

« Х О Л О Д Н О Е » Н А П Ы Л Е Н И Е

Когда только появились первые металлические орудия труда, выяснилось, что, твердые и прочные, они сплошь и рядом портились под воздействием влаги. Шло время, люди создавали механизмы и машины, и чем более совершенными они становились, тем в более тяжелых условиях приходилось работать их металлическим деталям. Вибрации и знакопеременные нагрузки, огромные температуры, радиоактивное облучение, агрессивные химические среды — вот далеко не полный перечень «испытаний», которым они подвергаются.

Со временем люди научились защищать металл от коррозии, износа и других явлений, которые сокращают срок службы деталей. По сути, есть два подхода к обеспечению такой защиты: либо в основной металл добавляют легирующие элементы, которые придают сплаву искомые свойства, либо на поверхность наносят защитное покрытие. Условия работы деталей машин диктуют свойства, которыми должны обладать покрытия. Технологии их нанесения разнообразны: есть распространенные и относительно несложные, есть очень тонкие, позволяющие создавать покрытия с уникальными свойствами. А неугомонные инженеры продолжают изобретать все новые покрытия и придумывать способы их получения. Судьба этих изобретений может стать счастливей, если покрытие намного превосходит своих предшественников по полезным свойствам или если технология дает существенный экономический эффект. В разработке физиков из Обнинска соединились оба этих условия.

Кандидаты физико-математических наук О. КЛЮЕВ и А. КАШИРИН.

ТЕМПЕРАТУРА ПЛЮС СКОРОСТЬ

Из способов металлизации поверхностей в современной технике чаще всего используются гальваническим нанесением и погружением в расплав. Реже используют вакуумное напыление, осаждение из паровой фазы и пр. Ближе всего к разработке обнинских физиков находится газотермическая металлизация, когда наносимый металл плавят, распыляют на мельчайшие капли и струей газа переносят их на подложку.

Металл плавят газовыми горелками, электрической дугой, низкотемпературной плазмой, индукторами и даже взрывчатыми веществами. Соответственно методы металлизации называют газопламенным напылением, электродуговой и высокочастотной металлизацией, плазменным и детонационно-газовым напылением.

В процессе газопламенного напыления металлический пруток, проволоку или порошок плавят и распыляют в пламени горелки, работающей на смеси кислорода с горючим газом. При электродуговой металлизации материал плавится электрической дугой. В обоих случаях капельки металла перемещаются к напыляемой подложке потоком воздуха. При плазменном напылении для нагрева и распыления материала используется струя плазмы, формируемая плазматронами разных конструкций. Детонационно-газовое напыление происходит в результате взрыва, разгоняющего металлические частицы до огромных скоростей.

Во всех случаях частицы напыляемого материала получают два вида энергии: тепловую — от источника нагрева и кинетическую — от газового потока. Оба этих вида энергии участвуют в формировании покрытия и определяют его свойства и структуру. Кинетическая энергия частиц (за исключением детонационно-газового метода) невелика по сравнению с тепловой, и характер их соеди-

нения с подложкой и между собой определяется термическими процессами: плавлением, кристаллизацией, диффузией, фазовыми превращениями и т.д. Покрытия обычно характеризуются хорошей прочностью сцепления с подложкой (адгезией) и, к сожалению, низкой однородностью, поскольку велик разброс параметров по сечению потока газа.

Покрытиям, которые создают газотермическими методами, присущ ряд недостатков. К ним относятся, прежде всего, высокая пористость, если, разумеется, не стоит цель специально сделать покрытие пористым, как в некоторых деталях радиоламп (см. «Наука и жизнь» № 7, 2004 г. — Прим. ред.). Кроме того, из-за быстрого охлаждения металла на поверхности подложки в покрытии возникают высокие внутренние напряжения. Обрабатываемая деталь неизбежно нагревается, и если она имеет сложную форму, то ее может «повести». Наконец, использование горючих газов и высокие температуры в рабочей зоне усложняют меры по обеспечению безопасности персонала.

Несколько особняком стоит детонационно-газовый метод. При взрыве скорость частиц достигает 1000—2000 м/с. Поэтому основным фактором, определяющим качество покрытия, становится их кинетическая энергия. Покрытия отличаются высокой адгезией и низкой пористостью, но взрывными процессами крайне сложно управлять, и стабильность результатов гарантировать практически невозможно.

СКОРОСТЬ ПЛЮС ТЕМПЕРАТУРА

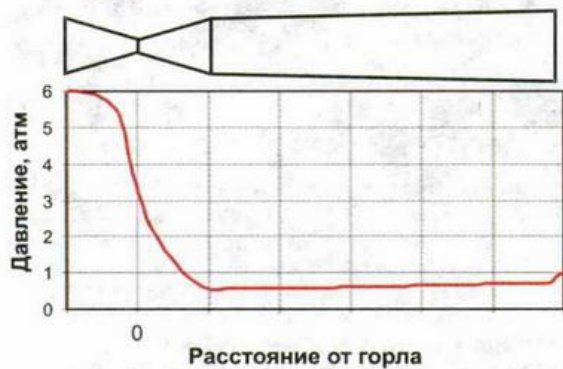
Желание создать более совершенную технологию возникло давно. Перед инженерами стояла цель — сохранить достоинства традиционных технологий и избавиться от их недостатков. Направление поиска было более или менее очевидно: во-первых, покрытия должны формироваться в основном за счет кинетической энергии частиц металла (нельзя допускать плавления частиц: это предотвратит разогрев детали и окисление подложки и

● ТЕХНИКА. ВЕСТИ С ПЕРЕДНЕГО КРАЯ



С помощью аппарата можно наносить покрытия в любых помещениях и даже в полевых условиях.

Распределение давления вдоль сопла



За критическим сечением сопла возникает зона отрицательного давления, и сюда засасывается порошок. Благодаря этому явлению удалось упростить конструкцию питателя.

Дефекты в корпусных деталях (слева) и результат напыления (справа): а — трещина в автоматической коробке передач; б — каверна в головке блока цилиндра.



разработчиками систем на легких газах. Речь идет о введении напыляемого порошка в газовую струю. Чтобы сохранить герметичность, питатели приходилось устанавливать до критического сечения сопла, то есть порошок необходимо было подавать в область высокого давления. Чисто технические трудности усугублялись тем, что, проходя через критическое сечение, металлические частицы вызывали износ сопла, ухудшали его аэродинамические характеристики, не позволяли стабилизировать режимы нанесения покрытий. В конструкции аппарата с воздушной струей инженеры применили принцип пульверизатора, известный каждому еще из школьных опытов по физике. Когда газ проходит по каналу переменного сечения, то в узком месте его скорость увеличивается, а статическое давление падает и может даже быть ниже атмосферного. Канал, по которому порошок поступал из питателя, расположили как раз в таком месте, и порошок перемещался в сопло за счет подсоса воздуха.

В результате на свет появился переносной аппарат для нанесения металлических покрытий. Он имеет ряд достоинств, которые делают его очень полезным в различных отраслях промышленности:

- для работы аппарата нужны всего лишь электросеть и воздушная магистраль или компрессор, обеспечивающий давление сжатого воздуха 5—6 атм и подачу 0,5 м³/мин;
- при нанесении покрытий температура подложки не превышает 150°С;

- покрытия обладают высокой адгезией (40—100 Н/мм²) и низкой пористостью (1—3%);
- оборудование не выделяет вредных веществ и излучений;

- габариты устройства позволяют использовать его не только в цеху, но и в полевых условиях;

- можно напылять покрытия практически любой толщины.

В состав установки входят собственно напылитель массой 1,3 кг, который оператор держит в руке или закрепляет в манипуляторе, нагреватель воздуха, порошковые питатели, блок контроля и управления рабо-

Покрытыми слоем меди или алюминия инструментами можно работать в пожароопасных помещениях: при ударе о металлические предметы они не дают искры.

той напылителя и питателя. Все это смонтировано на стойке.

Пришлось потрудиться и над созданием расходных материалов. Выпускаемые промышленностью порошки имеют слишком большие размеры частиц (порядка 100 мкм). Разработана технология, которая позволяет получать порошки с зернами размером 20—50 мкм.

ОТ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ДО СЕЯЛОК

Новый способ напыления металлических покрытий может применяться в самых различных отраслях промышленности. Особенно эффективен он при ремонтных работах, когда необходимо восстановить участки изделий, например, заделать трещину или раковину. Благодаря невысоким температурам процесса легко восстанавливать тонкостенные изделия, отремонттировать которые другим способом, например наплавкой, невозможно.

Поскольку зона напыления имеет четкие границы, напыляемый металл не попадает на бездефектные участки, а это очень важно при ремонте деталей сложной формы, например корпусов коробок передач, блоков цилиндров двигателей и др.

Устройства для напыления уже применяют в авиакосмической и электротехнической промышленности, на объектах атомной энергетики и в сельском хозяйстве, на авторемонтных предприятиях и в литейном производстве.

Метод может оказаться весьма полезным во многих случаях. Вот лишь некоторые из них.

Восстановление изношенных или поврежденных участков поверхностей. С помощью напыления восстанавливают поврежденные в процессе эксплуатации детали редукторов, насосов, компрессоров, форм для литья по выплавляемым моделям, пресс-форм для изготовления пластиковой упаковки. Новый метод стал большим подспорьем для работников авторемонтных предприятий. Теперь буквально «на коленках» они заделывают трещины в блоках цилиндров, глушителях и пр. Без особых проблем устраняют дефекты (каверны, свищи) в алюминиевом литье.

Устранение течей. Низкая газопроницаемость покрытий позволяет ликвидировать течи в трубопроводах и сосудах, когда нельзя использовать герметизирующие компаунды. Технология пригодна для ремонта емкостей, работающих под давлением или при высоких и низких температурах: теплообменников, радиаторов автомобилей, кондиционеров.

Нанесение электропроводящих покрытий. Напылением удается наносить медные и алюминиевые пленки на металлическую или керамическую поверхность. В частности, метод экономически более эффективен, чем традиционные способы, при меднении токоведущих шин, цинковании контактных площадок на элементах заземления и т.п.

Антикоррозионная защита. Пленки из алюминия и цинка защищают поверхности от кор-



розии лучше, чем лакокрасочные и многие другие металлические покрытия. Невысокая производительность установки не позволяет обрабатывать большие поверхности, а вот защищать такие уязвимые элементы, как сварные швы, очень удобно. С помощью напыления цинка или алюминия удается предотвратить коррозию в местах появления «жучков» на крашенных поверхностях кузовов автомобилей.

Восстановление подшипников скольжения. В подшипниках скольжения обычно применяют баббитовые вкладыши. С течением времени они изнашиваются, зазор между валом и втулкой увеличивается и слой смазки нарушается. Традиционная технология ремонта требует либо замены вкладыша, либо заварки дефектов. А напыление позволяет восстановить вкладыши. В этом случае для уплотнения слоя напыляемого металла керамику применять нельзя. Твердые включения через считанные минуты после начала работы выведут подшипник из строя, причем поврежденными окажутся поверхности и втулки и вала. Пришлось применить сопло особой конструкции. Оно позволяет наносить покрытие из чистого баббита в так называемом термокинетическом режиме. Частицы порошка сразу за критическим сечением сопла разгоняются сверхзвуковым потоком воздуха, затем скорость потока резко снижается до околосвуковой. В результате резко возрастает температура, и частицы нагреваются почти до температуры плавления. При попадании на поверхность они деформируются, частично плавятся и хорошо прилипают к ниже лежащему слою.

● Специалисту — на заметку

ЛИТЕРАТУРА

Каширин А. И., Ключев О. Ф., Буздыгар Т. В. **Устройство для газодинамического нанесения покрытий из порошковых материалов.** Патент РФ на изобретение № 2100474. 1996, МКИ^С 23 С 23 С 4/00, опубл. 27.12.97. Бюл. № 36.

Каширин А. И., Ключев О. Ф., Шкодкин А. В. **Способ получения покрытий.** Патент РФ на изобретение № 2183695. 2000, МКИ^С 23 С 24/04, опубл. 20.06.02. Бюл. № 17.

Координаты разработчиков и условия приобретения их технологий или изделий можно узнать в редакции.