

*Работоспособность и ресурс изделий из полиуретанов с металлической или полимерной арматурой в значительной степени зависят от прочности адгезионного шва. Известно, что в полиуретановых композициях полярные NCO-группы обладают неплохим адгезионным потенциалом, особенно если субстратом выступают высокоэнергетические поверхности металлов. Однако на практике редко удается добиться высокой прочности соединения «полиуретан-металл» без применения специальных подслоев — адгезивов — и тщательной подготовки поверхности субстрата. Этот факт связан с природой адгезионных сил, являющихся комбинацией механических, межмолекулярных и электрических взаимодействий*

Сергей СИВЧИКОВ,  
генеральный директор,  
Сергей АБОЛИН,  
заместитель  
генерального директора  
компании «С.П.Б.»

**Таблица 1. Рекомендуемые способы обработки субстратов и максимальное время до нанесения адгезива**

# Адгезия полиуретановых эластомеров к металлам

Усилие при разрыве соединения, связанное с механическими взаимодействиями, зависит от шероховатости поверхности и характера микрорельефа: материал затекает в разнонаправленные поры и обеспечивает значительное сопротивление отрыву за счет этих микрозаклепок. Однако для оптимального затекания нужны низкая вязкость, хорошая смачиваемость поверхности субстрата и механическое воздействие, вытесняющее воздух из пор. Вязкие и быстро твердеющие полиуретаны не способны полностью реализовать преимущества рельефа, в то время как адгезионный подслоя отличается низкой вязкостью, хорошо смачивает поверхность и наносится кистью, вытесняющей воздух. Кроме того, энергия межмолекулярных и электрических взаимодействий сильно зависит от расстояния между сопрягаемыми веществами. Полимерным молекулам из-за значительного размера и контакта между собой в плотном веществе сложно подойти достаточно близко к активным центрам на поверхности субстрата, а низкомолекулярные активные компоненты адгезива, диспергированные в подвижных растворителях, свободно достигают точки соединения материалов.

Активные компоненты подслоев подбираются таким образом, чтобы обеспечить максимальную адгезию как к субстратам, так и к заливаемым полиуретанам. Их состав обычно включает ингибиторы коррозии для предотвращения ее развития на поверхности раздела.

Таким образом, применение адгезивов способствует наилучшей реализации взаимодействий между полиуретаном и субстратом и повышает адгезионную прочность соединения.

«Силбонд 49 СФС» и «Силбонд 41 С», пожалуй, наиболее часто применяемые в Рос-

сии адгезивы для соединения полиуретанов горячей или холодной полимеризации. Двадцать пять лет использования данных адгезивов на собственном производстве компании «С.П.Б.» позволяет обобщить опыт работы с этими материалами.

## Подготовка субстрата

В качестве арматуры для полиуретанового изделия в 90% случаев применяются металлы. Для черных металлов наилучшим способом обработки является дробеструйная очистка: она обеспечивает многократное увеличение площади контакта, пористость поверхности, убирает загрязнения и окислы, способствует созданию активных центров. Перед обработкой деталь обязательно проходит предварительную очистку в ванне с уайт-спиритом для снятия пластичных смазок и эмульсий со всех поверхностей. Чугунная колотая дробь диаметром 0,8 мм обычно используется в замкнутом цикле. Важно обеспечить своевременную замену потерявшей остроту дроби. Обработку производят до получения бархатистой, матовой поверхности, наличие областей с металлическим блеском не допускается. Особое внимание уделяется граничным зонам, для защиты необрабатываемых поверхностей применяют маски из полиуретана. Необходимы регулярные проверки чистоты сжатого воздуха из компрессора, так как наличие следов масла или воды недопустимо. Для обработки чугуна и закаленных сталей лучше выбрать электрокорунд, хотя его применение из-за большого количества пыли требует особо тщательной промывки изделия после обработки. Рекомендуемые способы обработки и максимальное время до нанесения адгезива представлены в табл. 1.

Субстрат	Способ обработки	Максимальное время выдержки от окончания обработки до нанесения адгезива, мин.
Черные металлы	Дробь чугунная колотая	180
Нержавеющая сталь	Дробь чугунная колотая	30
Сплавы алюминия	Дробь чугунная колотая	30
Сплавы алюминия при эксплуатации в коррозионно-активной среде	Электрокорунд	30
Бронза и сплавы меди	Дробь чугунная + обработка персульфатом аммония	180
Полиамид	Дробь при пониженном давлении	180

	Растворитель 646	Ацетон-толуольная смесь (1/2)	Продувка азотом	Метиленхлорид
Разрушающее напряжение при равномерном отрыве, МПа	9,5±1,5	10,5±1,0	8,5±2,5	9,0±1,0

### Промывка субстрата

По окончании обработки проводится промывка металлических поверхностей жесткой кистью для удаления пыли и остатков дробы.

По результатам испытаний, наиболее стабильный результат дает обработка ацетон-толуольной смесью. Чистый ацетон взрывоопасен и дает охлаждение поверхности, которое может вызвать конденсацию влаги и ухудшение адгезии, кроме того, высокая летучесть не позволяет тщательно промыть

детали. С другой стороны, использование чистых толуола или ксилола требует слишком длительной сушки. Допускается применение растворителя 646 при обязательном тесте на испарение с поверхности зеркала. После высыхания растворителя наличие капель воды или масляных разводов не допускается. Бензин и керосин обычно содержат примеси парафинов и масел, а спирт — воду, поэтому их использование не рекомендуется. Обдув газообразным азотом экологичен, дает достаточно высокие, но нестабильные показатели из-за сложности контроля полноты обработки. Обдув — хорошее решение для выпуска серийной продукции на автоматических или полуавтоматических установках с вращением заготовок. В табл. 2 представлены данные по разрывному усилию при равномерном отрыве (50 мм/мин., грибки «Ст 3», «Гермокаст 53/65», твердость 65 по Шору А, 2 мм) при применении различных растворителей. Сушка перед нанесением адгезива обычно занимает 15-20 мин.

Таблица 2. Данные по разрывному усилию при равномерном отрыве при применении различных растворителей



## Комплексные решения по организации производства изделий из ПОЛИУРЕТАНОВЫХ ЭЛАСТОМЕРОВ

- Поставка ПУ-композиций для выпуска любых изделий
- Оптимальный подбор оборудования (для переработки МДИ, ТДИ, для закачки шин, вакуумзаливочные камеры)
- Запуск проверенных технологических процессов
- Производство продукции из ПУ-систем



### ООО «С.П.Б.»

194156 РФ, г. Санкт-Петербург  
пр. Энгельса, 27, корп. 12в  
Тел.: +7 (812) 3263832, 3263833  
E-mail: sales@spbcorp.ru

[www.polyurethane-spb.ru](http://www.polyurethane-spb.ru)

[www.spbcorp.ru](http://www.spbcorp.ru)

*25-летний опыт* переработки и применения полиуретановых материалов, партнерские связи с крупнейшими мировыми производителями сырья и оборудования — залог эффективности работы компании

Применение	Адгезив	Макс. время до заливки при 20°C
Полиуретаны горячей полимеризации, продукция общего назначения	«Силбонд 49 СФС», сушка на воздухе 30 мин., разогрев до рабочей температуры, заливка	8 часов
Горячая полимеризация, ответственная или тяжело нагруженная продукция	Двухслойная система: первый слой — «Силбонд 49 СФС», сушка на воздухе, запекание 1,5-2 часа при 100-110°C; второй слой — «Силбонд 49 СФС», сушка на воздухе, разогрев до рабочей температуры и заливка	Не ограничено, при защите от загрязнений 8 часов
Термопластичные полиуретаны	«Силбонд 49 СФС», сушка на воздухе, минимальный разогрев до рабочей температуры и впрыск. Требуется тщательного подбора режимов разогрева и литья	8 часов
Ротационное литье, литье крупногабаритных отливок, «холодные системы»	Смесь «Силбонд 49 СФС» 10 вес. частей + 1 часть «Гермокаста 5001 (Силкьюр В)», сушка на воздухе 30 мин.	1-3 часа
«Холодные и горячие системы», требующие эластичного адгезионного слоя (кабель, ткань и т.п.)	«Силбонд 41 С», сушка на воздухе 30 мин.	1-3 часа

**Таблица 3. Рекомендации для основных применений адгезивов марки «Силбонд»**

### Нанесение адгезива

Наиболее экономичным и надежным способом нанесения «Силбонда» является окрашивание арматуры кистью. Не рекомендуется разбавление адгезива, вязкость поставки обеспечивает комфортную работу. После нанесения изделие должно иметь выраженную красноватую окраску; не следует минимизировать слой, однако капли и потеки на поверхности тоже недопустимы. Для сушки на воздухе достаточно 20-40 мин. Не рекомендуется использовать ускоренную сушку при повышенной температуре, так как она приводит к вспениванию слоя.

### Выбор адгезива и его применение

Базовый выбор — это «Силбонд 49 СФС» для полиуретанов с температурой полимеризации выше 80°C и «Силбонд 41 С» для систем «холодной полимеризации». Многообразие систем и технологических процессов диктуют особенности использования адгезивов. Рекомендации для основных применений представлены в табл. 3.

В табл. 4 представлены результаты испытаний (равномерный отрыв, грибки

«Ст 3», «Гермокаст 53/65», 2 мм) с комментариями, на основании которых сформированы рекомендации по применению адгезивов.

### Adhesion of Polyurethane Elastomers to Metals

Sergey Sivchikov,  
Sergey Abolin

The efficiency and service life of products made of polyurethane with metal or plastic reinforcement depend largely on the adhesive bond strength. It is known that NCO groups in polyurethane compounds have a good adhesive capacity, especially if high-energy metal surface acts as a substrate.

However, in practice high-strength polyurethane-metal bond can rarely be achieved without special adhesive sublayers and careful substrate surface preparation.

**Таблица 4. Результаты испытаний адгезивов марки «Силбонд 49 СФС»**

Адгезив	Режим подготовки	Разрывное усилие, МПа	Комментарии
«СБ 49 СФС»	Сушка — 40 мин. на воздухе, разогрев до 80°C, заливка	9,5	Базовый процесс
«СБ 49 СФС» + «Гермокаст 5001» (10/1)	Сушка — 40 мин. на воздухе, разогрев до 80°C, заливка	10,5	Лучше результат, но короче срок хранения. Смесь реактивна
«СБ 49 СФС»	Сушка — 40 мин. на воздухе, запекание — 2 часа при 100°C	9,5	Результат как у базового процесса, дополнительная операция не оправдана
«СБ 49 СФС»	Первый слой — сушка 20°C; второй слой — без запекания первого, сушка, разогрев	6,5	Значительное снижение адгезии. Наносить второй слой адгезива без запекания первого нельзя
«СБ 49 СФС»	Первый слой — сушка 40 мин., запекание — 2 часа при 100°C; второй слой — сушка 20°C	14,5	Двухслойное покрытие увеличивает прочность соединения в 1,5 раза
«СБ 49 СФС»	Сушка — 40 мин. на воздухе, хранение — 48 часов на воздухе, заливка	6,6	Хранение незапеченной арматуры уменьшает адгезию
«СБ 49 СФС»	Арматура после дробеструя — 24 часа в закрытом контейнере, далее — базовый процесс	5,7	Чем больше период от обработки до нанесения, тем ожидаемо ниже адгезия