



НОВАЯ ФОРМУЛА КЛЕЕВОГО СОЕДИНЕНИЯ ДЛЯ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ПОЛИЛАКТИДА

П.Г. Зобов, бакалавр 4-го курса,
ИСМАРТ, направление «судостроение и
системотехника объектов морской ин-
фраструктуры», техник-конструктор 2
кат., ОАО «ПО «Севмаш»
e-mail: pavelzobov98@mail.ru
ФГБОУ ВО «Калининградский
государственный технический
университет»

А.В. Дектярев, аспирант каф.
кораблестроения ФСЭ, инженер-
технолог II кат., УКТПП,
АО ПСЗ «Янтарь»
e-mail: a.dektyarev@shipyard-yantar.ru
ФГБОУ ВО «Калининградский
государственный технический
университет»

В.Н. Морозов, доц. каф.
кораблестроения, канд. техн. наук
e-mail: mvn3613@gmail.com
ФГБОУ ВО «Калининградский
государственный технический
университет»

В представленной работе приводится новая формула клея «ДПА», способного обеспечивать прочные соединения для изделий из PLA-пластика, а также технология его изготовления. В подтверждение этому в статье проводится сравнительный анализ прочностных характеристик соединений, скрепленных при помощи клея «ДПА» и традиционных клеев для композитных материалов. Геометрические формы образцов и методика испытаний были выполнены согласно требованиям ГОСТ 14760-69. Образцы изготавливались методами 3D-печати на 3D-принтере марки «Anet A6Z7». Испытания проводились на базе научно-исследовательского, технологического и испытательного центра (НИТИЦ) АО «ПО «Севмаш» в г. Северодвинск. В качестве клеев марки «ДПА» рассматриваются два вида: «ДПА/2», представляющий собой смесь поливинилбутираля, дихлорэтана и полилактида, соединенных по технологии ультразвукового механического резонансного смешивания, и «ДПА/1» – смесь дихлорэтана, полилактида и ацетона, соединенных по той же технологии. Главное отличие «ДПА/2» от «ДПА/1» заключается в том, что в случае клея марки ДПА/1 отсутствует эффект выпадения осадка, который способствует увеличению срока годности клеевого раствора, что важно при длительном хранении и транспортировке.

Ключевые слова: *ключевые слова: полилактид, PLA-пластик, клей, 3D-печать, аддитивные технологии, прочность, дихлорэтан*

ВВЕДЕНИЕ

Клеи применяются во многих отраслях тяжелой промышленности [1, 2]. Однако до сих пор нет единой теории склеивания (адгезии) материалов [3, 4]. Вместе с тем, склеивание отдельных частей является наиболее распространенным методом сборки крупно- и среднегабаритных изделий, выращенных при помощи методов 3D-печати. Большинство 3D-принтеров имеют рабочую область $\approx 300 \times 300 \times 300$ мм, особенно в низкобюджетном ряде. Поэтому для создания габаритных изделий их обычно разделяют на блоки и склеивают после печати [5 – 7].

Склеенная или отлитая модель будет иметь различные прочностные свойства ввиду того, что при склеивании прочность изделия определяется прочностью клея, а при плавлении – прочностью материала [8].

Основными технологиями склеивания термопластичных композитных материалов являются: механическое крепление, адгезивное соединение, соединение при помощи растворителя, совместное уплотнение, соединение плавлением или сваркой [9].

ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования является новый состав клея марки «ДПА» для изделий из полилактида, обладающий, по сравнению с аналогами, более прочными свойствами соединений для любых образцов PLA-пластика.

ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

В представленной работе исследуются прочностные характеристики клеевых соединений образцов из PLA-пластика. Цель работы – провести сравнительный анализ физико-механических характеристик клеевых соединений образцов из PLA-пластика, склеенных новым клеем марки «ДПА» и традиционными клеями для пластиков.

Задачами исследования являются:

- Подбор клеев-аналогов, исследование их состава и свойств.
- Описание технологии изготовления клеев марки «ДПА/1» и «ДПА/2».
- Разработка 3D-модели образцов по стандарту испытаний, печать образцов на 3D-принтере и проведение испытаний.
- Проведение сравнительного анализа по результатам испытаний.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Испытания проводились в научно-исследовательском, технологическом и испытательном центре (НИТИЦ) АО «ПО «Севмаш» в г. Северодвинск. Методика проведения испытаний и форма образцов соответствовали стандарту [10]. Образцы для испытаний были напечатаны на 3D-принтере марки «Anet A6Z7» из PLA-пластика (рис. 1).

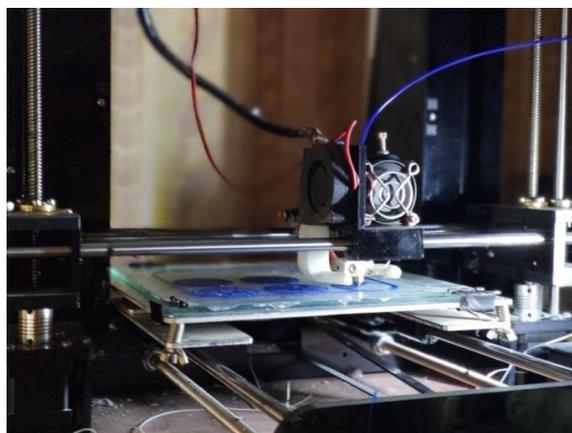


Рисунок 1 – Процесс печати образцов

Образец, предназначенный для испытаний, был склеен из двух одинаковых частей. Форма и размеры образца приведены на рис. 2.

При этом, согласно [10], диаметры склеиваемых друг с другом половин образца не должны отличаться один от другого более чем на 0,1 мм. Взаимное смещение двух половин склеенного образца не должно превышать 0,5 мм. Склеиваемые поверхности должны быть плоские и перпендикулярны продольной оси образца, а опорные поверхности головок образца должны быть параллельны склеиваемым поверхностям.

Неплоскостность поверхности Б – не более 0,02 мм. Непараллельность опорных поверхностей головок образца А к склеиваемым поверхностям Б – не более 0,02 мм. Неперпендикулярность оси В относительно поверхностей А – не более 0,02 мм. Параметр шероховатости склеиваемых поверхностей должен соответствовать Rz 20 мкм по [11].

Были исследованы прочностные свойства соединений, скрепленных при помощи следующих клеев:

1. Клей для пластика «Звезда».
2. Универсальный водостойкий клей «Момент Классик».
3. Клей «ДПА 10/1».
4. Клей «ДПА 10/2».

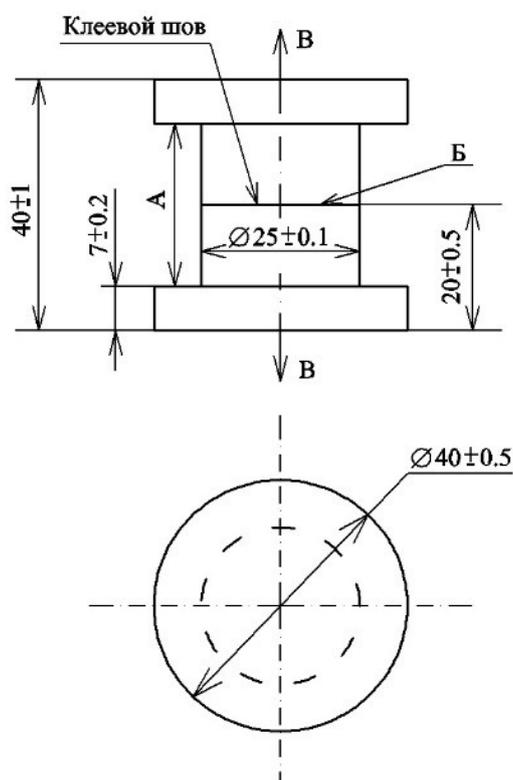


Рисунок 2 – Форма и размеры испытываемого образца

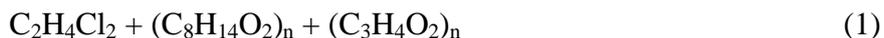
Основное предназначение клея «Звезда» – склеивание элементов сборных моделей. Клей бесцветный, без резкого запаха, быстро высыхает, не оставляет следов при склеивании, легко отмывается с рук. Однако некоторые производители рекомендуют работать с клеем в проветриваемом помещении, беречь от огня, а также сообщают о том, что клей обладает раздражающим эффектом на кожу и слизистые оболочки. Состав: толуол, бутилацетат, полистирол.

Водостойкий универсальный клей «Момент Классик» предназначен для склеивания в различном сочетании дерева, металла, кожи, резины, войлока, пластика, стекла, керамики, фарфора и т.д. Работать с клеем также необходимо вдали от открытых источников огня и в

хорошо проветриваемом помещении. При попадании клея на кожу рук или в глаза, необходимо тщательно промыть их водой. Состав: хлоропреновые каучуки, фенолоформальдегидные смолы, эфиры канифоли, противостаритель, добавки, этилацетат, ацетон, алифатические и нафтоновые углеводороды.

Склеивание образцов марками клеев «Звезда» и «Момент Классик» осуществлялось согласно инструкциям на клеи.

В работе [12], при склеивании судовой модели, напечатанной из PLA-пластика и предназначенной для гидродинамических испытаний в опытовом бассейне, был применен клей «ДПА 10/2». Клей «ДПА 10/2» представлял собой смесь поливинилбутираля, дихлорэтана и полилактида (1), соединенных по технологии ультразвукового механического резонансного смешивания:



Клей «ДПА 10/1» представляет собой смесь дихлорэтана, полилактида и ацетона, соединенных по той же технологии (2):



Главное отличие клеев марок «ДПА/2» и «ДПА/1» состоит в том, что во втором случае из-за использования ацетона нет осадка, который влияет на срок годности клея, что важно при длительном хранении и транспортировке.

Для изготовления клея «ДПА/1» необходимы:

1. Дихлорэтан, 40 г.
2. PLA-пластик (отходы от предыдущих моделей – удаленные поддержки, остатки нитей и т.д.), 4,0-4,5 г. Рекомендуется подбирать цвет PLA-пластика под цвет склеиваемых деталей.
3. Ацетон – около двух капель.

Технология производства клея выглядит следующим образом:

1. PLA-пластик необходимо измельчить до такого состояния, чтобы он помещался в необходимую емкость, где будет производиться клей (рис. 3).



Рисунок 3 – Отходы от печати полилактидом

2. Смешать PLA-пластик с дихлорэтаном, смесь поставить в УЗК-ванну для автоматического встряхивания емкости в течение 20-ти минут. При отсутствии УЗК-ванны, встряхивание емкости можно производить вручную.

3. При выпадении эмульсии прекратить встряхивание (появляется осадок при спокойном положении емкости).

4. Закапать в емкость 1-2 капли ацетона для нейтрализации осадка.

5. Нанести клей на обе стороны склеиваемых изделий и скрепить. Реакция при этом будет эндотермическая с выпадением конденсата.

6. Выдержать 12 часов.

Склеенные обычными клеями и клеем «ДПА» образцы показаны на рис. 4.

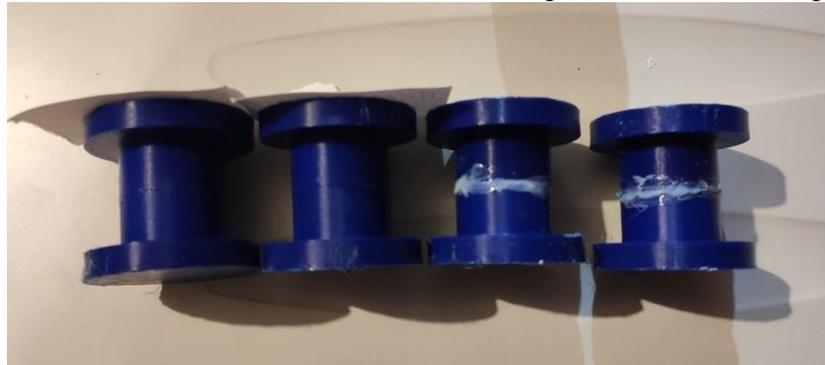


Рисунок 4 – Склеенные образцы

В результате использования клея «ДПА» происходит растворение одного слоя пластика с каждой стороны образца. Высота образца без нанесения клея – 40,0 мм, после – 39,6 мм.

Правила техники безопасности при работе с летучими соединениями типа дихлорэтана:

- запрещается пользоваться открытым огнем непосредственно при работе, а также некоторое время после работы в помещении, где хранится склеенная модель.
- работать только в хорошо проветриваемом помещении или на улице.
- руки после работы с клеем необходимо тщательно промыть и высушить.
- высыхание склеенного изделия рекомендуется проводить в нежилом помещении или на открытом воздухе.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ОБСУЖДЕНИЕ

Нагрузка образцов в испытательной машине соответствовала указанным в [10] требованиям – 10 мм/мин. В результате:

1. Клей для пластика «Звезда». Соединения разрушались сразу же после начала испытаний, соответственно машина не зафиксировала значений прочностных характеристик. Соединение обладает низкими прочностными свойствами. Клей нельзя применять при склеивании особо ответственных изделий.

2. Универсальный водостойкий клей «Момент Классик». Образец сразу начал расходить по шву. Разрушение соединения произошло после достаточно большой деформации.

Предел прочности = 18,9 Н.

3. Клей ДПА. Разрушение шва не произошло, лопнули слои образца в месте перехода сечений.

Средние значения предела текучести = 421,4 Н, разрушение самого пластика произошло не по склеенному стыку.

Разница по пределу прочности между двумя клеями составила 95 % в пользу клея марки «ДПА».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе была представлена новая формула для клеев марки «ДПА», позволяющая производить склеивание изделий из полилактида. Новый клеевой состав обладает высокими прочностными характеристиками – по сравнению с традиционными марками клеев для пластиков, значение предела прочности клея «ДПА» выше на 85 %.

В результате экспериментальных исследований было выяснено, что соединение образца, склеенного составом марки «Звезда», разрывалось сразу после начала испытаний. Предел прочности универсального водостойкого клея «Момент Классик» составил 18,9 Н. Предел прочности клея «ДПА» – 421,4 Н.

При производстве клея марки «ДПА/2» использовались отходы PLA-пластика, дихлорэтан и поливинилбутираль. Однако в этом случае выпадает осадок, что делает клеевой раствор менее долговечным при хранении и транспортировке. В связи с этим при разработке нового клея «ДПА/1» вместо поливинилбутирала использовался ацетон для нейтрализации осадка. Технология производства основывалась на методике ультразвукового механического резонансного смешивания.

Клей «ДПА» применим для любых изделий из полилактида. Однако имеются серьезные требования к технике безопасности, как при производстве клея, так и при работе с ним из-за наличия летучего, токсичного и легковоспламеняющегося дихлорэтана.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лукина, Н.Ф. Клеящие материалы в конструкции лопастей вертолетов / Н.Ф. Лукина, Л.А. Дементьева, А.П. Петрова, Л.И. Аниховская // Труды ВИАМ. – 2016. – №7 (43). – С. 58-66.
2. Лукина, Н.Ф. Термостойкие клеи для изделий авиакосмической техники / Н.Ф. Лукина, А.П. Петрова, Е.В. Котова // Труды ВИАМ. – 2014. – №3. – 11 с.
3. Приходько, А.П. Исследования процессов сцепления модифицированных полимерных композиций с восстанавливаемыми архитектурными элементами зданий / А.П. Приходько, Е.С. Харченко // Вестник Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта. – 2011. – №37. – С. 165-168.
4. Башкирцев, В.И. Научные представления об адгезии / В.И. Башкирцев, Л.А. Юдицкий // Сервис в России и за рубежом. – 2012. – № 3 (30). – С. 216-223.
5. X. Chen, H. Zhang, J. Lin, R. Hu, L. Lu, Q. Huang, B. Benes, D. Cohen-Or, B. Chen. Dapper: Decompose-and-Pack for 3D Printing. ACM Transactions on Graphics (TOG). 2015. Vol. 34. Is. 6. 12 p.
6. T.T. Allard, M.L. Sitchon, R. Sawatzky, R.D. Hoppa. Use of Hand-held Laser Scanning and 3D Printing for Creation of a Museum Exhibit. The 6th International Symposium on Virtual Reality. Archaeology and Cultural Heritage. 2005. pp 8-11.
7. X. R. Wei, Y.H. Zhang, G.H. Geng. Non-infill 3D Printing. 3D Research. № 7 (3). 2016. 12 p.
8. Соколов А.П. Дизайн скульптуры / А.П. Соколов // Вестник Тувинского государственного университета. Социальные и гуманитарные науки. – 2015. – №1. – С. 162-167.
9. A. Yousefpour, M. Hojjati, J.P. Immarigeon. Fusion Bonding/Welding of Thermoplastic Composites. Journal of Thermoplastic Composite Materials. 2004. Vol. 17. pp. 303-341.
10. ГОСТ 14760-69. Клеи. Метод определения прочности при отрыве. – Москва: Издательство стандартов, 1988.
11. ГОСТ 2789-73. Шероховатость поверхности. Параметры и характеристики. – Москва: Стандартинформ, 2018.
12. Зобов, П.Г. Современные методы 3D-сканирования при размерном анализе судовых моделей с учетом их аддитивного изготовления / П.Г. Зобов, А.В. Дектярев, В.Н. Морозов // Известия КГТУ. – 2019. – №53. – С. 151-161.

NEW ADHESIVE BOND FORMULA FOR POLYLACTIDE PRODUCTS

P.G. Zobov, bachelor of 4th year, Institute of Shipbuilding and Marine Arctic Technology, Direction of shipbuilding and systems engineering of marine infrastructure, technician designer of the 2nd cat. of PLC «PA «Sevmash»
e-mail: pavelzobov98@mail.ru
Kaliningrad State Technical university

A.V. Dektyarev, Student of the Department of shipbuilding, process engineer 2nd cat. of the Metalwork Assembly and Welding Bureau of the Department of Design and Technological Preparation of Production (Direction of the Chief Technologist), «Yantar» Baltic Shipbuilding Plant
e-mail: a.dektyarev@shipyard-yantar.ru
Kaliningrad State Technical University

V.N. Morozov, Ph.D., Associate Professor of the Department of Shipbuilding, Academician of the Russian Academy of Natural Sciences
e-mail: mvn3613@gmail.com
Kaliningrad State Technical University

In the presented work, a new formula of glue «DPA» is given, which is able to provide durable joints for products made of PLA plastic, as well as the technology for its manufacture. In confirmation of this, the article provides a comparative analysis of the strength characteristics of joints bonded with «DPA» glue and traditional adhesives for composite materials. The geometric shapes of the samples and the test procedure were performed according to the requirements of ISO 14760-69. Samples were made using 3D printing methods on an «Anet A6Z7» 3D printer. The tests were carried out on the basis of the research, technological and testing center of PLC «PA» Sevmash» in Severodvinsk. Two types are considered as adhesives of the «DPA» brand: «DPA/2», which is a mixture of polyvinyl butiral, dichloroethane and polylactide, connected using ultrasonic mechanical resonance mixing technology, and «DPA/1», a mixture of dichloroethane, polylactide and acetone, connected by the same technology. The main difference between «DPA/2» and «DPA/1» is that in the case of glue of the «DPA/1» brand, there is no precipitation effect, which helps to increase the shelf life of the adhesive solution, which is important for long-term storage and transportation.

Key words: *polylactide, PLA-plastic, glue, 3D-printing, additive manufacturing, strength, dichloroethane*