

# Технология газодинамического нанесения металлических покрытий

## Часть 1. Процесс формирования покрытия

О. Ф. Ключев, А. И. Каширин, А. В. Шкодкин, кандидаты физ.-мат. наук,  
Обнинский центр порошкового напыления (Обнинск, Россия)

Формирование металлических покрытий газодинамическим способом основано на явлении закрепления твердых металлических частиц, обладающих большой кинетической энергией, на поверхности мишени-подложки в процессе высокоскоростного удара. Для нанесения покрытий можно использовать напылительное оборудование серии ДИМЕТ (Обнинский центр порошкового напыления), конструкция которого обеспечивает создание воздушного сверхзвукового потока, введение в этот поток частиц порошкового материала и ускорение частиц до скорости, необходимой для формирования покрытий. Принципиальной особенностью рассматриваемой технической реализации газодинамического метода является использование в качестве рабочего газа подогретого сжатого воздуха, а в качестве материалов для нанесения покрытий — порошковых композиций, представляющих собой смеси частиц пластичного металла и керамических частиц (либо смеси металлических частиц, существенно различающихся по твердости).

При нанесении покрытий скорость частиц порошкового материала в сверхзвуковом сопле благодаря потоку воздуха увеличивается до нескольких сотен метров в секунду и, направляясь на подложку, соударяются с ней. Процесс взаимодействия частиц с подложкой может быть условно разделен на три стадии.

На первой стадии поток высокоскоростных частиц за счет эрозионного воздействия эффективно очищает поверхность подложки от оксидов, масел, рыхлой ржавчины, абсорбированных веществ и других загрязнений. Поверхность активизируется, обнажаются ювенильные участки, формируется развитый микрорельеф поверхности подложки.

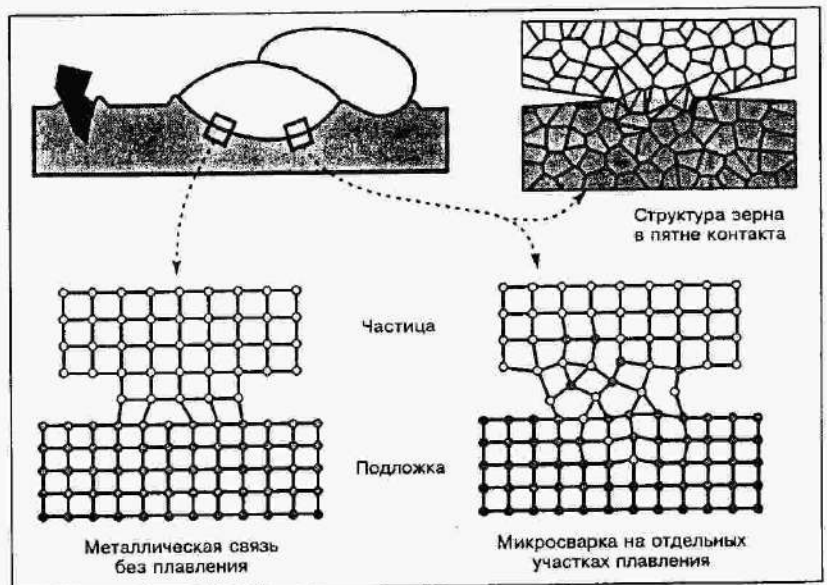
Вторая стадия — формирование зоны контакта покрытия с подложкой, ответственной за прочность сцепления. Часть частиц керамики при ударе внедряется в поверхность, образуя прочное механическое сцепление с ней. При соударении металлических частиц с поверхностью подложки происходит их пластическая деформация и образование в пятне контакта химических связей.

На третьей стадии происходит формирование последующих слоев покрытия, т.е. образование основной массы покрытия; ее удобно называть «наращиванием» покрытия. При этом падающие частицы взаимодействуют уже не с подложкой, а с такими же частицами, закрепившимися в первом

слое. Последовательные удары частиц по закрепившимся на поверхности частицам металла дополнительно деформируют их, уплотняя тем самым покрытие, уменьшая или вовсе устраняя зазоры между частицами (уменьшая его пористость), увеличивая зоны контакта соседних частиц (повышая когезионную прочность покрытия). Керамические частицы в силу статистического характера процесса, отдавая часть своей энергии на формирование покрытия, могут и не закрепиться в нем.

Анализ процесса формирования покрытий и их структуры показывает, что можно выделить несколько основных механизмов, ответственных за сцепление частиц с подложкой и друг с другом (рис. 1).

Рис. 1.  
Механизмы, ответственные за сцепление частиц покрытия с подложкой и друг с другом



Во-первых, тесное соприкосновение кристаллических решеток частиц и подложки (или разных частиц) до образования металлических связей, по крайней мере, на отдельных участках пятна контакта. При этом нигде в пятне контакта не происходит плавления частицы или подложки. Такой механизм сцепления аналогичен механизму сцепления при сварке взрывом.

Во-вторых, на отдельных выступах и неровностях падающих частиц может происходить их плавление и осуществляться точечная микросварка.

В третьих, при тесном соприкосновении ювенильных поверхностей разнородных материалов может проявляться межмолекулярное взаимодействие этих материалов (типичный пример такого механизма можно наблюдать, например, при напылении зеркального алюминиевого покрытия на стекло).

В четвертых, определенную роль может играть механическое сцепление частиц с подложкой, в частности, при глубоком проникновении частиц в подложку.

Конкретное соотношение относительной роли различных механизмов сцепления в различных случаях может существенно отличаться в различных типах покрытий и при различных режимах их нанесения и является предметом отдельного исследования.

**Особенность структуры покрытий**, получаемых газодинамическим способом, заключается в том, что они представляют собой композитный материал, состоящий из металлической матрицы и включенных в нее керамических частиц (или частиц других металлов). Типичная структура покрытия показана на *рис. 2*. На всей границе подложки с покрытием отсутствуют зазоры, полости, посторонние включения. В поверхностный слой подложки с определенной регулярностью внедрены керами-

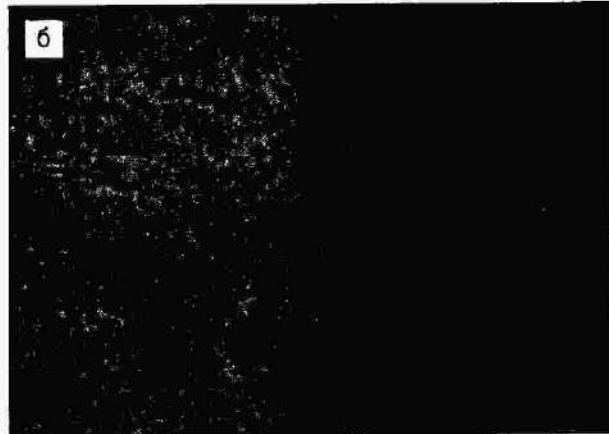
ческие частицы, что подтверждает описанный выше процесс формирования покрытий. Керамические частицы равномерно распределены и по всей толще покрытия, что также подтверждает их участие в создании основной массы покрытия.

Изучение зоны перехода «покрытие-подложка» с помощью характеристического рентгеновского излучения показывает отсутствие диффузионной зоны, в которой бы присутствовали материалы покрытия и подложки; при этом наблюдается скачкообразное изменение химического состава материала — от материала покрытия к материалу подложки. Это соответствует описанному механизму, так как формирование покрытия идет с незначительным разогревом подложки, а само интенсивное взаимодействие частиц с подложкой протекает за короткое время. Исследования химического состава покрытий выявили, что в него входят те элементы, которые присутствуют в порошковом материале. За счет отсутствия на всех этапах технологического процесса высоких температур не происходит никакого окисления или другого преобразования исходных металлов и керамики.

Соотношение компонентов покрытия, определяемое требованиями к покрытию, устанавливают на стадии его разработки и испытаний. Содержание керамики в порошковом материале является существенным фактором, обуславливающим адгезионную прочность покрытия. Обычно содержание керамики в покрытии может быть задано в диапазоне от 2 до 25%.

В процессе разработки различных по составу и назначению покрытий был проведен большой объем измерений механических характеристик покрытий. Типичные значения адгезионной прочности газодинамических покрытий, получаемых рассматриваемым способом с использованием оборудования ДИМЕТ различных моди-

Рис. 2. Типичная структура покрытия из алюминия с добавлением керамики (электрокорунда) на подложке из стали: а — увеличение  $\times 200$ ; б — увеличение  $\times 1000$



фикаций, лежат в пределах 40–80 МПа, в отдельных случаях достигая 100 МПа, и практически никогда не снижаясь ниже 20 МПа. Исключение могут составлять покрытия, наносимые на твердую керамику, в этом случае адгезия покрытий лежит обычно в диапазоне 10–20 МПа. Можно отметить также, что алюминиевые покрытия обычно имеют несколько большую прочность сцепления со всеми типами подложек, чем покрытия из других металлов, наносимых в аналогичных условиях.

При проведении испытаний адгезионной прочности покрытий штифтовым методом было установлено, что когезионная прочность различных покрытий сравнима с их адгезионной прочностью.

Кроме испытаний механических свойств покрытий, проводившихся в обычных условиях, некоторые типы покрытий испытывали в специальных условиях, имитирующих условия эксплуатации. Многократные испытания адгезионной и когезионной прочности алюминиевых покрытий после многократного термоциклирования от криогенных температур (жидкий азот) до обычных условий показали, что эти параметры покрытий практически не изменяются. Испытания когезионной прочности алюминиевых покрытий, проведенные при криогенных температурах, показали, что при криогенной температуре прочность покрытия на разрыв увеличивается в 1,5–1,7 раза. Из металлофизики известно о возрастании прочности алюминия при низких температурах, поэтому в данном случае можно утверждать, что между отдельными частицами в алюминиевом газодинамическом покрытии формируются типичные металлические связи.

**Пористость газодинамических покрытий**, понимаемая как процентное отношение объема пустот в покрытии к общему объему покрытия, может изменяться в достаточно широких пределах. Измерения показали, что типичные значения пористости газодинамических покрытий лежат в диапазоне 3–7%. В отдельных случаях, используя специальные порошковые материалы или специальные режимы напыления, можно получать пористость покрытия за пределами этого диапазона. Выявлена качественная зависимость, состоящая в том, что с увеличением содержания в порошковом материале керамики (твердых частиц) уменьшается пористость получаемого покрытия. Многочисленные измерения пори-

стости покрытий, получаемых с помощью оборудования ДИМЕТ, показали, что она обычно существенно меньше пористости покрытий, получаемых дуговой металлизацией, находится на нижнем пределе значений, типичных для большинства газопламенных и плазменных способов, и сравнима с пористостью детонационных покрытий.

Толщина покрытий, наносимых оборудованием ДИМЕТ, может быть любой. Все покрытия можно обрабатывать всеми известными способами механической обработки — сверлением, строганием, фрезерованием, токарной обработкой, шлифовкой, полировкой и т. п. Обязательным требованием при такой обработке является малая подача режущего инструмента, так как при большой подаче к покрытию прилагаются большие усилия, превышающие его прочность на разрыв.

Покрытия, нанесенные газодинамическим способом, имеют следующие преимущества, которые делают возможным и целесообразным применение этого способа в различных областях промышленности:

- в качестве рабочего газа для ускорения частиц используют сжатый воздух, что повышает доступность и безопасность данной технологии;
- частицы порошкового материала в процессе их ускорения не нагреваются выше 200–300 °С и находятся в твердом состоянии, а также не подвергаются окислению при нанесении покрытия;
- формирование покрытий из твердых частиц не вызывает высокотемпературного разогрева подложки, что обеспечивает низкий уровень остаточных напряжений в покрытиях, высокую адгезию покрытий и возможность «наращивания» большой толщины покрытия;
- при нанесении покрытий на покрываемое изделие оказывается незначительное тепловое воздействие, поэтому материал подложки, также как и материал частиц, не подвергается окислению;
- при воздействии высокоскоростного потока частиц происходит очистка поверхности от загрязнений, а также эффективная ее активация, что способствует повышению прочности сцепления покрытия с подложкой;
- покрытия обладают высокой адгезией, когезией, плотностью, значения которых близки к значениям, получаемым при детонационном способе. ● #359

# Технология газодинамического нанесения металлических покрытий

## Часть 2. Применение покрытий

О. Ф. Клюев, А. И. Каширин, А. В. Шкодкин, Т. В. Бuzдыгар, кандидаты физ.-мат. наук, Обнинский центр порошкового напыления (Обнинск, Россия)

В настоящее время разработано несколько типов металлических покрытий на основе алюминия, меди, цинка, никеля, баббитов и др. материалов, которые наносят при помощи напылительного оборудования ДИМЕТ. Физические и технические свойства покрытий, нанесенных ДИМЕТ, удовлетворяют требованиям эксплуатации. Новая технология позволила решить целый ряд задач, типичных для некоторых производственных и ремонтных процессов.

**Восстановление утраченных объемов металла.** Технология газодинамического нанесения покрытий оборудованием ДИМЕТ — одна из наиболее эффективных способов восстановления поврежденных участков разнообразных деталей и изделий, изготовленных из алюминия. В большой степени это обусловлено тем, что из-за низкого тепловложения устранение дефекта не приводит к деформации изделия, возникновению внутренних напряжений,

структурных превращений металла изделия. При этом конструкция оборудования обеспечивает локализованное воздействие на обрабатываемую деталь, не затрагивающее бездефектных участков. Однако эта технология пригодна только в тех случаях, когда не предъявляют высоких требований к твердости и износостойкости наносимых покрытий. С этим ограничением такие покрытия могут быть использованы для устранения дефектов не только деталей из алюминиевых сплавов, но и других металлов. Важно отметить, что низкая энергетика процесса позволяет устранять дефекты и повреждения тонкостенных деталей, восстановление которых другими способами (например наплавкой) просто невозможно.

**Устранение дефектов алюминиевого литья (трещин, каверн, свищей, пористости).** Наличие дефектов литья во многих случаях не влияет на прочность изделия, но нарушает требуемые геометрические параметры, герметичность или товарный вид изделия. Проблема дефекта литья типична для любого литейного производства. Это приводит к потерям производства из-за брака, которые существенно возрастают после обнаружения скрытых дефектов литья (рис. 1). Применение новой технологии нанесения металлических покрытий позволяет перевести большой процент выявленных дефектов (классифицировавшихся ранее как неустранимые) в разряд устрани-

Рис. 1. Дефект литья, обнаруженный после механической обработки детали

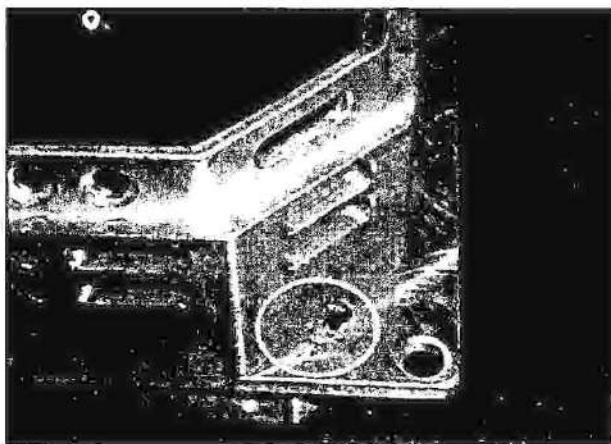
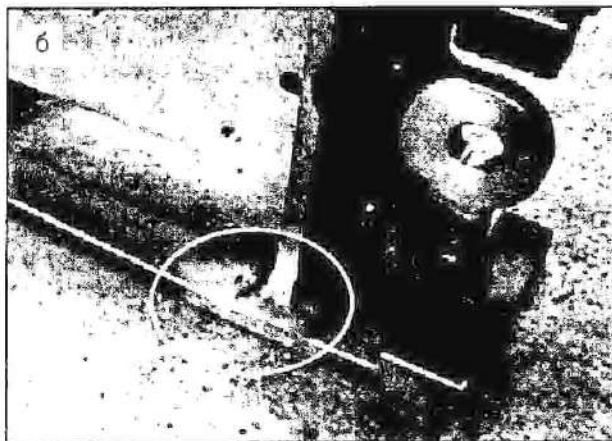
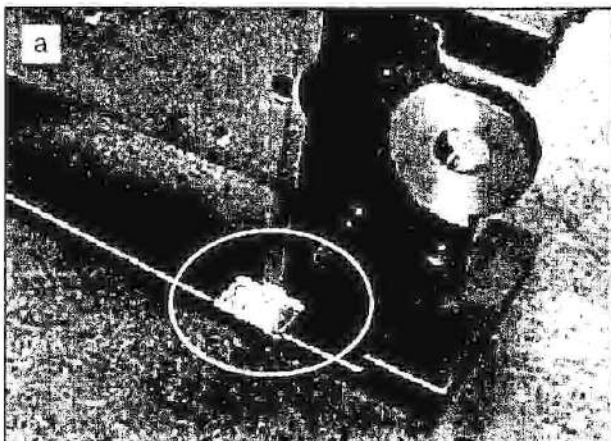


Рис. 2. Исправление ошибки, возникшей при механической обработке детали



мых дефектов и тем самым значительно снизить потери от брака.

**Устранение повреждений деталей, узлов и агрегатов машин и механизмов.** Повреждения деталей, сопровождающиеся изменением геометрических размеров, существенных для их функционального назначения, могут возникать как в процессе изготовления деталей, так и, прежде всего, при их эксплуатации.

В производстве повреждения возникают из-за ошибок исполнителей при изготовлении деталей (врезания, занижения размеров, смещение координат выполнения пазов, отверстий, фрезерование и сверление лишних пазов, отверстий и т.п.), ошибок при отработке программ на станках с ЧПУ, скрытые дефекты литья. Большинство из указанных дефектов часто обнаруживают на финишных операциях изготовления деталей, т.е. после выполнения большого объема работ (рис. 2, а). Многие подобные дефекты легко устраняют газодинамическим напылением, восстанавливающим недостающий объем металла (рис. 2, б).

**Повреждения или износ деталей в процессе эксплуатации.** Совокупность свойств и особенностей газодинамических покрытий, характерных для способа их нанесения с помощью оборудования ДИМЕТ, позволяют осуществлять ремонтные технологии, которые невозможно реализовать никакими другими способами. Наглядным примером является технология восстановления посадочных мест подшипников. В процессе эксплуатации механизмов геометрические размеры посадочных мест увеличиваются. Традиционная технология восстановления состоит в применении последовательных операций расточки посадочного места до ремонтных размеров под наплавку, собственно наплавки, повторной расточки до посадочного размера. Технология не поддается унификации прежде всего из-за разнообразия материалов, из которых изготовлены подшипниковые щиты (сталь, чугун, алюминий и др.), требующего в каждом случае применения различных способов наплавки.

Применение оборудования ДИМЕТ позволяет существенно упростить описанную процедуру ремонта. Во-первых, нет необходимости в предварительной расточке посадочного места, так как покрытия могут наноситься непосредственно на изношенную поверхность. Во-вторых, процесс «наращивания» утраченной массы металла

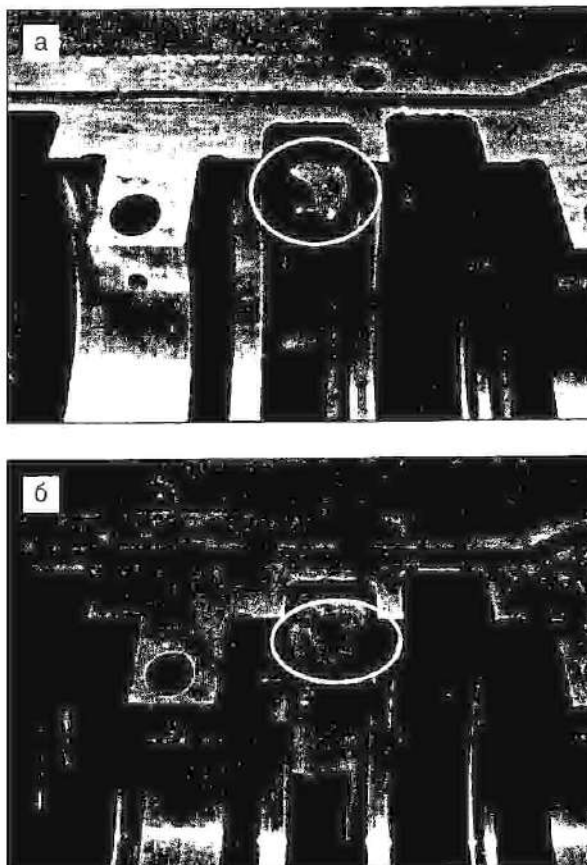


Рис. 3. Устранение механических повреждений (пробоины): а — вид дефекта; б — дефект устранен

унифицируется в силу того, что покрытия оборудованием ДИМЕТ можно наносить на любые металлы, из которых изготовлены подшипниковые щиты. Поскольку покрытия таких щитов испытывают только нагрузки «на сжатие», они могут быть из любого металла, удовлетворяющего требованиям эксплуатации. Опыт практического применения этой технологии для ремонтов подшипниковых щитов подтверждает экономическую эффективность предлагаемой технологии.

**Устранение механических повреждений тонкостенных алюминиевых деталей** (рис. 3). В результате разрушения шатуна образовалась пробоина в стенке тонкостенного алюминиевого картера двухтактного двигателя, изготовленного литьем под давлением. Малая толщина стенки (2,5 мм), структура литого алюминия и сложная геометрия детали полностью исключали возможность использования для ремонта аргонодуговой сварки.

В данном случае технология ремонта с помощью оборудования ДИМЕТ состояла из двух операций: заделки отверстия механической заглушкой и последующей герметизации шва нанесением алюминиевого покрытия с наружной и внутренней сторон детали. Покрытие обеспечивало необходимую механическую прочность «заплатки» и ее герметичность.

Таблица. Внедрение покрытий и оборудования ДИМЕТ

Отрасль	Покрытия
Аэрокосмический комплекс	Герметизирующие
	Теплоизлучающие
	Для восстановления размеров
Машиностроение (литейное, инструментальное, электротехническое производства, криогенная техника, техника высокого давления, радиоэлектроника, средства связи, ремонт оборудования)	Для восстановления размеров
	Герметизирующие
	Электропроводящие
Металлургический комплекс	Жаростойкие
	Электропроводящие
	Герметизирующие
Атомная энергетика	Антикоррозионные
	Герметизирующие
Судостроение, судоремонт	Антисхватывающие
	Для восстановления размеров
Автомобилестроение, авторемонт	Для восстановления размеров
	Герметизирующие
	Антикоррозионные
Нефтегазовая промышленность	Для восстановления размеров

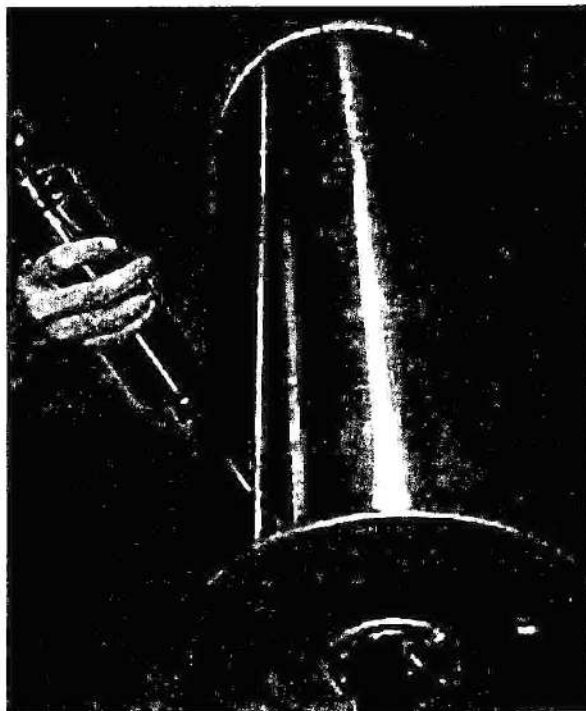


Рис. 4. Герметизация течей емкостей из термоупрочненного алюминия

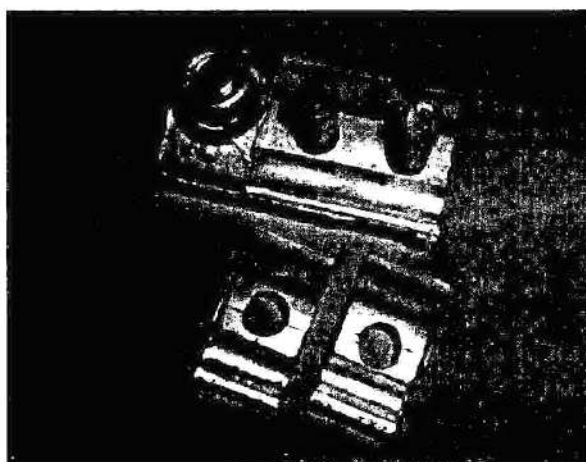


Рис. 5. Нанесение медного покрытия на алюминиевые зажимы-соединители для ЛЭП

Как показывает опыт, технология обеспечивает эффективное восстановление рабочих поверхностей различных машин и механизмов, не требующих большой твердости и износостойкости: корпусов, крышек двигателей, редукторов, насосов, компрессоров, пресс-форм для изготовления пластиковой упаковки, резинотехнических изделий, форм для литья и др. Отдельным направлением применения технологии является восстановление геометрических размеров деталей и узлов газоперекачивающих аппаратов магистральных газопроводов.

**Герметизация течей жидкостей и газов.** Низкие пористость и газопроницаемость покрытий, наносимых с помощью оборудования ДИМЕТ, позволяют использовать их для герметизации течей рабочих газов и жидкостей, когда невозможно использование герметизирующих компаундов. Целесообразным является использование технологии для ремонта сосудов, работающих под давлением или при низких и высоких температурах: элементов криогенных систем, систем охлаждения, емкостей, трубопроводов, теплообменников и т. п. В частности, эффективное применение данной технологии находит при герметизации дефектов сварных швов криогенных емкостей, изготовленных из термоупрочненного алюминия, не допускающего использования технологических процессов с большим тепловложением (рис. 4). Технология позволяет также проводить герметичное соединение трубопроводов высокого давления, изготовленных из несвариваемых материалов, таких, например, как сталь и алюминий. При этом механическую прочность обеспечивают резьбовым соединением, а герметизацию стыка осуществляют металлическим покрытием, наносимым оборудованием ДИМЕТ.

**Нанесение электропроводящих покрытий.** Оборудование ДИМЕТ технологически просто обеспечивает нанесение металлических покрытий с высокой электропроводностью (алюминиевых, цинковых, медных) на любую металлическую или керамическую основу. Это позволяет применять покрытия для различных электронных и электротехнических изделий, в частности, для нанесения электропроводящих дорожек, полос, контактных площадок на металлические и керамические изделия и детали, подслоев под пайку. Экономически более эффективным (по сравнению с традиционными способами металлизации)

является меднение токопроводящих шин и соединителей, цинкование контактных площадок корпусного оборудования, элементов заземления оборудования, нанесение подслоев под пайку фарфоровых изоляторов, и т. п.) (рис. 5).

**Восстановление подшипников скольжения.** Традиционная технология ремонта эксплуатационного износа и поврежденной поверхности подшипников скольжения состоит либо в полной перезаливке подшипника, либо в локальной заварке дефектов поверхности, что далеко не всегда обеспечивает требуемое качество. Технология нанесения ремонтных баббитовых покрытий с помощью оборудования ДИМЕТ обеспечивает высокое качество покрытия и технологическое удобство его нанесения, в том числе и на локальные участки подшипника.

**Антикоррозионная защита.** Защиту от низкотемпературной коррозии обеспечивают покрытиями на основе алюминия и цинка. Как показали испытания, покрытия, создаваемые с помощью оборудования ДИМЕТ, отвечают требованиям ГОСТ 28302-89, ГОСТ 9.304-87 и других нормативных документов, по антикоррозионным свойствам превосходят лакокрасочные и многие другие металлические покрытия. Недостаточно высокая производительность оборудования ограничивает возможность его применения для обработки больших площадей. Наиболее целесообразной является антикоррозионная обработка локальных очагов коррозии, небольших деталей, сварных швов.

Наряду с рассмотренными выше разработаны и внедрены на ряде предприятий несколько специальных типов покрытий, которые обеспечивают возможность решения таких задач, как:

- повышение теплоизлучающей способности нержавеющей стали (покрытия с высоким коэффициентом теплового излучения — для сброса тепла нагретыми объектами в условиях космоса);
- предотвращение «схватывания» в резьбовых соединениях, выполняемых из нержавеющей стали;
- изготовление искробезопасного инструмента;
- защита от высокотемпературной коррозии;
- нанесение декоративных покрытий.

В целом можно утверждать, что к настоящему времени накоплен значительный опыт эффективного применения газодинамических покрытий в промышленности.

В *таблице* представлена информация, отражающая практическое использование различных типов покрытий, наносимых с помощью оборудования ДИМЕТ, в разных отраслях промышленности. ● #376

# Технология газодинамического нанесения металлических покрытий

## Часть 3. Оборудование ДИМЕТ®

*О. Ф. Клюев, А. И. Каширин, А. В. Шкодкин, Т. В. Буздыгар, кандидаты физ.-мат. наук, Обнинский центр порошкового напыления (Обнинск, Россия)*

Технологическое оборудование серии ДИМЕТ предназначено для нанесения металлических покрытий газодинамическим методом. Конструкция оборудования обеспечивает создание воздушного сверхзвукового потока, введение в этот поток частиц напыляемого порошкового материала и ускорение этих частиц до скоростей, достаточных для эффективного формирования металлических покрытий, обладающих высокими эксплуатационными свойствами. Оборудованию присвоен товарный знак ДИМЕТ®, оно сертифицировано в системе ГОСТ Р.

В настоящее время выпускают три модификации оборудования ДИМЕТ: модели 402, 403 и 412 (таблица), предназначенные для ручного нанесения ряда металлических покрытий при выполнении широкого спектра работ в производстве, при ремонте и восстановлении машин и механизмов различного назначения. Оборудование позволяет также производить струйно-абразивную обработку поверхностей (очистку поверхности от загрязнений и активацию поверхности перед нанесением покрытий). Для нанесения баббитовых покрытий дополнительно к оборудованию ДИМЕТ выпускают специальный сопловой блок СББ-03. Для проведения ремонтно-восстановительных работ на газоперекачивающих аппаратах (ГПА) магистральных газопроводов на базе оборудования ДИМЕТ предназначен комплекс ДИМЕТ-ГП-3.

Для работы оборудования необходим сжатый воздух давлением 0,6–1,0 МПа (расход 0,3–0,4 м³/мин). Чистота воздуха, согласно ГОСТ 17433–80, должна соответствовать классам 1, 3, 5. Необходима электросеть напряжением 220 В, 50 Гц.

**Оборудование ДИМЕТ® модель 402** предназначено для ручного нанесения алюминиевых, цинковых и медных покрытий при изготовлении и ремонте различных

Таблица. Техническая характеристика оборудования ДИМЕТ®

Показатель	Модель		
	402	403	412
Напряжение питающей сети, В (Гц)	220 (50)	220 (50)	220 (50)
Потребляемая мощность, кВт	2,3	3,2	2,8
Количество режимов напыления покрытий	Один	Пять	Два
Производительность по массе наносимого покрытия на основе алюминия, г/мин	1–3 (0,3–1 см³/мин)	1–6 (0,3–2 см³/мин)	1–04 (0,3–1 см³/мин)
Габаритные размеры, мм	550×470×260	550×470×260	240×350×350
Масса, кг	14	16	7,5

деталей и узлов машин и механизмов. Оно выполнено в виде переносного комплекта, все узлы и элементы которого смонтированы на монтажной стойке (рис. 1). В комплект входят напылитель (включающий нагреватель воздуха и сверхзвуковое сопло), модуль подготовки воздуха, два порошковых питателя, электрический блок питания порошковых питателей. Элементы и узлы соединены электрическими кабелями и пневмошлангами.

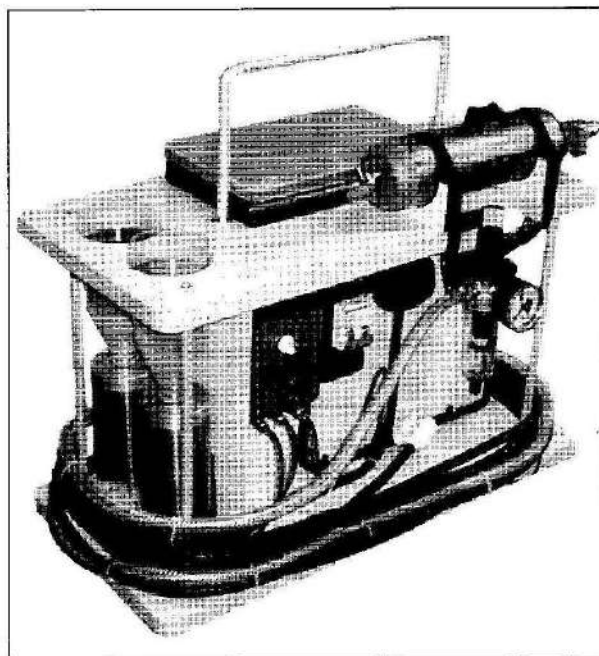


Рис. 1. Комплект оборудования ДИМЕТ модель 402



**Оборудование ДИМЕТ® модель 403** предназначено для ручного нанесения алюминиевых, цинковых, медных и никелевых покрытий, при изготовлении и ремонте различных деталей. Его также можно встраивать в автоматизированные линии, рабочие посты, участки по нанесению покрытий. Выполнено в виде переносного комплекта, все узлы и элементы которого смонтированы на монтажной стойке (рис. 2). Оборудование этой модели включает напылитель усовершенствованной конструкции, модуль подготовки воздуха, два порошковых питателя, блок контроля и управления. Для работы оборудования необходим сжатый воздух и напряжение питающей сети.

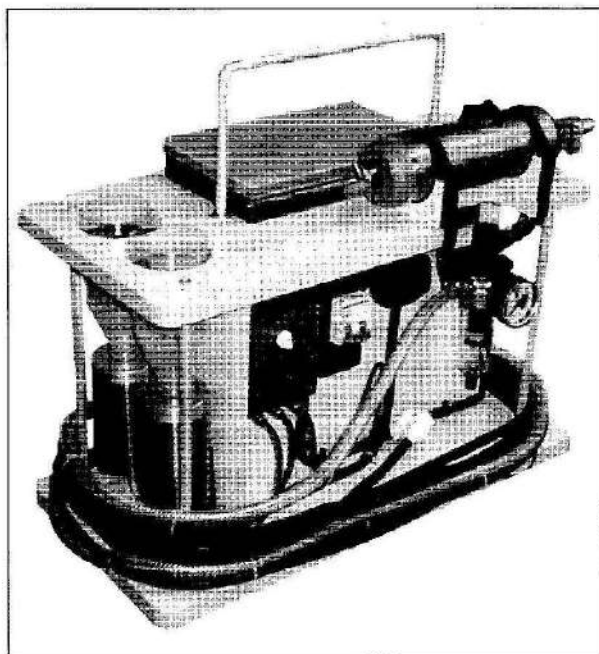


Рис. 2.  
Комплект  
оборудования  
ДИМЕТ  
модель 403

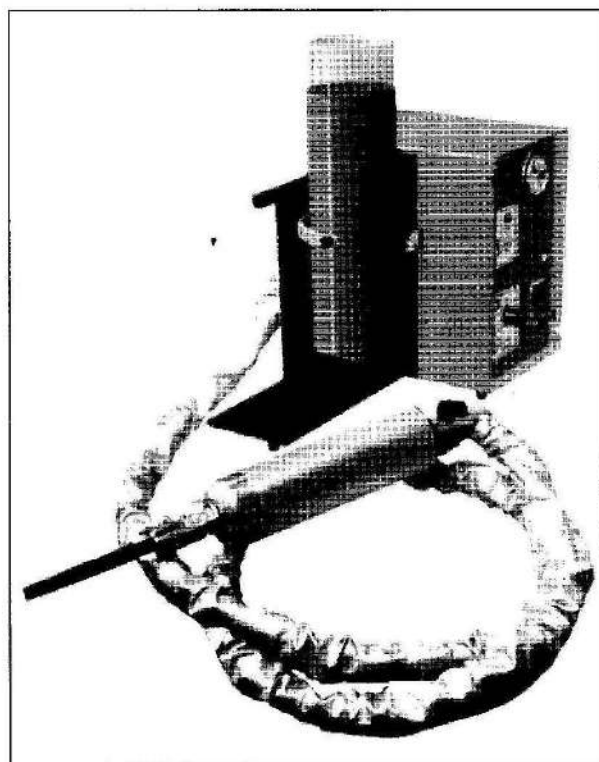


Рис. 3.  
Комплект  
оборудования  
ДИМЕТ  
модель 412

Модель 403 оснащена устройством стабилизации, обеспечивающим устойчивую работу комплекта при колебаниях напряжения питающей сети в диапазоне 180–250 В. Здесь также предусмотрена возможность дистанционного управления и подключения дополнительных устройств, например, пневмоэлектроклапана или других элементов, необходимых для включения оборудования в состав автоматизированного комплекса.

**Оборудование ДИМЕТ® модель 412** предназначено для ручного нанесения металлических покрытий при изготовлении и ремонте машин и механизмов. В переносной комплект, смонтированный на металлическом трансформируемом корпусе, входит напылитель, модуль подготовки воздуха, один порошковый питатель, электрический блок коммутации и управления работой оборудования (рис. 3). Элементы и узлы оборудования соединены электрическими кабелями и пневмошлангами.

**Напылительные сопла.** Все модели ручного напылительного оборудования серии ДИМЕТ комплектуют круглыми и плоскими соплами со сменными сопловыми вставками. Круглое сопло формирует пятно напыления диаметром 5 мм, плоское — прямоугольное пятно размером 3×10 мм.

**Порошковые питатели** обеспечивают непрерывную подачу рекомендованных производителем порошковых материалов в заданном диапазоне производительности с неравномерностью не более 20%. Специальные технические решения позволяют обеспечивать равномерную подачу плохосыпучих материалов.

**Сопловый блок СББ-03 для напыления баббитов.** Все модели оборудования ДИМЕТ могут быть дополнительно укомплектованы сопловым блоком СББ-03, предназначенным для нанесения покрытий из баббитов БК2 и Б83 при выполнении ремонтных работ по устранению повреждений антифрикционных покрытий подшипников скольжения. Сопловый блок включает асимметричное сопло и специальные сопловые термокинетические насадки, обеспечивающие размеры пятна напыления от 10 до 35 мм.

**Расходные материалы.** При использовании оборудования ДИМЕТ — это порошковые материалы (в предлагаемом предприятии ассортименте) и сменные (изнашиваемые) сопловые вставки. Предприятие-изготовитель рекомендует использовать оригинальные порошковые ма-

териалы и сменные сопловые вставки во избежание повреждения оборудования.

**Комплекс оборудования ДИМЕТ-ГП-3** предназначен для проведения ремонтно-восстановительных работ на газоперекачивающих аппаратах (ГПА) типа ГТК-10-4, работающих в составе газоперекачивающих станций магистральных газопроводов (рис. 4). Комплекс включает комплект оборудования ДИМЕТ модели 403К для нанесения металлических покрытий; систему СППУ-3 для автоматизированного программного пространственного перемещения напылительного блока и управления работой комплекса; фильтровытяжное устройство ФВУ-3 для вытяжки и сбора пыли из рабочей зоны и фильтрации воздуха; пылезащитные устройства для локализации рабочей зоны при обработке статорных лопаток и поверхностей разъема турбины.

Оборудование обеспечивает повышение мощности и коэффициента полезного действия ГПА за счет уменьшения радиальных зазоров проточной части осевого компрессора и турбин высокого и низкого давления, снижения протечек рабочего тела по плоскостям разъемов турбины. Эффект достигают восстановлением нормативных геометрических размеров деталей и узлов ГПА при нанесении металлических покрытий согласно технологической карте дефектации изделия.

**Рекомендации по организации рабочего места при работе с оборудованием ДИМЕТ®.** К работе с оборудованием ДИМЕТ® допускают персонал, имеющий право работы с электроинструментом и сжатым воздухом. Для пылезащиты персонала и окружающей среды при работе с оборудованием ДИМЕТ® в закрытых помещениях необходимо оборудовать рабочее место вытяжкой. Примерная схема организации рабочего места показана на рис. 5.

Пылезащитная камера должна обеспечивать возможность размещения в ней обрабатываемых изделий при условии доступа к ним сопла напылительного блока. Персонал должен быть защищен индивидуальными средствами пылезащиты (очки, респиратор). Фильтр должен обеспечивать очистку запыленного воздуха от пыли (не вошедшего в покрытие порошка). Вытяжной вентилятор должен обеспечивать эффективную вытяжку запыленного воздуха из системы «пылезащитная камера—фильтр—воздуховоды». Производительность вентилятора должна быть не менее 2 м<sup>3</sup>/мин.

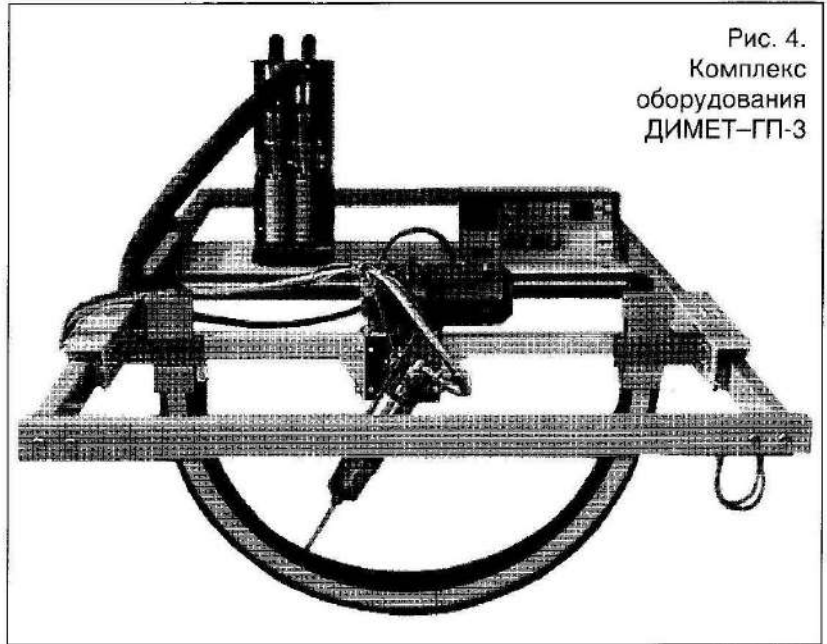
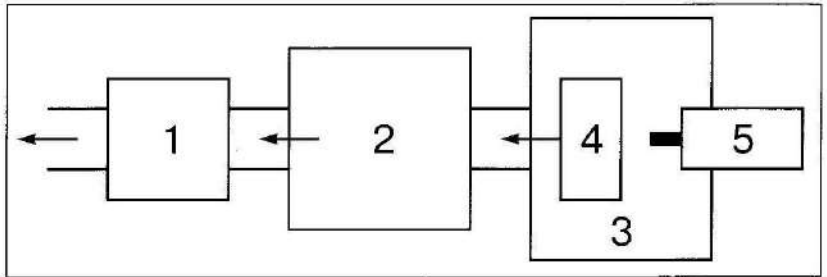


Рис. 4.  
Комплекс  
оборудования  
ДИМЕТ-ГП-3



В качестве системы пылесосистки можно использовать как готовые промышленные пылесосы с достаточной производительностью и степенью фильтрации воздуха, так и специально изготовленные устройства, которые могут включать циклоны, фильтры тонкой очистки и вытяжные вентиляторы.

Предприятие ДИМЕТ предлагает:

- поставки оборудования и технологии нанесения покрытий с обучением персонала;
- гарантийное и сервисное обслуживание оборудования, поставку расходных материалов;
- оказание консультационной, информационной, технической и другой помощи, необходимой для эффективной эксплуатации оборудования;
- доработку типовых покрытий и базовых вариантов оборудования ДИМЕТ® применительно к технологическому циклу производства заказчика.

● #392

Обнинский центр порошкового напыления  
249031, Россия, Калужская обл.,  
г. Обнинск, ул. Курчатова, д. 21, оф. 114б.  
Тел./факс: (08439) 68-007  
E-mail: ocps@obninsk.com  
www.amazonit.ru/ocpn/default.html

Рис. 5. Схема  
организации  
рабочего  
места: 1 —  
вытяжной  
вентилятор;  
2 — фильтр;  
3 — пыле-  
защитная  
камера;  
4 — изделие;  
5 — напыли-  
тель ДИМЕТ