

**ВЫБОР АНТИАДГЕЗИОННОГО СОСТАВА ДЛЯ РАБОТЫ
С ОБРАЗЦАМИ ИЗ ПОЛИМЕРНОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА***

Т.В. Дынченкова	dtv17m093@student.bmstu.ru SPIN-код: 9742-7317
А.Д. Орлов	oad15m430@student.bmstu.ru SPIN-код: 9740-7295
В.В. Попов	popovvv@student.bmstu.ru SPIN-код: 5032-8170
М.А. Янко	mary.prokhorova.bmstu@gmail.com SPIN-код: 9107-0563

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

Аннотация	Ключевые слова
<i>Немаловажное значение при работе с изделиями из полимерных композиционных материалов и при получении образцов имеет выбор антиадгезионного состава. Для образцов из полимерного композиционного материала-полуфабриката на основе стеклоткани SIGARPREG GW280-TW2/2-E323 с содержанием смолы 37 %, использующихся в экспериментах по получению отверстий альтернативным методом, был проведен ряд исследований по подбору вариантов антиадгезива, необходимого для разделения готовых деталей и оснастки. Рассмотрены три состава антиадгезива, выполнена оценка каждого, выявлены их основные достоинства и недостатки. Представлены результаты работ по определению наиболее подходящего разделительного состава. Сформирована таблица с результатами визуального осмотра результатов экспериментов и сделано заключение о выборе лучшего состава.</i>	<i>Композиционные материалы, антиадгезионный состав, обработка контактной поверхности, качество поверхности, целостность изделия, вспомогательные материалы, разделительный состав, стеклоткань</i>
	Поступила в редакцию 22.10.2021 © МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2021

Введение. Композиционными материалами (КМ) называют многофазные однородные анизотропные материалы регулярной структуры с четко выраженной границей раздела фаз [1]. Благодаря объединению нескольких компонентов с совершенно разными свойствами в одну композицию становится возможным получить материал, обладающий уникальным набором свойств. Например, благодаря комбинации свойств «легкость + прочность» детали из углепластика с каждым годом находят все более широкое применение в авиа- и ракетостроении. В свою очередь, замена конструкций из тяжелых однокомпонентных материалов более легкими современными композиционными аналогами позволяет самолетам и

* Исследования выполняются в рамках гранта от фонда содействия инновациям по программе УМНИК-18 (в) в соответствии с договором № 0047372ГУ/2019.

ракетами преодолевать земное притяжение и поднимать в воздух не только свою собственную массу, но и массу полезного груза, а также большое количество пассажиров. Более того, последнее время углепластик применяют при создании спортивного инвентаря типа хоккейных клюшек, шлемов и т. п. [2, 3].

С появлением стеклопластика для таких областей, как судостроение, решился вопрос о разработке легкого и коррозионно-стойкого материала. Спустя 20 лет после создания стеклопластика (в 1990-х годах) в США была построена первая бетонная мостовая платформа, армированная стекловолокном [4].

Примечательно, что КМ находят широкое применение не только в областях, для которых они первоначально целенаправленно создавались, но и в других общественных областях, касающихся повседневной жизни человека. Железобетон и детали интерьера из древесно-стружечных плит широкомасштабно используют в промышленном гражданском строительстве и бюджетной общедоступной отделке квартир и домов.

Области применения КМ многочисленны и постоянно расширяются. Благодаря хорошим характеристикам прочности, жесткости, легкости, износостойкости, усталостной прочности КМ, а также вспомогательные материалы для их получения всегда будут обладать как научным интересом, так и высоким спросом.

Вспомогательные материалы для создания изделий и образцов из композиционных материалов. Для того чтобы создать качественное изделие или образец из КМ, которые будут использоваться для дальнейшей механической обработки, необходимо не только соблюдать технологию его изготовления, но и использовать качественные вспомогательные материалы.

Одну из ключевых ролей при формовании КМ в результате его наложения на жесткую форму играет предварительная обработка контактной поверхности формы антиадгезионным составом [5, 6]. Если проигнорировать этот этап и положить КМ сразу на неподготовленную подложку, то отделить готовое изделие из КМ от формы без его частичного или полного разрушения не получится. От качества и свойств применяемого состава напрямую зависят качество поверхности и целостность готового изделия из КМ.

Антиадгезионные составы предназначены для уменьшения взаимодействия между деталью и ее оснасткой для отделения детали от поверхности оснастки без больших усилий и повреждений [7]. Многообразие рассматриваемых продуктов обусловлено различными требованиями, связанными с особенностями формуемого материала и режимами технологического процесса. К основным факторам, влияющим на выбор разделительного состава, можно отнести температуру воздействия на изделие из КМ и адгезионные свойства его матрицы.

Рассматриваемые составы могут быть не только использованы в качестве покрытия, т. е. наноситься внешним образом, но и быть частью КМ. В последнем случае их называют внутренними разделителями. Применение внутренних разделителей позволяет уменьшить количество технологических операций, однако вопрос их влияния на физико-механические и эксплуатационные свойства готового изделия из КМ изучен недостаточно [6]. Качественные антиадгезион-

ные составы внешнего действия при разъединении формы и изделия не остаются на поверхности изделия или ложатся тонкой пленкой. В дальнейшем при необходимости применяют операции очистки, если требуется полностью удалить разделительный состав с поверхности готового изделия. Внешние составы не влияют на свойства готового продукта, что, безусловно, является их главным преимуществом по сравнению с внутренними. При ручной выкладке также возможно применение только внешнего действия.

Основу большинства разделительных составов составляют минеральные масла и неорганические растворители с добавлением воска, солей, амидов, полимеров, графитов и других присадочных материалов [8]. Например, для отливки алюминиевых сплавов и оснастки для КМ на основе эпоксидных смол обязательно содержание воска, поскольку формуемые материалы обладают повышенными адгезионными свойствами.

Выбор разделительных составов для приспособления и инструмента. В работе [7] экспериментально было доказано, что для КМ на основе эпоксидной смолы по ряду сравнительных качеств наилучшим образом подходит антиадгезионная смазка марки Loctite Frekote 770NC. Для проведения экспериментов была выбрана такая же марка разделительного состава. Основные характеристики этого продукта согласно [9] представлены ниже:

Назначение	Разделительная смазка
Внешний вид	Прозрачная жидкость
Тип химического соединения	Полимер на основе растворителя
Запах	Запах растворителя
Тип полимеризации	Полимеризация при комнатной температуре
Термостойкость, °С, не более	400
Применение	Разделительное покрытие
Диапазон температур нанесения, °С	13...60
Плотность, г/см ³	0,720 ± 0,015
Материал деталей	Эпоксидные смолы (термореактивные и препреги), сложные полиэфир, термопласты и термопластичные смолы

К особенностям антиадгезионной смазки Loctite Frekote 770NC (рис. 1) производители относят отсутствие переноса смазки при снятии форм, глянцевую поверхность готового изделия, низкий коэффициент трения, отсутствие искажения размеров формы и слабый запах. Также производитель заявляет, что данный продукт особенно хорошо подходит для процессов, когда снятие формы затруднено, например, при использовании filamentной намотки, форм из стекловолокна и эпоксидных смол.



Рис. 1. Флакон с антиадгезионной смазкой Loctite Frekote 770NC

В экспериментальном порядке в качестве разделителя помимо внешнего антиадгезива Loctite Frekote 770NC в виде спрея был использован разделительный воск Micon Mirror WAX толщиной 1 мм. Основные свойства воска Micon Mirror WAX согласно [10] представлены ниже:

Назначение	Разделительный воск
Внешний вид	Желтоватая паста
Состав	Смесь воска в растворителе
Запах	Едкий запах растворителя
Плотность, г/см ³	0,8
Температура вспышки, °С, более	25
Термостойкость, °С	150
Материал деталей	Полиэфирные и эпоксидные смолы



Рис. 2. Упаковка воска Micon Mirror WAX

Воск (рис. 2) представляет собой высококачественную пасту со свойствами порозаполнения и используется для уменьшения адгезии между материалом и оснасткой. Пасты на основе воска просты в применении, их легко нанести и располировать, что позволяет достичь высокой степени блеска поверхности и обеспечивает очень хорошие антиадгезионные свойства.

Наравне с вышеперечисленными разделительными составами было использовано хозяйственное мыло 72 % (200 г) по ГОСТ 30266–95. Его основные свойства представлены ниже:

Назначение	Многофункциональное
Внешний вид	Светло-желтое мыло прямоугольной формы
Состав	Мыльная основа животного жира,
.....	CH ₂ -O-CO-R', CH-O-CO-R'', CH ₂ -O-CO-R''',
.....	натрий едкий гранулированный NaOH, питьевая вода H ₂ O
Запах	Специфический мыльный
Качественное число (масса жирных кислот в пересчете на номинальную массу куска 100 г), г, не менее	70,5
Температура застывания жирных кислот, выделенных из мыла (титр), °С	36...42

Таким образом, для проведения эксперимента были выбраны три различных антиадгезива: спрей Loctite Frekote 770NC, разделительный воск Micon Mirror WAX и хозяйственное мыло. Каждый состав наносился на специальное приспособление, выполненное из стали Ст3.

Во всех экспериментах использовался композиционный материал — полуфабрикат на основе стеклоткани с окрашенным связующим SIGARPREG GW280-TW2/2-E323, образцы из которого получили путем прикатки восьми слоев алюминиевым валиком размером 25×10 мм. Разделительные составы наносились только

на части приспособлений (рис. 3, *а*), соприкасающиеся с образцами. В качестве крепежа в приспособлении использовались гайки и болты для металлических плит.

Толщина наносимого слоя антиадгезива составила 1 мм, что соответствует техническим требованиям для материала образцов и характеристикам используемых составов.

Далее приспособления с образцами были помещены в лабораторный сушильный шкаф SNOL 58/350 и нагреты до 135 °С. Температуру образцов измеряли с помощью цифрового термометра ВЕКА, присоединенного к образцу (рис. 3, *б*). Время нагрева составило 38 мин. После остывания приспособления были вынуты из печи. Впоследствии произведены разбор приспособлений и извлечение образцов, а также выполнен визуальный осмотр.



Рис. 3. Выполнение эксперимента:

а — смонтированное приспособление с образцами;
б — общий вид стенда для проведения экспериментов

Результаты проведения эксперимента. Критериями оценки свойств используемых антиадгезионных раздельных составов являлись:

- 1) сложность процесса извлечения образцов из приспособления после отверждения (легко/средне/плохо),
- 2) визуальный контроль поверхности образцов на наличие явных дефектов (царапины от инструмента, посторонние включения и пр.).

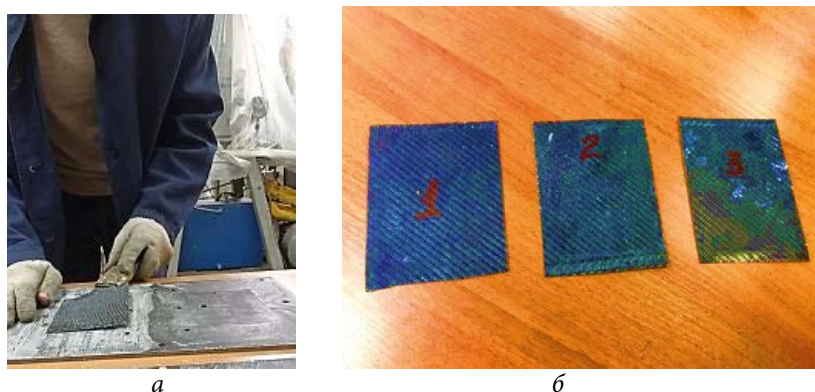


Рис. 4. Образцы с нанесенным антиадгезионным составом:

а — образец, снимаемый с приспособления; *б* — внешний вид образцов после отверждения (1 — антиадгезионная смазка Loctite Frekote 770NC; 2 — состав Micon Mirror WAX, 3 — хозяйственное мыло 72 %)

Фотографии процесса съема образцов с основания используемого приспособления и их самих (после выполнения эксперимента) с нанесенным разделительным составом представлены на рис. 4.

Результаты выполнения исследований по выбору состава для работы с образцами из материала представлены в таблице.

Сравнительный анализ исследованных антиадгезионных составов

Характеристика	Антиадгезионный состав		
	Смазка Loctite Frekote 770NC	Воск Micon Mirror WAX	Хозяйственное мыло
Сложность процесса отделения	Сложное	Легкое	Легкое
Степень отверждения / полукотверждения образца	Отвержден	Отвержден	Отвержден
Результат визуального осмотра	Шероховатая поверхность	Шероховатая поверхность	Царапины и дефекты
Возможные токсичные испарения	Да	Да	Нет

Вывод. На основании результатов экспериментов установлено, что наилучшим образом в качестве антиадгезионного состава для полимерных КМ проявил себя разделительный воск Micon Mirror WAX, обеспечивший самое легкое отделение образца от поверхности приспособления и самое высокое качество контактной поверхности образца.

Литература

- [1] Болотин Ю.З., Васильева Т.В., Василенко Е.В. Сравнение работоспособности конструкций из композиционных материалов с отверстиями, полученными сверлением и прокалыванием. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2014, № 3. DOI: <http://dx.doi.org/10.18698/2308-6033-2014-3-1332>
- [2] Chudnov I.V., Nelyub V.A., Marycheva A.N. Molding carbon fiber parts by vacuum infusion technology using a reusable elastic membrane. *Polym. Sci. Ser. D*, 2020, vol. 13, no. 2, pp. 197–200. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1995421220020057>
- [3] Малаховский С.С., Мишкин С.И. Основные тенденции получения и применения вторичных углеродных волокон. *Труды ВИАМ*, 2019, № 9. DOI: <https://doi.org/10.18577/2307-6046-2019-0-9-73-79>
- [4] Ngo T.D. Introduction to composite materials. *IntechOpen*, 2020. DOI: <https://doi.org/10.5772/intechopen.91285>
- [5] Carbone G., Di Mundo R. Special issue “Anti-adhesive surfaces”. *Coatings*, 2021, vol. 11, no. 3, art. 342. DOI: <https://doi.org/10.3390/coatings11030342>
- [6] Wei H., Xia J., Zhou W. et al. Adhesion and cohesion of epoxy-based industrial composite coatings. *Compos. B. Eng.*, 2020, vol. 193, art. 108035. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2020.108035>
- [7] Сатдинов Р.А., Вешкин Е.А., Постнов В.И. и др. Роль антиадгезионных покрытий в технологическом процессе формования ПКМ. *Труды ВИАМ*, 2016, № 4. DOI: <https://doi.org/10.18577/2307-6046-2016-0-4-10-10>

- [8] Разделительные смазки. *smazki.guru: веб-сайт*. URL: https://smazki.guru/54_razdelitelnyie_smazki.html (дата обращения: 11.07.2021).
- [9] Loctite Frekote 770-NC. Technical data sheet. *tds.henkel.com: веб-сайт*. URL: <http://tds.henkel.com/tds5/Studio/ShowPDF/?pid=FREKOTE%20770NC&format=MTR&subformat=REAC&language=EN&plant=WERCS> (дата обращения: 11.07.2021).
- [10] Разделительный воск Mikon mirror wax. *carbon-info.ru: веб-сайт*. URL: https://carbon-info.ru/upload/iblock/d24/razdelitelnyy_vosk_mikon_mirror_wax_p19_1.pdf (дата обращения: 04.10.2021).

Дынченкова Татьяна Вячеславовна — студентка кафедры «Технологии ракетно-космического машиностроения» МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Орлов Андрей Дмитриевич — студент кафедры «Технологии ракетно-космического машиностроения» МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Попов Всеволод Витальевич — студент кафедры «Технологии ракетно-космического машиностроения» МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Янко Мария Алексеевна — студентка кафедры «Технологии ракетно-космического машиностроения» МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Научный руководитель — Васильева Татьяна Владимировна, старший преподаватель кафедры «Технологии ракетно-космического машиностроения», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Дынченкова Т.В., Орлов А.Д., Попов В.В., Янко М.А. Выбор антиадгезионного состава для работы с образцами из полимерного композиционного материала. *Политехнический молодежный журнал*, 2021, № 12(65). <http://dx.doi.org/10.18698/2541-8009-2021-12-756>

THE CHOICE OF AN ANTI-ADHESIVE COMPOSITION FOR WORKING WITH SAMPLES FROM A POLYMER COMPOSITE MATERIAL

T.V. Dynchenkova

dtv17m093@student.bmstu.ru

SPIN-code: 9742-7317

A.D. Orlov

oad15m430@student.bmstu.ru

SPIN-code: 9740-7295

V.V. Popov

popovvv@student.bmstu.ru

SPIN-code: 5032-8170

M.A. Yanko

mary.prokhorova.bmstu@gmail.com

SPIN-code: 9107-0563

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

Abstract

The choice of an anti-adhesive composition is of great importance when working with products made of polymer composite materials and when obtaining samples. A number of studies were carried out to select options for a release agent required for separating finished parts and tooling for samples made of a semi-finished polymer composite material based on SIGARPREG GW280-TW2/2-E323 glass fabric with a resin content of 37%, used in experiments to obtain holes using an alternative method. Three compositions of the release agent are considered, their main advantages and disadvantages are identified. The results of work required to determine the most suitable release agent are presented. A table was formed containing the results of visual inspection of the experimental results and a conclusion was made on the choice of the best composition.

Keywords

Composite materials, release agent, contact surface treatment, surface quality, product integrity, auxiliary materials, glass fabric

Received 22.10.2021

© Bauman Moscow State Technical University, 2021

References

- [1] Bolotin Yu.Z., Vasil'yeva T.V., Vasilenko E.V. Comparison of working capacity of designs from composite materials with holes executed by puncturing and drilling. *Inzhenernyy zhurnal: nauka i innovatsii* [Engineering Journal: Science and Innovation], 2014, no. 3. DOI: <http://dx.doi.org/10.18698/2308-6033-2014-3-1332> (in Russ.).
- [2] Chudnov I.V., Nelyub V.A., Marycheva A.N. Molding carbon fiber parts by vacuum infusion technology using a reusable elastic membrane. *Polym. Sci. Ser. D*, 2020, vol. 13, no. 2, pp. 197–200. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1995421220020057>
- [3] Malakhovskiy S.S., Mishkin S.I. The main trends of receiving and applications secondary carbon fibres (review). *Trudy VIAM* [Proceedings of VIAM], 2019, no. 9. DOI: <https://doi.org/10.18577/2307-6046-2019-0-9-73-79> (in Russ.).
- [4] Ngo T.D. Introduction to composite materials. *IntechOpen*, 2020. DOI: <https://doi.org/10.5772/intechopen.91285>
- [5] Carbone G., Di Mundo R. Special issue “Anti-adhesive surfaces”. *Coatings*, 2021, vol. 11, no. 3, art. 342. DOI: <https://doi.org/10.3390/coatings11030342>

- [6] Wei H., Xia J., Zhou W. et al. Adhesion and cohesion of epoxy-based industrial composite coatings. *Compos. B. Eng.*, 2020, vol. 193, art. 108035. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2020.108035>
- [7] Satdinov R.A., Veshkin E.A., Postnov V.I. et al. The role of anti-adhesive coatings in the technological process of PCM molding. *Trudy VIAM* [Proceedings of VIAM], 2016, no. 4. DOI: <https://doi.org/10.18577/2307-6046-2016-0-4-10-10> (in Russ.).
- [8] Razdelitel'nye smazki [Parting lubricants]. *smazki.guru: website*. URL: https://smazki.guru/54_razdelitelnyie_smazki.html (accessed: 11.07.2021).
- [9] Loctite Frekote 770-NC. Technical data sheet. *tds.henkel.com: website*. URL: <http://tds.henkel.com/tds5/Studio/ShowPDF/?pid=FREKOTE%20770NC&format=MTR&subformat=REAC&language=EN&plant=WERCS> (accessed: 11.07.2021).
- [10] Razdelitel'nyy vosk Mikon mirror wax [Mikon mirror separating wax]. *carbon-info.ru: website* (in Russ.). URL: https://carbon-info.ru/upload/iblock/d24/razdelitelnyy_vosk_mikon_mirror_wax_p19_1.pdf (accessed: 04.10.2021).

Dynchenkova T.V. — Student, Department of Aerospace Engineering Technologies, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Orlov A.D. — Student, Department of Aerospace Engineering Technologies, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Popov V.V. — Student, Department of Aerospace Engineering Technologies, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Yanko M.A. — Student, Department of Aerospace Engineering Technologies, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Scientific advisor — Vasilyeva T.V., Senior Lecturer, Department of Aerospace Engineering Technologies, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Please cite this article in English as:

Dynchenkova T.V., Orlov A.D., Popov V.V., Yanko M.A. The choice of an anti-adhesive composition for working with samples from a polymer composite material. *Politekhnicheskiiy molodezhnyy zhurnal* [Politechnical student journal], 2021, no. 12(65). <http://dx.doi.org/10.18698/2541-8009-2021-12-756.html> (in Russ.).