

Пассивные способы обработки поверхности

Edward M. Petrie, EMP solutions

Перед нанесением покрытия или адгезивов любую металлическую поверхность, как правило, подвергают предварительной обработке, чтобы удалить или предотвратить образование слабо-связанных слоев. Виды предварительной обработки делятся на пассивные, как то: обработка растворителями и химическая очистка, и активные - кислотное травление, применяемое перед нанесением монтажных клеев.

В данной статье будут рассмотрены пассивные способы подготовки поверхности. Как правило, перед нанесением защитных и декоративных покрытий подготовка поверхности ограничивается только очисткой. В случаях, когда требуется повышенная степень адгезии или прочность сцепления, применяются более агрессивные методы, модифицирующие свойства поверхности механическим или химическим способом.

Основная задача при подготовке поверхности - добиться прочности сцепления между подложкой и последующем слое, намного превышающей прочность внутренних связей покрытия. Правильная предварительная обработка позволяет избежать дефектов вследствие образования слабых межфазных слоев или недостаточной смачиваемости. Действие этих факторов на прочность сцепления было подробно рассмотрено в статье «Почему покрытия не оправдывают ожиданий» (см. «Мир гальваники», № 2).

ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ОБРАБОТКА ПОВЕРХНОСТИ

Прочность сцепления подложки и покрытия значительно возрастает, если с поверхности были заранее удалены ржавчина, окалина, остатки краски и органически загрязнители, в силу того, что в этом случае покрытие смачивает непосредственно подложку, а не промежуточный слой (жир, краску и т.д.). В **таблице 1** представлены различные способы подготовки поверхности и их влияние на прочность сцепления металлической подложки и покрытия. При сравнении учитывалось, что степень адгезии также во многом зависит от типа основного материала, равно как и от типа покрытия.

В большинстве случаев очистку применяют для удаления с подложки слабо-связанных слоев, обеспечивая тем самым требуемый уровень адгезии, либо для подготовки поверхности к дальнейшей обработке. Однако при этом процессы очистки должны удовлетворять нескольким требованиям.

Во-первых, следует использовать только безопасные для здоровья человека, т.е. нетоксичные и негорючие, химические вещества.

Во-вторых, выбранная технология должна быть экономичной и простой в применении, а цикл очистки - непродолжительным. И, наконец, применяемые очищающие вещества не должны образовывать межфазных слоев. Если технология подразумевает использование химических растворов, они должны легко смываться с поверхности после обработки.

КАК ВЫБРАТЬ СПОСОБ ОБРАБОТКИ

Степень подготовки поверхности определяется условиями эксплуатации конечного продукта и требованиями к прочности сцепления. В случаях, когда допускается слабая или средняя прочность сцепления, достаточно минимальной обработки поверхности. Однако, если необходимы максимальные показатели адгезии, прочности и долговечности, следует применять сложные процессы и технологии, требующие тщательного контроля.

Как видно на **рисунке 1**, для образования высокопрочных связей между подложкой и покрытием требуются агрессивные и дорогостоящие технологии подготовки поверхности. Эти сложные процессы подразумевают довольно продолжительный цикл обработки и требуют дополнительных мер по обеспечению безопасности производства. Таким образом, при выборе способа подготовки требуется особая внимательность, чтобы не переоценить необходимость сложной технологии.

Для достижения стандартных задач предварительной обработки достаточно выполнения простейших процессов.

В **таблице 2** представлены стандартные способы подготовки поверхности металлов. В данной статье будут рассмотрены в основном пассивные процессы (обработка растворителями и химическая очистка). Пассивная химическая очистка подразумевает элементарное удаление явных загрязнителей с использованием химических веществ без модификации свойств поверхности. Этот способ обычно используют перед нанесением покрытий, неконструкционных клеящих материалов (липкой ленты, самоклеющихся ярлыков и т.д.) и герметиков. Посредством пассивной очистки удаляются такие загрязнения, как пыль, жир, влага, масло, отпечатки пальцев и другие посторонние включения.

Наиболее распространенными видами пассивной очистки являются обработка растворителями и моющими веществами. Кроме того, в промышленной отрасли часто используются обезжиривание в парах растворителя и ультразвуковая очистка, которые считаются более эффективными способами обработки.

Таблица 1. Способы подготовки поверхности и их влияние на прочность сцепления

Тип подложки	Способ обработки	Покрытие	Предел прочности на отрыв, ф\кв.дюйм
Алюминий	без обработки	эпоксидное	444
	обезжиривание в парах раств-ля		837
	дробеструйная обработка		1751
	кислотное травление		2756
Алюминий	без обработки	винилфеноловое	2442
	обезжиривание		2751
	кислотное травление		5173
Нержавеющая сталь	без обработки	винилфеноловое	5215
	обезжиривание		6306
	кислотное травление		7056
Холоднокатаная сталь	без обработки	эпоксидное	2900
	обезжиривание в парах раств-ля		2910
	дробеструйная обработка		4260
	кислотное травление		4470
Медь	обезжиривание	эпоксидное	1790
	кислотное травление		2330
Титан	без обработки	винилфеноловое	1356
	обезжиривание		3180
	кислотное травление		6743

Рисунок 1. Сравнительная таблица процессов подготовки поверхности

Способ обработки	Стоимость	Адгезия
без обработки	дешевый	слабая
сухая обработка ветошью	↓	↓
обезжиривание растворителями		
обезжиривание паром		
абразивный способ		
плазменная обработка		
химическое травление		
конверсионное покрытие		
анодирование	дорогой	высокая

Стимулировав действие вышеуказанных способов обработки, можно увеличить их эффективность. В качестве стимуляции используются механическая очистка щеткой, активное перемешивание и ультразвуковое перемешивание. Большинство способов очистки требует использования растворителей и химических веществ, что ставит на первое место вопросы экологической безопасности и охраны труда.

В связи с этим, при выборе системы очистки и обработ-

ки поверхности следует особое внимание уделить таким характеристикам, как токсичность, воспламеняемость, совместимость материалов и опасность оборудования. Кроме того, большое значение имеют такие экологические факторы, как объем выбросов летучих органических соединений, способ переработки, хранения и сброса отходов.

В последнее время технологии очистки были значительно модифицированы под влиянием изменений в природоохранном законодательстве и ужесточением требований к гигиене труда на производстве. Для сокращения объемов токсичных выбросов были созданы новые установки и системы, а на замену агрессивным растворителям и чистящим материалам пришли новые «безопасные вещества».

ОБЕЗЖИРИВАНИЕ РАСТВОРИТЕЛЯМИ

Данный способ представляет собой удаление твердых частиц и органических загрязнителей с поверхности подложки с помощью растворителей. Если поверхность загрязнена только грязью, жиром и маслом, для достижения слабой и средней прочности сцепления используется элементарная обработка посредством щетки или ткани, смоченной растворителем.

Таблица 2. Характеристики процессов подготовки металлической поверхности

Способ обработки	Предполагаемый результат воздействия на подложку
Химическое обезжиривание (растворитель + моющее средство)	Удаление большинства органических загрязнений
Механическая обработка	Удаление слабосвязанных слоев неорганического происхождения (окалины и т.д.) Изменения топографии поверхности (повышенная шероховатость). Изменения в химическом составе в зависимости от сплава
Конверсионное покрытие	Изменения топографии поверхности (повышенная шероховатость). Изменения в химическом составе (фосфаты переходят в поверхностный слой)
Электрохимическая обработка (травление, анодирование и т.д.)	Изменения топографии поверхности (повышенная шероховатость). Изменения в химическом составе. Изменение толщины оксидной пленки и ее состава.

Таблица 3. Сравнительная таблица способов обезжиривания

Способ обезжиривания	Эффективность, %
Обработка струей моющего средства под давлением	14
Погружение с перемешиванием в нефтяном растворителе	30
Обезжиривание паром трихлорэтилена	35
Обработка металлической щеткой в моющем средстве	92
Обезжиривание с применением ультразвука	100

Существуют и более эффективные методы обезжиривания растворителем, которое очень распространено на современных предприятиях и должно быть использовано перед любой химической или абразивной обработкой поверхности, хотя в большинстве случаев следует за ней. Однако из всех возможных способов подготовки поверхности, этот - наименее эффективен, поскольку предназначен только для очистки подложки от твердых частиц и органических загрязнений.

Летучие растворители, такие, как толуол, ацетон, метилэтилкетон и трихлорэтилен разрешены к использованию, но перед окончательным выбором следует проконсультироваться с местными природоохранными органами и ведомствами. Эти растворители считаются токсичными и опасными, поэтому при их использовании необходимо строго придерживаться мер предосторожности и не превышать уровня допустимого воздействия, установленного законодательством.

В течение многих лет трихлорэтан был одним из самых распространенных материалов для очистки поверхности благодаря своей исключительной растворяющей способности, низкой токсичности, невоспламеняемости и довольно высокому допустимому уровню воздействия. Однако, поскольку это вещество представляет опасность для озонового слоя стратосферы, его использование резко сократилось. Его заменили чистящие средства на водной основе и хлорированные растворители, такие, как дихлорметан, перхлорэтилен и хлорэтилен. На данный момент наиболее распрост-

раненными растворителями, используемыми для очистки металлов перед пайкой, являются трихлорэтилен и уайтспирит. Эти материалы не повреждают сталь, медь, цинк, как впрочем, и другие металлы, и довольно экономичны. Им свойственны практически все преимущества, характерные для трихлорэтана, и при этом они не разрушают озоновый слой.

В последнее время в отрасли был достигнут значительный прорыв в разработке новых видов биоразлагаемых и экологически безопасных растворителей для широкого спектра применения. Растворители предыдущего поколения, представляющие опасность для окружающей среды, вымещаются на рынке покрытий и адгезивов инновационными материалами с низким содержанием летучих компонентов. Были созданы растворители на основе лимонной кислоты, также нашедшие применение на промышленных объектах.

Существует несколько способов обезжиривания растворителями. При выборе следует учитывать количество и размеры изделий, которые необходимо очистить за конкретный промежуток времени, а также фактор потенциального загрязнения самого растворителя.

Поскольку степень чистоты поверхности довольно сложно измерить, растворитель должен быть защищен от загрязнения. Избегайте соприкосновения ветоши, используемой для обработки, с емкостью, в которой содержится растворитель, и старайтесь менять ее как можно чаще.

Растворитель следует наносить на чистую ткань и обрабатывать ею поверхность до полного удаления с подложки и самой ветоши следов загрязнения.

При ручном обезжиривании качество очистки зависит главным образом от навыков и квалификации лица, выполняющего обработку. При автоматическом распылении или погружении человеческий фактор теряет свое значение. После очистки обработанные изделия необходимо подвергнуть сухой сушке, и только после этого наносить покрытия или переходить к пайке. Обычно такие изделия помещают в сушильную печь, где они обдуваются теплым воздухом.

В случаях, когда очистке подлежит большое количество изделий, а также, если загрязнения незначительны, особенно эффективно обезжиривание погружением. При этом деталь погружают в жидкий растворитель и подвергают галтовке, чистке щетками, обработке ветошью и т.д. После обработки деталь необходимо промыть в чистой проточной воде. Этот способ может потребовать использования нескольких видов растворителей, при чем качество очистки изделия будет зависеть от чистоты растворителя, в котором выполнялась последняя промывка.

Крайне распространенным способом обезжиривания погружением является способ, подразумевающий использование нескольких ванн. В первой ванне выполняется очистка изделия, во второй и третьей - промывка. Данный способ предотвращает загрязнение растворителя в результате частой смены чистящих средств и материалов для промывки.

Высокоэффективным методом обезжиривания считается также струйный метод, в первую очередь благодаря ударному действию частиц, направляемых на высокой скорости на очищаемую поверхность. Поток ударяется о поверхность подложки и стекает с нее, одновременно удаляя загрязнения. Обычно при применении струйного метода в качестве растворителей используются трихлорэтилен и перхлорэтилен.

Обезжиривание паром больше всего подходит для предприятий, обрабатывающих большие объемы продукции. Этот метод более эффективен, чем ручная обработка растворителем. С его помощью удаляются практически все виды растворимых загрязнений с металлических и неметаллических поверхностей. Паровой метод состоит в погружении на 30 секунд обрабатываемой детали в емкость с горячим хлорированным растворителем, например, трихлорэтиленом (температура кипения 122°C). См. **рисунок 2**.

При соприкосновении паров растворителя с относительно прохладной поверхностью подложки образуется конденсат, под действием которого растворяются органические загрязнения.

Преимущество обезжиривания паром перед обработкой ветошью, смоченной в растворителе, состоит в том, что поверхность подвергается равно-

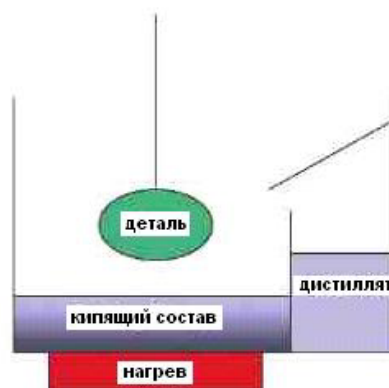


Рисунок 2. Основная задача при обработке поверхности - подготовить ее к нанесению покрытия, обеспечив при этом достижение прочного сцепления и высоких эксплуатационных качеств.

мерной обработке дистиллированным незагрязненным обезжиривателем. Установку для обезжиривания рекомендуется чистить, а растворитель менять по мере его загрязнения отложениями, смытыми с подложки. Если обрабатываемое изделие загрязнено очень сильно, перед обезжириванием его стоит обработать другим способом. Типичная установка для обезжиривания включает вместительный котел, расположенный на нагревательном элементе, вытяжной зонт и охлаждающий змеевик, размещенный в нескольких дюймах от котла, в котором циркулирует проточная вода. Котел наполняют растворителем и нагревают до кипения. Корзину с обрабатываемыми деталями погружают в испаряющийся растворитель до полной очистки. Паровое обезжиривание часто совмещают с очисткой погружением и струйным способом, а также с ультразвуковой очисткой.

При обезжиривании паром крайне важно правильно подобрать тип растворителя и оборудование. Растворитель, используемый в этом случае, должен удовлетворять **следующим требованиям:**

- применяемый материал должен хорошо растворять масла, жиры и другие загрязнения,
- он должен быть невоспламеняющимся, невзрывным, инертным,
- плотность пара выбранного растворителя должна превышать плотность воздуха,
- ему должны быть свойственны низкие показатели теплоты парообразования и теплоемкости, обеспечивающие максимальные конденсацию и теплопотребление,
- должен обладать высокой химической стойкостью,
- материал должен быть безопасен,
- температура кипения, достаточно низкая для проведения дистиллирования, и достаточно высокая для конденсации,
- соответствие всем требованиям в отношении ограничения загрязнения окружающей среды.

Наибольшее распространение из обезжиривающих растворителей получили перхлорэтилен и трихлорэтилен. Несмотря на то, что оба вещества являются невоспламеняемыми, они токсичны и в жидком, и в парообразном состоянии, поэтому при их использовании необходимо строго соблюдать правила безопасности и предпринимать соответствующие меры предосторожности. Для этих материалов характерны высокие температуры кипения, в связи с чем они чаще всего применяются для очистки металлических деталей от жира, масел и смазки.

ХИМИЧЕСКОЕ ОБЕЗЖИРИВАНИЕ

Для очистки поверхности металлических изделий используются высококонцентрированные моющие средства. Однако такие сложно выводимые загрязнения, как ржавчина и окалина, не удастся вывести посредством химического обезжиривания, в связи с чем этот способ часто используется в сочетании с другими видами обработки поверхности. Так, например, до или после химического обезжиривания поверхность обрабатывают растворителем, чтобы удалить все органические и растворимые загрязнения.

Моющие средства и растворы недороги и просты в обращении. Составы на водной основе обычно выпускаются в концентрированном виде и перед нанесением растворяются в воде.

Наиболее распространенные из них перечислены ниже:

Щелочные растворы (гидроокись натрия или калия) прекрасно подходят для удаления окислов, сажи, легкой ржавчины и тяжелых масел со стальной поверхности, однако не применяются для обработки алюминия. Кроме того, эти вещества довольно опасны и требуют особых мер предосторожности.

Силикаты хорошо очищают алюминиевую поверхность, но слишком агрессивны для меди и латуни.

Амины (триэтаноламин, моноэтаноламин) успешно используются для обработки металлов, однако выделяют резкий неприятный запах.

Фосфаты (тринатрийфосфат, тетра пирофосфат калия) безопасны для человека (уровень pH - от 9,5 до 10,5), но недостаточно агрессивны для очистки сильных загрязнений, в связи с чем к ним в больших объемах добавляют смачивающие компоненты и/или растворители.

Кислоты (глюконовая, фосфорная, фтороводородная) эффективны при удалении оксидных пленок с поверхности металлов, однако при их применении следует соблюдать особые меры предосторожности.

Хелаты (EDTA) применяются в небольших дозах для продления жизнестойкости моющих средств. Эти вещества рекомендуется использовать в ограниченных количествах, поскольку в образующихся сточных водах содержится большое количество растворенных металлов.

Растворяющие добавки используются в сочетании с составами на водной основе и способствуют повышению эффективности большинства процессов очистки.

Основное преимущество растворов на водной основе с экологической точки зрения заключается в том, что они не представляют опасности для озонового слоя и не содержат летучих органических соединений. Главный недостаток этих средств - в том, что в результате их использования

образуются сточные воды, которые требуют особых методов переработки и сброса.

В настоящее время на рынке промышленных химикатов представлен широкий выбор моющих средств для очистки металлических поверхностей. Многие из них имеют в своем составе поверхностно-активные вещества, буфер pH, ингибиторы, эмульгаторы, дефлокулянты, реагенты-стабилизаторы, хелатообразующие агенты и пеногасители.

В **таблице 3** приведены режимы и составы для очистки сильно- и слабощелочными растворами. Детали погружаются на 12 минут в горячий, перемешиваемый раствор. По мере накопления загрязняющих и нежелательных веществ для восстановления требуемого уровня pH в ванну добавляют щелочной состав. После обработки детали промываются сначала в проточной, а затем - в дистиллированной воде.

Гидроабразивная обработка совмещает механическую очистку и химическое воздействие на поверхность. Данный процесс представляет собой тщательную обработку подложки ветошью или неметаллическими щетками при постоянной температуре чистящего средства 45-60⁰С.

ДРУГИЕ СПОСОБЫ ПАССИВНОЙ ОЧИСТКИ

В случаях, когда абразивная очистка нежелательна, поскольку может повредить подложку, применяется хонингование. Этот способ близок к дробеструйной обработке, с той лишь разницей, что при хонинговании мелкозернистый материал распыляется под действием струи воды или пара. В некоторых случаях при этом вместо воды используются растворители в жидком виде. После подобной обработки тщательная промывка обычно не требуется.

При обезжиривании с применением ультразвука детали погружаются в ванну с ультразвуковым генератором. При этом детали должны быть расположены так, чтобы вся их поверхность находилась под воздействием ультразвукового поля. Под действием высокочастотных колебаний загрязнения удаляются. Данный способ особенно эффективен для очистки нестандартных деталей и труднодоступных участков поверхности, которые не всегда удается очистить с помощью струйной или иммерсионной обработки.

Электрохимическое обезжиривание представляет собой модифицированное обезжиривание щелочными растворами, при котором на обрабатываемую деталь воздействуют электрическим током, в результате чего происходит выделение пузырьков газа, способствующее отрыву слоя загрязнений от поверхности. При анодной очистке выделяются кислородные, а при катодной - водородные пузырьки. Этот способ является более эффективным, чем обычные промышленные методы очистки (очистка погружением, струйная очистка и др.), как в отношении удаления загрязнений, так и по действию на адгезивные качества подложки.

Таблица 1. Режимы и составы для очистки сильно- и слабощелочными растворами

	Слабощелочной раствор	Сильнощелочной раствор
Состав раствора	- тетрапирофосфат натрия, 15 PBW - метасиликат натрия, 80 PBW - NACCONOL 40 ⁰ F, (ПАВ), 5 PBW	- метасиликат натрия, 46 PBW - тринатрийпирофосфат, 23 PBW - гидроксид натрия, 23 PBW - NACCONOL40 ⁰ F, (ПАВ), 8 PBW
Способ приготовления раствора	6 - 8 унций состава (см. выше) перемешивается в 1 галлоне воды	6 - 8 унций состава (см. выше) перемешивается в 1 галлоне воды
Температура погружения	70-85 ⁰ С	70-85 ⁰ С
Продолжительность погружения	8 - 12 мин.	8 - 12 мин.

Сверхкритические флюиды, образующиеся в результате воздействия на вещества повышением температуры и давления над критическими пределами, обладают свойствами, характерными для жидкостей и газов. В таком состоянии флюиды легко проникают в труднодоступные участки, растворяют загрязнения и легко удаляются, поскольку им не свойственно поверхностное напряжение. Этот способ особенно эффективен для обработки деталей нестандартных конструкций. Наиболее распространенным флюидом, применяемым для очистки, является двуокись углерода. Данная технология относительно нова и довольно затратна.

ЧТО ЗНАЧИТ ДЕЙСТВИТЕЛЬНО «ЧИСТО»?

Одна из основных задач предварительной обработки поверхности - очистка и смачивание подложки. К сожалению, пока не существует ни единой технологии, ни оборудования, которые могли бы с точностью определить степень чистоты поверхности. Имеются, конечно, довольно сложные аналитические процедуры, но они, как правило, не пригодны для применения на производстве. Таким образом, довольно сложно определить, что же подразумевается под понятием «чистый».

Можно попытаться определить его как характеристику поверхности, на которой отсутствуют видимые невооруженным глазом отложения или чужеродные частицы. Поскольку визуальный осмотр довольно субъективен, контроль качества будет целиком зависеть от тщательности проверки и добросовестности проверяющего. При этом должны быть учтены такие факторы, как чистота раствора, температура и продолжительность обработки, состояние оборудования, общее количество деталей или площадь поверхности, обрабатываемой в одном растворе, обращение и хранение обработанных деталей перед нанесением покрытия.

Одним из наиболее эффективных методов контроля качества очистки беспористых поверхностей считается так называемое испытание на «водолом».

Если дистиллированная вода при попадании на поверхность образует капли, которые не смачивают подложку, обработку придется повторить. «Разрыв» водяной пленки (рис. 3) свидетельствует о наличии загрязнения или отложений.

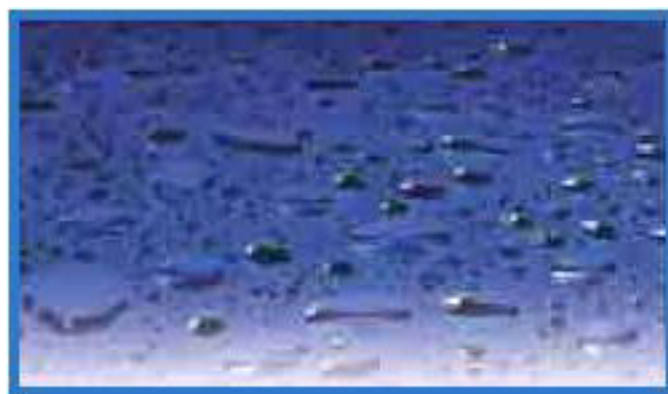


Рисунок 3: Капли воды на обработанной поверхности могут свидетельствовать о наличии загрязнений.

Если вода равномерно смачивает подложку, это может быть признаком качественной подготовки. При этом следует учитывать, что результаты подобного теста довольно приблизительны и дают только общее представление о состоянии поверхности.

Еще один способ определения чистоты поверхности подразумевает использование белой ткани, которой протирается обработанная поверхность для обнаружения наличия загрязнений. Этот способ обычно применяется для контроля качества очистки плоских поверхностей и деталей сложной формы, которые представляют собой сложности при обработке. Схожим способом является способ с клейкой лентой, которая накладывается на поверхность, снимается и осматривается на наличие загрязнений. Естественно, налет, оставленный лентой, необходимо удалить после проведения испытания.

Наличие некоторых видов загрязнений, таких, как масла и жиры, легко определяется с помощью ультрафиолетовой дефектоскопии. Этот метод контроля заключается в смачивании подложки флуоресцирующим маслом нормальной очистки и ее осмотре под ультрафиолетовым излучением. Степень очистки поверхности выражается посредством фотоэмиссии электронов либо через измерение коэффициента отражения - чем выше коэффициент, тем качественнее выполнена очистка.