращенков Д.В., Ваганова М.Л., Солнцев С.С. Композиционные материалы, армированные волокнистыми наполнителями // Перспективные материалы. 2014. №8. С. 22–30.
 15. Мараховский П.С., Баринев Д.Я., Павловский К.А., Алексахин В.М. Отверждение многослойных полимерных композиционных материалов. Часть 1. Математическое моделирование теплопереноса при формовании толстой плиты углепластика // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2018. №2. С. 16–22.