

Якщо взяти за обмеження умову (8) та закон зміни S_2 , що забезпечує рівні значення запасів по нековзанню K_1 та K_2 , то після завдання тахограми 1-го шківа $V_1(t)$ з (48) знайдемо $V_2(t)$. Підставивши $V_1(t)$ і $V_2(t)$ в (48)-(50) знайдемо закони зміни $M_{\text{ен},1}(t)$ та $M_{\text{ен},2}(t)$ в залежності від часу, які забезпечать необхідні запаси по нековзанню канатів по шківам K_1 та K_2 . Таким чином, викладений вище аналіз показує, що в багатоприводних підйомних установках вплив процесу пружного ковзання канатів по шківах дає суттєвий внесок в розподіл тягових зусиль між шківами тертя, тому його необхідно враховувати при створенні систем керування приводом та гальмом в установках такого типу.

УДК 678.4

Акбаев И. (ФРГ, Хенкель КГаА)

КРЕПЛЕНИЕ РЕЗИНОВЫХ СМЕСЕЙ К МЕТАЛЛУ

Результати проведених досліджень показують, що нове покоління водних в'язучих систем, розглянутих у статті мають для споживача екологічно безпечну альтернативу при кріпленні металу до гуми на основі каучуків загального значення.

1 Введение

Крепление резины к металлу известно более ста лет и представляет собой хоть и трудное, но интересное направление деятельности в промышленности по переработке эластомеров. Здесь следует сделать основное различие между склеиванием уже вулканизированной резины и креплением к твердому субстрату в процессе вулканизации. Если во время склеивания вулканизированной резины с металлом с помощью клея, химически не изменяющего субстраты, происходит механическое крепление, то крепление резиновой смеси к металлу в процессе вулканизации представляет собой технологию, в результате которой под воздействием температуры и давления образуется высокопрочное соединение (рисунок 1).

Сложность изготовления соединений такого рода состоит среди прочего в том, что, например, сталь и резина имеют разные характеристики «напряжение-удлинение». В то время как даже для незначительной деформации стали в зоне упругости требуются значительные усилия, высокая степень деформации резины наблюдается даже при относительно незначительных усилиях.

Функционально надежное связующее средство для крепления резины к металлу должно противостоять усилиям, вызываемым концентрацией напряжения в плоскости крепления между жестким субстратом и вулканизатом.

Однако, показатели прочности при растяжении у комбинированной детали ниже, чем у резиновой детали такого же размера. Это можно объяснить показанной выше концентрацией напряжения вблизи линии крепления. Кроме того, прочностные показатели также в значительной степени зависят от конфигурации комбинированной детали. Эти

положения важны для конструктора резинометаллических соединений. Если избежать напряжений в резине невозможно, то необходимо стремиться к максимально возможному их распределению. По этой причине следует по возможности избегать острых краев и углов при конструировании таких деталей (рис. 2).

Требование максимально возможного равномерного распределения напряжений в резиновой части комбинированной детали особое значение приобретает также потому, что не только механическая прочность, но и химическая стойкость, в частности стойкость к коррозии таких деталей тем выше, чем меньше напряжение в линии крепления.

На примере простого резинометаллического амортизатора можно показать, как за счет разделения зон, подверженных механическим и химическим воздействиям, снижается напряжение в зоне линии связи и тем самым повышается коррозионная стойкость детали [1].



Рис. 1 — Схематическое изображение процессов склеивания и крепления



Рис. 2 — Различия в характеристике "напряжение-удлинение" стали и резины

При оценке качества резинотехнического соединения определяющим является не только показатель предела прочности при растяжении, но и картина разрушения, полученная в результате разрушающего испытания.

Разрушение должно происходить в наиболее «слабом» месте детали, т.е. в ее резиновой части. Тем не менее, в спецификациях заказчиков резинотехнических деталей часто указываются только показатели прочности крепления, но при этом от таких деталей также требуется разрушение в зоне эластомера и стойкость к различным средам (рис. 3).

2 Методы испытаний

При использовании различных испытательных методов редко получают идентичные показатели прочности при разрыве. В основном различают три различных метода для испытания на прочность резинотехнических соединений.

1) Тест на расслаивание, при котором резиновая полоска определенной ширины сдвигается под постоянным углом с твердого субстрата.

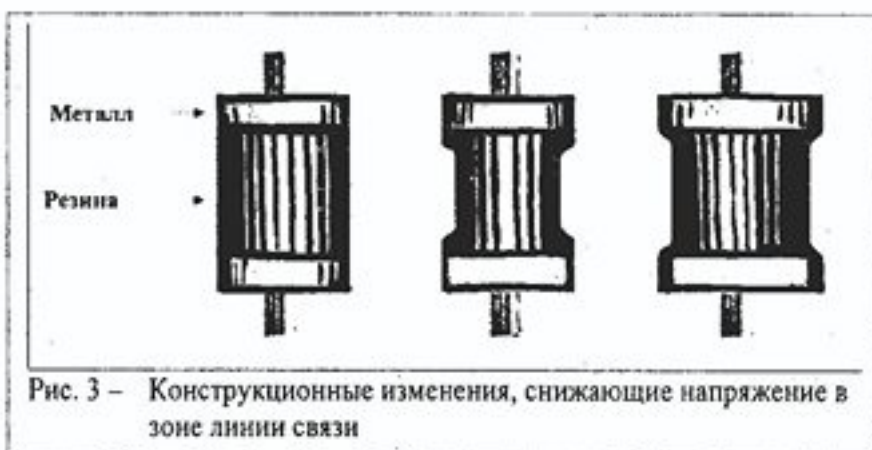
Этот испытательный метод описан, например, в следующих стандартах: ДИН 53531, лист 1, ИСО 813, АСТМД 429, метод Б, ГОСТ 411-77, ПН-70 С-04252.

2) Испытание на прочность при распределении, во время которого резиновая прокладка вулканизуется между двумя круглыми буферами и затем разрывается в вертикальном направлении.

Этот метод лежит в основе стандартов АСТМ Д 429, метод А, ПН-70 С 04252, ГОСТ 209-75, метод А+Б.

3) Испытание на сдвиг, когда резиновая прокладка вулканизуется между двумя или несколькими металлическими пластинами и затем испытывается как при склеивании внахлестку. Этот метод представлен в стандартах ИСО 1747 и, соответственно, НФТ 46-020.

Как уже упоминалось, наряду с прочностными показателями другим важным критерием качества для определения качества резинотехнических соединений является стойкость к различным средам. Коррозионная стойкость является той мерой, которая определяет пригодность резинотехнической детали к использованию. Наряду с выдержкой в горячей воде здесь показан



также метод определения стойкости к действию солевого тумана. Тест в горячей воде был разработан в 1962 году (рис. 4). Первоначально для того, чтобы определять влияние предварительной обработки металлической поверхности на стойкость резинометаллических соединений. После семилетних исследований были выработаны основные критерии для создания оптимальных технологий предварительной обработки металлических поверхностей [2].

Позднее результаты этих исследований были подтверждены снимками, полученными с помощью растровой электронной микроскопии с металлических поверхностей, обработанных различными способами [3].

Тест в кипящей воде представляет собой сегодня испытательный метод ускоренного определения коррозионной стойкости резинометаллических соединений, не дающий при этом возможности предсказать сопротивление коррозии на длительный период времени. Воздействие воды происходит сначала на граничной поверхности «металл-праймер». Однако, в случае оптимальной предварительной обработки металлической поверхности деформация имеет место также в месте связывания «адгезив – резиновая смесь» или на границе «праймер – адгезив». Это дает дополнительную возможность судить о качестве крепления со стороны эластомера и, соответственно, действенности двухслойной связующей системы (рис. 4).

В принципе тест в кипящей воде является индикатором качества резинометаллических соединений.

Для этого теста особенно хорошо годятся образцы по стандарту ASTM Д 429, метод Б, а также ДИН 53531, так как после выдержки в воде и последующего отрыва в динамометре резинового слоя может быть определена также картина разрушения в соответствии с условиями стандарта.

Для проведения данного теста образцы сбоку шлифуются и дополнительно царапают пленку адгезива в месте крепления. Затем образцы выдерживают в течение двух часов в воде при температуре 95-98 °С под нагрузкой 20 н/дюйм.

Довольно проблематично по результатам кратковременного теста делать выводы о длительной стойкости резинометаллического соединения к коррозии в условиях практики, но многолетний опыт подтверждает, что если



Рис. 4 – Схематическое изображение испытания в кипящей воде

резинометаллическое соединение дает хорошие результаты при испытании в кипящей воде, то оно и в течение длительного времени выдерживает высокие коррозионные нагрузки.

После такой обработки образец пригоден также для теста в солевом тумане. Образцы в течение 500-1000 часов при температуре 35 °С подвергают воздействию солевого тумана с 5 %-ым содержанием NaCl. Часто дополнительно используют уксусную кислоту для доведения pH соляного раствора до 3,1-3,3 (примерно при 23 °С).

Данное испытание описано в стандарте ДИН 50021.

3 Экологически безопасные связующие системы

Традиционные адгезивы используют преимущественно как двухслойные системы. Такая система состоит чаще всего из универсального праймера, который практически служит исключительно для защиты от коррозии, и собственно адгезива. В случае опасности коррозии использование праймера неизбежно. Использование праймера рекомендуется также тогда, когда вместо механической выбирают химическую обработку металлической поверхности.

Традиционные адгезивы содержат органические растворители, поэтому работа с ними должно осуществляться в помещениях с достаточной вентиляцией, а используемое оборудование должно быть во взрывобезопасном исполнении. Наряду с этими мерами предосторожности не следует недооценивать также их негативное влияние на экологию.

Все чаще предлагают системы, в которых в качестве «растворителя» используется вода. Уже в 1930 г. был описан адгезив на водной основе, однако его использование было весьма затруднительно.

Известные сегодня клеевые системы на водной основе в принципе равноценны системам на основе растворителей по технологии использования и по достигаемым результатам.

Предварительный нагрев металлических поверхностей, на которые наносится праймер на водной основе, имеет свое преимущество. Благодаря этой мере обеспечивается препятствие проникновению воды, которое, особенно в случае механической предварительной обработки металла, могло бы привести к коррозии.

Объясняется это различием в образовании клеевой пленки обеих систем.

В случае адгезивов на основе растворителей пленкообразующие полимеры растворяются и после испарения растворителя образуют в результате коалесценции пленку, в которой продолжают находиться активные вещества. Даже во время хранения растворитель диффундирует через пленку (рис. 5, рис. 6).

Система на водной основе содержит суспендированные полимеры и диспергированные активные вещества. После нанесения системы полимеры коагулируют, и мицеллы под действием осмотического давления во время процесса сушки лопаются. При этом благодаря взаимному склеиванию они образуют полимерный слой, включающий в себя активные вещества.

Худшая смачиваемость во время коагуляции мицелл ведет к тому, что загрязнения на поверхности сильнее влияют на качество крепления, чем в случае систем на основе растворителей.

Диффузия воды через пленку затруднена и не является полной, что может привести, например, к наличию следов воды под пленкой праймера. Этого можно избежать при предварительном нагреве металлических деталей. На примере схемы автоматического нанесения связующей системы показаны необходимые модификации данного процесса.

Для получения равномерной пленки праймера и, соответственно, адгезива связующая система на водной основе должна наноситься методом распыления. Нанесение кисточкой или маканием здесь не рекомендуется, что является недостатком системы.

В этой связи несомненный интерес представляет собой электростатический метод нанесения связующей системы. Совместно с изготовителями электростатического оборудования были выработаны параметры, позволяющие электростатическим способом наносить на металлическую поверхность как праймер, так и сам адгезив (рис. 7).

Возможным это стало благодаря абсолютной изоляции всех деталей установки, контактирующими с продуктами на водной основе. Так как при использовании водных суспензий ротационных усилий конусов недостаточно для получения достаточно



Рис. 5 – Принцип коалесценции при использовании систем на основе растворителей и коагуляции при использовании систем на водной основе

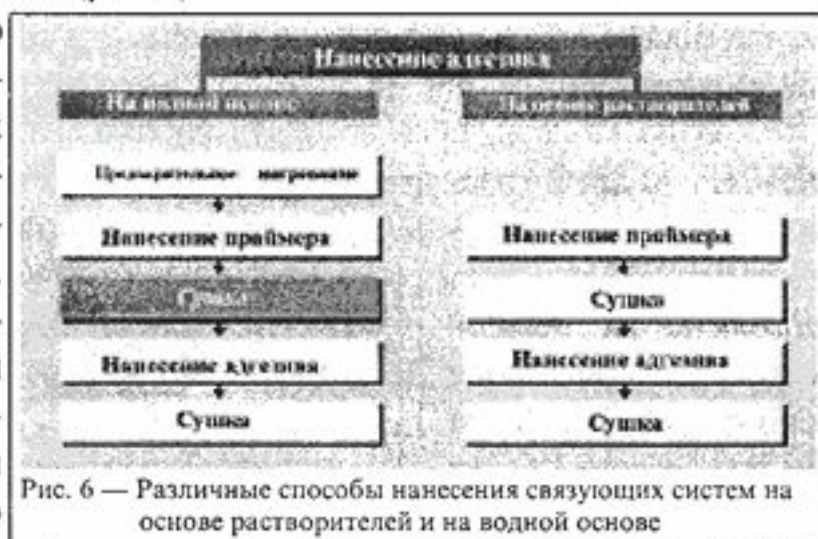


Рис. 6 — Различные способы нанесения связующих систем на основе растворителей и на водной основе

тонкого распыления, в целях оптимизации использовался также сжатый воздух. Одновременно туман из распыленной связующей системы ограничивается подающимся снаружи воздухом. Этот вариант препятствует появлению эффекта так называемой клетки Фарадея, так что достигаемая толщина слоя даже в случае деталей сложной конфигурации соответствует заданным показателям.

Для более крупных металлических деталей, которые аккумулируют достаточное количество тепла, сушка после нанесения праймера необязательна.

В то же время существует возможность комбинации праймера на основе растворителей и адгезива на водной основе [5]. Такая связующая система делает возможным ее нанесение на крупногабаритные металлические детали (например, валки), когда предварительный нагрев означал бы значительные затраты энергии и времени.

Практикуется также использование праймера на водной основе и традиционного адгезива на основе растворителя [6].

Использование описанных технологий позволяет снизить на ~50 % выброс растворителей, что, в конце концов, представляет собой лишь компромиссное решение.

Требование Европейского Союза относительно выброса растворителей при использовании адгезивов должна выполняться для нового оборудования с 2001-2004 гг., а для уже существующего – с 2005-2007 гг. Однако, ожидается, что многие страны еще раньше включают эти требования в свое национальное законодательство (рис. 8).

Но до тех пор, пока не будут приняты законные акты, обязывающие снизить выброс растворителей, или вообще не будет полностью запрещено их использование, внедрение связующих систем на водной основе будет продвигаться с трудом.



Ограничения по выбросу изред растворителей			
Ограничение	Концентрация	Старое оборудование	Новое оборудование
15 г/л	50 мг/м³	2005 - 07	2001 - 04
* Прогнозы даны согласно национальному законодательству			
** Для установок для переработки вторичного сырья допустимо 150 мг/м³			

Рис. 8 — Перечень требований VOC, касающихся клеевых систем

Другой причиной относительно незначительного распространения предлагаемых сегодня водных систем, являются, без сомнения, ожидаемые модификации в технологии использования данных систем.

Целью последующих работ было создание не содержащих растворителей

праймеров и адгезивов, применение которых было также несложно, как и традиционных систем. С содержанием водных связующих систем нового поколения технология их применения значительно упростилось. Однако и здесь после нанесения праймера предусмотрен участок сушки, но при этом отсутствует предварительный нагрев металлических деталей. Таким образом, для нанесения этих продуктов можно использовать традиционную технику, т.е. автомат карусельного или гусеничного типа не нуждается теперь дополнительно в зоне предварительно нагрева. Часто приводимый аргумент, что водные системы требуют более продолжительного времени сушки, можно опровергнуть на примере следующего теста (рис. 9).

Для получения наносимого слоя определенной толщины в зависимости от концентрации и удельного веса активного вещества должно наноситься определенное количество продукта.

С этой целью на образец наносили требуемое количество соответствующего праймера и, соответственно адгезива, затем образец сушили до 20 мин при температуре 60 °С.

Благодаря повышенной концентрации и относительно низкого удельного веса активных субстанций водные системы высыхали быстрее, чем таковые на основе растворителей.

4 Результаты испытаний

Эффективность водных связующих систем нового поколения может быть продемонстрирована на результатах сравнительных испытаний адгезивов на основе растворителей и давно используемых в промышленном масштабе водных связующих систем.

Для испытаний использовались следующие системы:

- Р Хемосил 211 (праймер на основе растворителей);
- SP Хемосил 2138 (специальный праймер на основе растворителей);

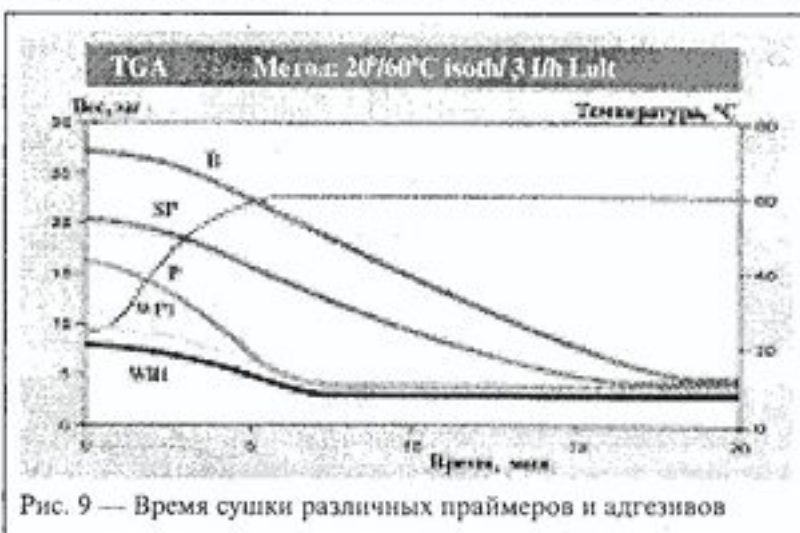


Рис. 9 — Время сушки различных праймеров и адгезивов

- В Хемосил 411 (адгезив на основе растворителей);
- WP1 Хемосил XW 1190 (праймер на водной основе);
- WP2 Хемосил XW 1200 (праймер на водной основе);
- WB1 Хемосил XW 7500 (адгезив, не содержащий растворителей);
- WB2 Хемосил XW 7600 (адгезив, не содержащий растворителей).

На образцах, выполненных в соответствии со стандартом ASTM Д 429, метод А и Б, определяли прочность крепления смесей на основе различных эластомеров (рис. 10).

Металлические детали (ST 37) подвергали традиционной механической обработке и затем

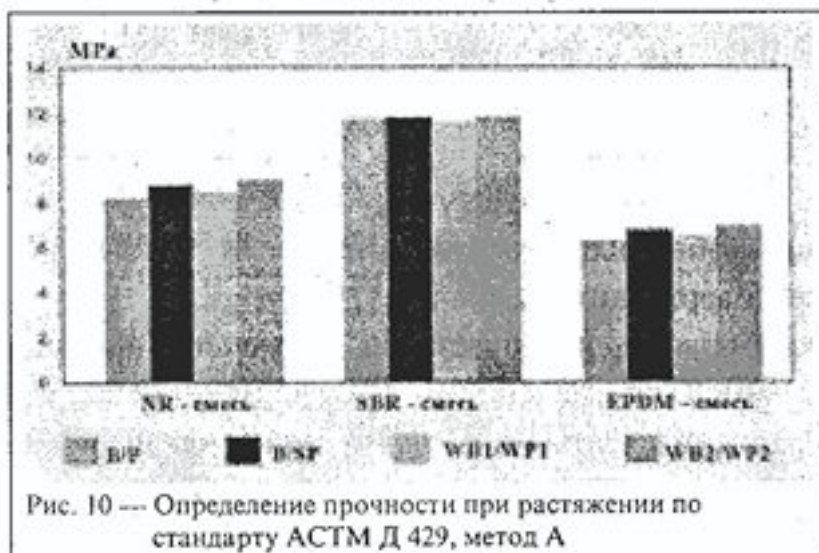


Рис. 10 — Определение прочности при растяжении по стандарту ASTM Д 429, метод А

методом распыления наносили на них слой праймера толщиной примерно 10 мкм и адгезива толщиной примерно 15 мкм. Металлические детали, на которые наносилась система на водной основе, перед процессом нанесения нагревали до 60 °С. После вулканизации в процессе компрессионного формования образцы выдерживали в течение 16 часов и затем испытывали до разрушения.

Определяющим показателем метода А (испытание на прочность при растяжении) является прочность при растяжении, в то время как при испытании на расслаивание (метод Б) главным критерием является картина разрушения (рис. 11).

Разумеется, показатели прочности меняются в зависимости от применяемых смесей. Однако, сравнение результатов испытаний, полученных при использовании водных систем и систем на основе растворителей, не обнаруживает значительных различий.

Результаты испытаний на расслаивание также свидетельствуют о равноценности систем на водной основе и на основе растворителей. Во всех случаях разрушение происходит в резиновой части. Картина разрушения после вулканизации, несомненно, является первым признаком, по которому можно судить о пригодности изделия. Однако, испытания на определение коррозионной стойкости позволяют в большей степени судить о качестве резинометаллических соединений. Тест в горячей воде как ускоренное испытание позволяет получить первые сведения об эффективности соединения.

Результаты испытаний, полученные на 4-х системах, в значительной степени совпадают.

Вновь разработанная система на водной основе позволяет наносить праймер на не разогретую металлическую поверхность. Праймер наносили на металлические детали при температуре $\sim 20^{\circ}\text{C}$ методом распыления. После этого детали сушили при 60°C , и затем наносили адгезив.

Результаты крепления, а также теста в горячей воде показывают, что новая система позволяет упростить

технология автоматического нанесения. Стойкость, полученная в результате теста в кипящей воде, свидетельствует о хорошей смачивающей способности праймера. Одновременно можно прийти к заключению, что под праймером не остается водных включений, так как вода в процессе сушки при повышенной температуре диффундирует через слой праймера (рис. 12, рис. 13).

На практике для определения коррозионной стойкости часто используют тест в солевом тумане в течение 500 или 1000 часов. В качестве критерия пригодности связующей системы используют тест в так называемом кислотном солевом тумане. Условием прове-

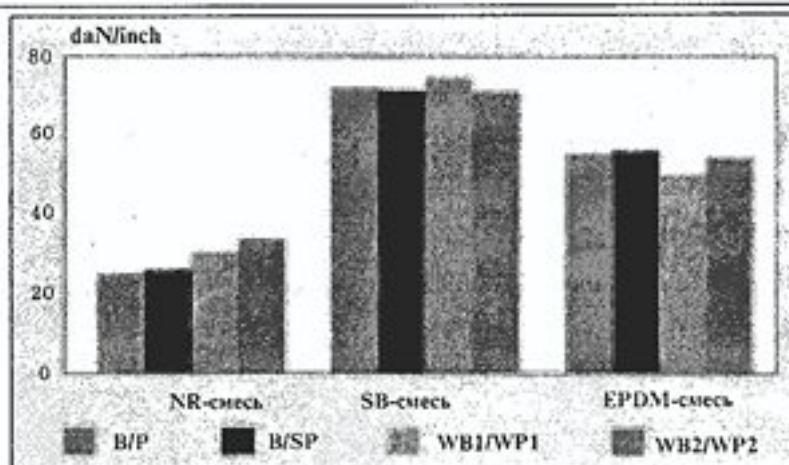


Рис. 11 — Испытания на расслаивание по ASTM Д 429, метод Б

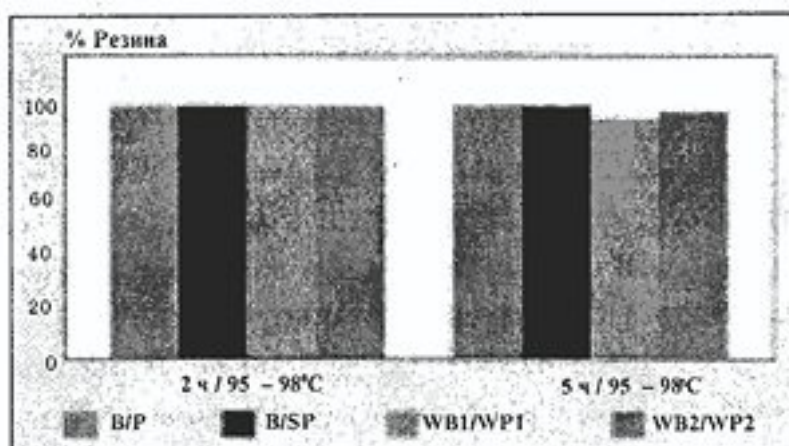


Рис. 12 — Стойкость в кипящей воде

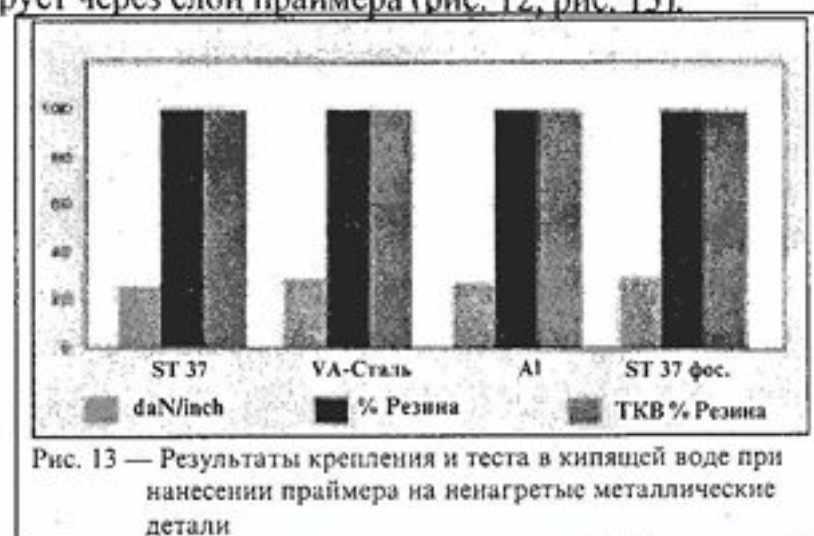


Рис. 13 — Результаты крепления и теста в кипящей воде при нанесении праймера на ненагретые металлические детали

дения такого испытания является оптимальная обработка металлической поверхности. Нанесение связующей системы должно происходить вскоре после обработки поверхности. При механической обработке увеличивается время промежуточной выдержки металлических деталей,

вследствие чего на высокоактивных металлических поверхностях вновь появляется коррозия, что негативно сказывается на результатах испытаний.

Результаты испытаний в солевом тумане новой связующей системы на водной основе свидетельствуют в основном о такой же хорошей стойкости к коррозии, как и в случае систем на основе растворителей. Однако, более старая система уступает здесь трем другим (рис. 14).

При испытании в гораздо более агрессивной среде кислого солевого тумана слабо проявили себя как обе водные, так и традиционные связующие системы. При использовании различных резиновых смесей отчетливо проявилось влияние их рецептуры. Так, в случае некоторых смесей можно было достичь 100 %-ой стойкости, в то время как другие смеси давали неудовлетворительные результаты.

Приведенные здесь результаты представляют собой средние значения, полученные на шести различных смесях.

От резинометаллических соединений специального назначения требуется стойкость к различным средам. Гидропоры должны обладать стойкостью к действию гликолевых смесей при температуре 120 °С. Для проведения испытаний металлические детали по стандарту ASTM Д 429, метод Б, методом инъекционного формования крепили к мягкой смеси на основе НК, которая по своей рецептуре соответствует смеси, применяемой в гидропорах на практике.

Для достижения более быстрой диффузии гликоля резиновый слой составляет только 0,5 мм. Детали выдерживали при температуре 150 °С в смеси из этилен- и пропиленгликоля. Все 24 часа 6 образцов проверяли на образование воздушных пузырей как очевидного признака дефекта связи (рис. 15).

В этих более жестких условиях традиционная система и система на основе растворителей со специальным праймером, а также старая система на



Рис. 14 — Стойкость к действию солевого и кислого солевого тумана, определяемая на образцах по стандарту ASTM Д 429, метод Б

водной основе обнаружили свою слабость, в то время как новая система через 280 часов обеспечивала абсолютную стойкость. Тем самым новая связующая система на водной основе представляет собой альтернативное решение, например, при производстве гидропор.



Рис. 15 – Стойкость к действию гликолевых смесей

Другим критерием для определения пригодности связующих систем является стойкость к действию тормозных жидкостей. Образец изготавливают по выше описанному методу с использованием смеси на основе этиленпропилендиенового каучука. Образцы выдерживали в тормозной жидкости «ATE DOT 4» (рис. 16).

И здесь стандартная система обнаруживает дефект крепления через 48 часов. Старая водная система через 72 часа при температуре 150 °C обнаруживает образование воздушных пузырей.

Комбинация со специальным праймером на основе растворителей и новая водная система обеспечивают стойкость на протяжении всего времени испытания даже при температуре 150 °C.

Стойкость к охлаждающей жидкости также является критическим параметром. Испытание проводили на выше описанных образцах с резиновой смесью на основе НК. Для этой цели образцы в течение 72 часов выдерживали в автоклаве при 150 °C в смеси глиэнтин-вода в соотношении 1:1, после чего проверяли на образование воздушных пузырей (рис. 17).

Все использованные в данном испытании связующие системы, включая старую водную систему, дали хорошие результаты. Однако, следует заметить, что построение смеси оказывает сильное влияние на результаты испытаний по определению стойкости к средам. Результаты, полученные при испытании трех различных смесей, были усреднены.

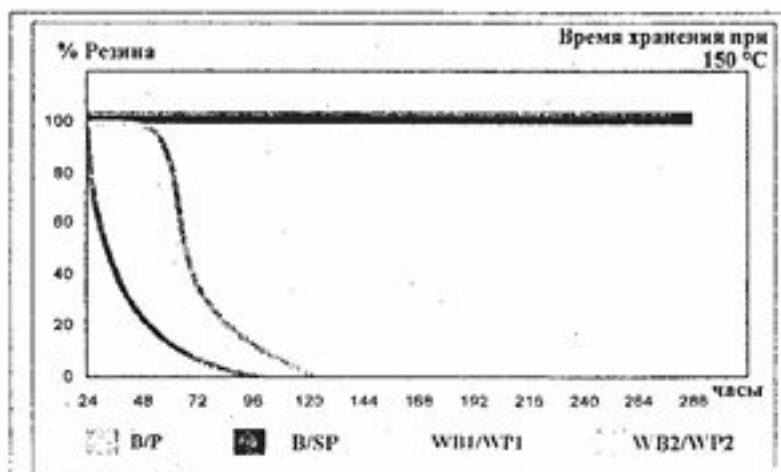


Рис. 16 – Стойкость к действию тормозной жидкости

Проблему при определении стойкости к различным средам представляют также различные требования относительно толщины резинового слоя. Так, например, система на основе растворителей со специальным праймером дает 100 %-ую стойкость при резиновом слое толщиной 2,5 мм, в то время как при толщине резинового слоя 0,5 мм стойкости в течение 288 часов испытания не наблюдается.

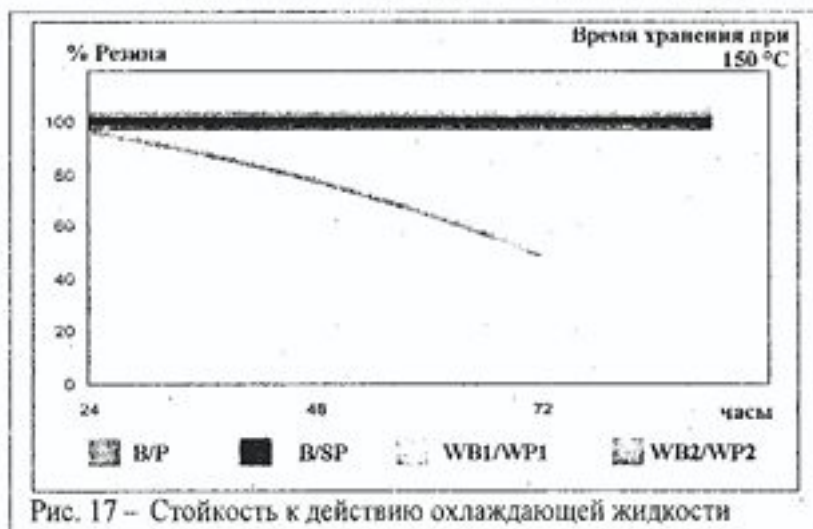


Рис. 17 – Стойкость к действию охлаждающей жидкости

Рис. 17 – Стойкость к действию охлаждающей жидкости

5 Заключение

Универсальные связующие системы на основе растворителей известны с 1959 г. [7]. Они, конечно, и по сей день себя оправдывают. Однако, все большее распространение получают связующие системы на водной основе, которые, несмотря на первоначальный скепсис, давно зарекомендовали себя на практике.

Наряду с большим количеством резинометаллических деталей для автомобильной промышленности, где используется как механическая, так и химическая предварительная обработка металлических поверхностей, с помощью водных связующих систем изготавливают также крупногабаритные резинометаллические детали для рельсовых транспортных средств. Подшипальные основания и опоры для стрелок, изготовленные при использовании водных систем, представляют сегодняшний уровень техники.

Результаты описанных испытаний показывают, что именно новое поколение водных связующих систем представляют для потребителя экологически безопасную альтернативу для крепления металла к резине на основе каучуков общего назначения.

Отсутствие выброса растворителей следует рассматривать как важнейший фактор. Дальнейшим важным моментом является использование в таких системах стабилизаторов, не содержащих свинца. Наряду с универсальными системами на водной основе предлагается также специальные системы для крепления, например, смесей на основе силиконового или фторкаучука.

Параметры крепления, достигаемые при использовании связующих систем на водной основе сравнимы с параметрами, получаемыми при использовании систем с растворителями. В некоторых случаях, водные системы даже превосходят традиционные на основе растворителей.

Если учитывать условия переработки водных дисперсий, то с помощью связующих систем на водной основе можно изготавливать высококачественные резинометаллические изделия.

6. Благодарность

Особая благодарность господину Клаусу Шюрманну за обширные исследовательские труды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. K. Schürmann (К. Шюрманн), R.N. Ozelli (Р.Н. Озелли). Крепление эластомеров к металлу и твердым субстратам // Polimery (Полимеры). -1974. -V. 19. №4. -С. 218-221 // Там же. -№ 6. -С. 394-397.
 2. K. Schürmann (К. Шюрманн). Физические аспекты связи резина-металл // Доклад на внутреннем симпозиуме резиновой промышленности, 20.09.-03.10.1969 г.
 3. K. Schürmann (К. Шюрманн). Крепление полиуретановых эластомеров к металлам и пластмассам // Swiss Plastics 8 (Пластмассы Швейцарии). -№ 10. -С. 40-46.
 4. Metallgesellschaft A.G. (Металлическое общество А.Г.) // DRP № 571920. Франкфурт-на-Майне, 1933.
 5. D. Beiersdorf (Д. Байерсдорф) и H. Scheer (Х. Шеер). Адгезивы на водной основе для крепления резины к металлу как альтернатива связующим системам на основе растворителей // KanGu (Каучук/Гумми). -1991. -№ 7. -С. 674-678.
 6. A. Zellner (А. Целлнер). Связующие системы для крепления резины к металлу // Из раздела «Резинометаллические соединения» VDI-Gesellschaft Kunststofftechnik (Союз немецких инженеров – Общество техники пластмасс).
 7. Lord Corporation/Erie (Pa) // USPO. -1966. -258. -№ 3. -Р. 389.
- * с любезного разрешения из брошюры фирмы «LacTec Gesellschaft für moderne Lackiertechnik mbH (Современная техника лакирования).

УДК 678.067.66.08

Эбич Ю.Р., Емельянов Ю.В.,
Зыбайло С.Н.

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ФОРМИРОВАНИЯ АДГЕЗИОННЫХ МЕТАЛЛОПОЛИМЕРНЫХ СИСТЕМ

Формування адгезійних металополімерних систем розглянуто з точки зору хімічної будови полімерів з використанням термодинамічного і молекулярно-кінетичного підходів адгезії полімерів до субстратів з високим поверхневим натягом (метали).

Адгезионные металлополимерные, в частности, резинометаллические, системы являются важнейшими элементами композиционных материалов, деталей и конструкций [1].

Работоспособность таких металлополимерных систем различного назначения обусловлена, прежде всего, адгезией полимера к металлу, зависящей от множества факторов: физико-химических свойств полимера и металла, наличия в полимере активных добавок, технологии получения металлополимерного контакта и пр. [2].