

## **Рекомендации по устранению дефектов с помощью оборудования ДИМЕТ.**

Технология газодинамического напыления ДИМЕТ позволяет наносить слой металла толщиной от сотых долей миллиметра до нескольких десятков миллиметров на металлические поверхности без плавления и сильного нагрева. Это даёт возможность применения её для устранения локальных дефектов на металлических деталях без влияния на структуру и свойства материала детали.

Литьевые дефекты, коррозионные дефекты, забоины и механические повреждения могут возникать как в процессе производства, так и в процессе эксплуатации. Во многих случаях устранение небольших локальных дефектов может восстановить работоспособность сложной ценной детали.

К локальным дефектам, устранимым с помощью оборудования ДИМЕТ можно отнести царапины, забоины, ямки, свищи, каверны размером от долей миллиметра до десятков миллиметров.

### **Материалы.**

Использование сжатого воздуха с давлением менее 6 атмосфер для ускорения частиц ограничивает набор материалов, которые возможно применять для создания покрытий, только пластичными металлами. Базовыми металлами для порошковых материалов в технологии ДИМЕТ являются алюминий, медь, цинк, никель, свинец и олово.

Специфика газодинамического нанесения металлических покрытий, основанного на пластической деформации ускоренных нерасплавленных частиц при столкновении с преградой, позволяет наносить любой из разработанных материалов на различные металлы и сплавы.

Один и тот же материал может быть нанесён на большинство металлов с прочностью сцепления не менее 40 – 45 МПа. При такой величине адгезии обеспечивается надёжное сцепление при эксплуатации в широком диапазоне температур от -50 до + 400 градусов Цельсия даже при сильном различии температурных коэффициентов расширения материалов основы и покрытия.

Типичная величина твёрдости покрытий из материалов на основе алюминия 50 – 60 НВ, на основе меди – 90 – 110 НВ. Твёрдость никелевого покрытия, достигающая 150 НВ, соизмерима с твёрдостью низкоуглеродистой стали, является максимальной для технологии ДИМЕТ.

Обычно для устранения дефектов на деталях из алюминиевых сплавов применяются материалы на основе алюминия. На более твёрдые металлы наносятся покрытия из материалов на основе меди или никеля.

### Угол напыления.

Большое значение для процесса газодинамического напыления имеет угол соударения налетающей частицы с преградой. Наиболее эффективно частицы закрепляются при направлении ускоряющего потока перпендикулярно плоскости поверхности. Отклонение оси сопла от нормали приводит к снижению эффективности напыления. При направлении оси потока под углом менее 30 градусов к поверхности образование покрытия не происходит.

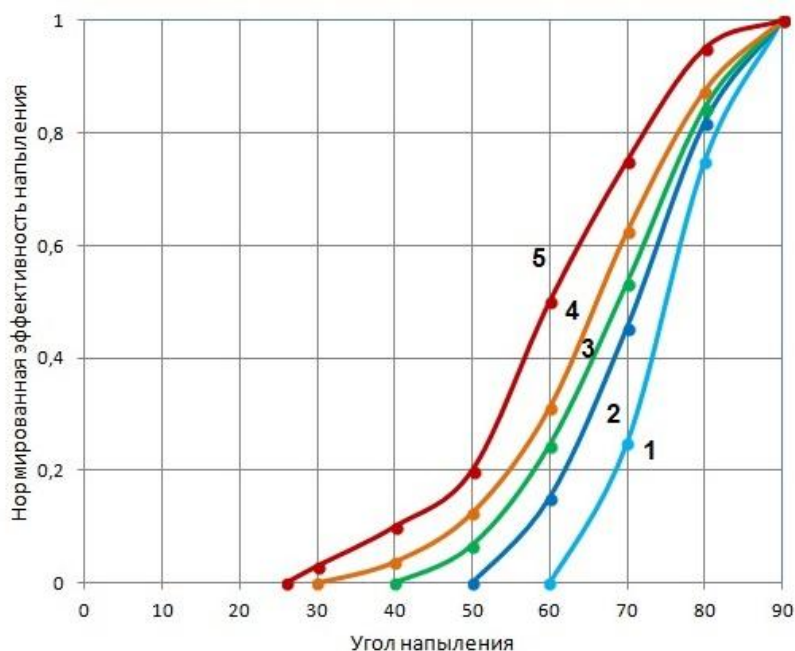


Рис.1. Зависимость эффективности напыления в разных температурных режимах оборудования ДИМЕТ от угла между осью потока и плоскостью основы.

При нанесении покрытия на поверхность с неоднородностями больше диаметра сопла следует изменять наклон сопла, придерживаясь перпендикулярности оси к локальному участку поверхности.

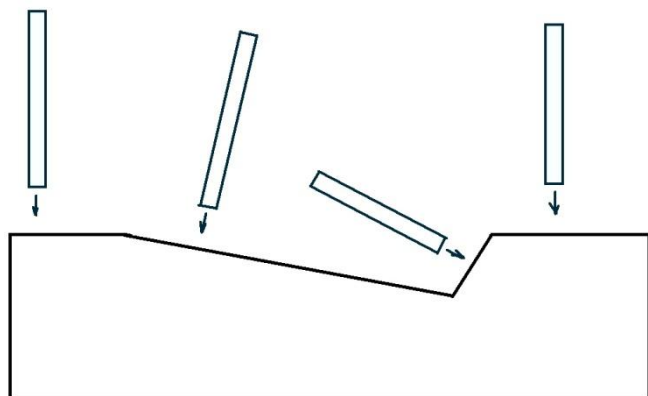


Рис.2. Напыление на неоднородную поверхность.

### Форма и размер дефекта.

Дефекты на металлических деталях могут иметь разнообразные формы и размеры.

Для заполнения дефекта с пологими краями достаточно придерживаться перпендикуляра между осью сопла и локальным участком поверхности в пятне напыления. На дефектах в виде тупых углов заполнение производится при направлении оси сопла по биссектрисе угла.

Узкие и глубокие дефекты являются наиболее неудобными для напыления, так как частицы в потоке, направленном в сторону дефекта, всегда движутся под малым углом к стенке дефекта и не могут закрепиться на ней. До дна дефекта частицы если и долетают, то с большой потерей скорости. При повороте воздушного потока частицы алюминия, меди, никеля не могут закрепиться на внутренней поверхности дефекта из-за недостаточной скорости при ударе.

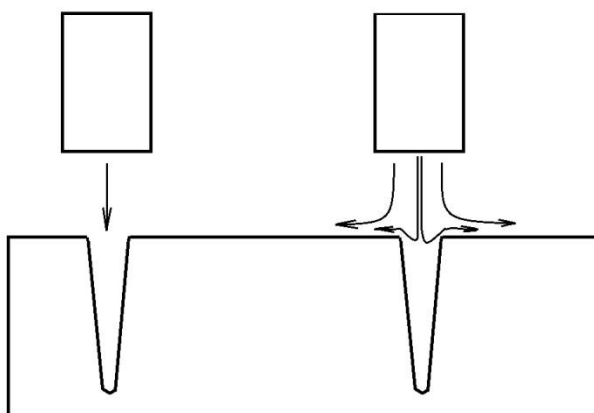


Рис. 3. Узкий и глубокий дефект.

Для устранения таких дефектов используются порошковые материалы с добавками цинка. Частицам цинка требуются меньшая скорость для закрепления, поэтому при повороте воздушного потока они могут оседать на стенке дефекта, создавая локальную ступеньку и уменьшая сечение дефекта. Чем меньше поперечное сечение дефекта, тем быстрее он перекрывается ступенькой.

С увеличением температурного режима оборудования ДИМЕТ эффективность закрепления цинка возрастает, и перекрытие дефекта ускоряется. При понижении температурного режима напыления эффективность закрепления цинка снижается, и перекрытие дефекта может стать невозможным.

Для устранения узких и сквозных дефектов применяются порошковые материалы с добавкой частиц цинка. На деталях из алюминиевых сплавов используется порошок на основе алюминия А-20-11. Твёрдость покрытия из этого материала по Бринеллю составляет 50 – 60 НВ. На деталях из более твёрдых металлов применяются порошки на основе меди С-01-11 и на основе никеля N7-00-14. Твёрдость покрытий из этих материалов по Бринеллю составляет 90 – 110 НВ.

Во всех узких дефектах, устраняемых этими порошковыми материалами, у стенок присутствует избыток цинка.

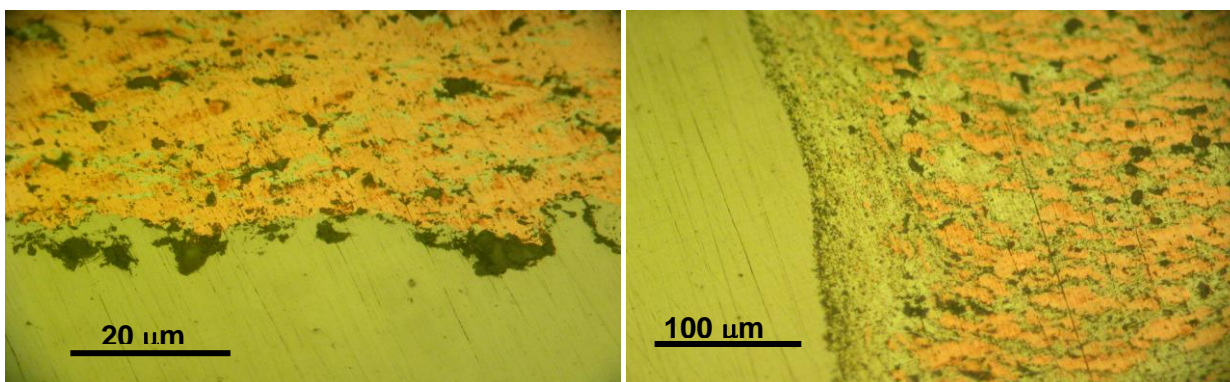


Рис. 4. Покрытие, нанесенное порошком С-01-11 перпендикулярно на плоскую часть поверхности и при развороте потока на стенку дефекта.

В случаях, когда наличие цинка недопустимо из-за возможного воздействия агрессивной среды, узкий дефект необходимо разделить режущим инструментом и обеспечить возможность напыления на все участки поверхности с отклонением от нормали не более 30 градусов.

При большой глубине дефекта или сквозном отверстии это может быть не только нецелесообразно, но просто невозможно. В большинстве случаев гораздо проще устранить дефект порошковым материалом с добавкой цинка, а после устранения дефекта заблокировать доступ к слою с цинком другим подходящим материалом.

Для процесса напыления узкий глубокий дефект и узкое сквозное отверстие не имеют отличий, так как локальная ступенька образуется только в верхней части дефекта, где после разворота потока направление движения частиц перпендикулярно стенке. Для ускорения перекрытия дефекта при напылении следует направлять ось сопла по возможности ближе к нормали к его стенкам.

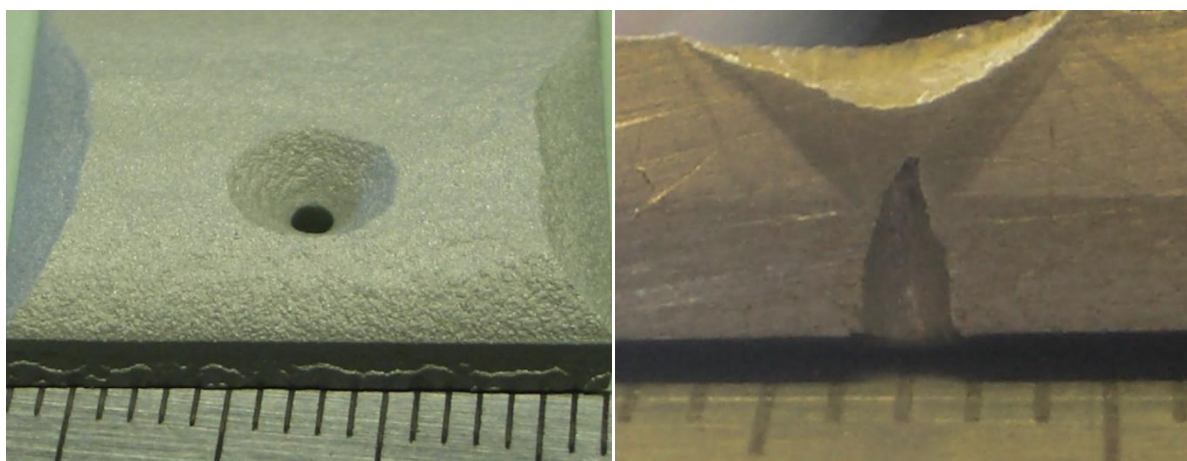


Рис. 5. Стальная пластина со сквозным отверстием после напыления порошком А-10-01. Для устранения отверстия использован порошок А-20-11.

Полное перекрытие узкого дефекта происходит в верхней части дефекта или даже выше него. Чтобы иметь запас толщины стенки, перекрывающей узкий глубокий дефект, можно заранее разделить края дефекта на требуемую глубину.

Устранять крупные отверстия, напыляя на стенки под углом возможно, но очень трудоёмко. Если прочно закрепить в крупном отверстии перекрывающую её заглушку или заплатку, то размер сквозного дефекта сведётся к удобной для напыления щели. Заглушка может быть из любого металла.



Рис. 6. Устранение отверстия заглушкой.

Напыление на щель обеспечивает герметичность объекта с отверстием, но не может обеспечить прочность соединения при большом давлении на заглушку. Важно при любых перекрытиях отверстий обеспечить такое крепление заглушки, которое не приводило бы к нагрузке на покрытие более 30 МПа.



Рис. 7. Крепление заглушки винтами.

Так как перекрывающая ступенька образуется только в верхней части узкого отверстия или щели, а сама щель всё равно остаётся незаполненной, то для ускорения и облегчения работы глубокую щель можно заполнить забитым в неё отрезком проволоки подходящего диаметра.

Для крупных глубоких дефектов также в некоторых случаях можно использовать заполнение объёма любыми металлическими элементами, уменьшающими необходимую толщину напыления до нескольких миллиметров.

Прочность покрытия, перекрывающего дефект, на разрыв составляет всего 30 – 40 МПа, что при толщине в несколько миллиметров недостаточно для скрепления трещин. При движении трещины под нагрузкой перекрывающая стенка разрушится. Следует сначала зафиксировать трещину стяжками сварки, чтобы предотвратить её движение, то есть превратить трещину в несколько небольших отверстий, а затем устранить эти отверстия напылением. Для обеспечения исходных формы и размеров можно сначала выполнить разделку трещины и провести сварку в глубине сделанной разделки, а затем устранить разделку с помощью напыления.



Рис. 8. Превращение трещины в набор отверстий и герметизация напылением.

#### **Подготовка перед напылением.**

Адгезия металлических покрытий, наносимых газодинамическим напылением, в значительной мере обеспечивается наличием на поверхности неоднородностей, обеспечивающих зацепление частиц и элементов покрытия и увеличивающих площадь сцепляющихся поверхностей основы и покрытия. Поэтому любое сглаживание поверхности перед нанесением покрытия способствует снижению прочности сцепления.

Удаление части исходного материала и замена его на материал покрытия приводит, во-первых, к изменению свойств детали на большем участке, чем величина дефекта, во-вторых, к дополнительной работе по удалению исходного материала и увеличению затрат времени и порошкового материала на напыление. Желательно при подготовке не применять никакой проточки и сглаживания поверхности.

Для ускорения и облегчения работы можно провести разделку кромок узких глубоких дефектов.

При устранении дефектов на деталях из алюминиевых сплавов никакой дополнительной подготовки поверхности обычно не требуется.

При нанесении покрытий на детали из более твёрдых материалов (сталь, чугун, бронза и др.) требуется обеспечить развитую шероховатость поверхности. Для создания развитой шероховатости оборудованием ДИМЕТ используются угловатые частицы оксида алюминия (корунда) размером 0,15 – 0,2 мм, которые поставляются для абразивно-струйной подготовки поверхности как порошковый материал К-00-04-16.

Абразивно-струйная подготовка перед напылением проводится при направлении потока частиц из сопла под любым углом к поверхности. Для тонкостенных деталей во избежание деформации в результате наклёпа следует направлять поток под углом 20 – 40 градусов к плоскости поверхности.

На деталях из алюминиевых сплавов абразивно-струйная обработка может применяться для удаления значительных коррозионных отложений.

При абразивно-струйной обработке обычно используется режим без нагрева воздуха. Режимы с нагревом воздуха применяются для удаления сильных загрязнений поверхности.

#### **Температурные режимы напыления.**

Режим напыления выбирается исходя из требований к процессу и к качеству покрытия. На оборудовании «ДИМЕТ» применимым в большинстве случаев является режим «3». При снижении номера режима возрастает плотность и прочность сцепления покрытия, но уменьшается эффективность напыления. При увеличении номера режима растёт эффективность напыления, но снижается качество покрытия. Герметичные покрытия наносятся в режиме «3» и ниже.

При устранении пологих и неглубоких дефектов первый тонкий слой наносится обычно в пониженном температурном режиме «1» для максимального сцепления с основой. Затем режим напыления последовательно увеличивается до «2», «3» и «4» для экономии порошка и ускорения работы.

Узкие и глубокие дефекты на поверхности не перекрываются при напылении в режимах «1» и «2». Чем выше температурный режим напыления, тем быстрее происходит их перекрытие.

Для крупных глубоких дефектов объёмом более 3 – 4 кубических сантиметров после нанесения первого слоя для экономии лучше сразу перейти в режим «4» и заполнить большую часть необходимого объёма. В случае очень глубоких дефектов для заполнения внутренней части можно использовать режим «5». После заполнения большей части крупного дефекта следует понизить температурный режим до «3» и «2» с целью создания плотного герметичного слоя на поверхности.

При нанесении покрытий на детали из алюминиевых сплавов надёжное сцепление обеспечивается при напылении сразу в режиме «3». Крупные дефекты и сквозные отверстия лучше устранять в режиме «4», а герметичность обеспечивать нанесением верхнего слоя не менее 0,5 мм в режиме «3» или «2». Надёжная герметичность обеспечивается только при нанесении верхнего слоя покрытия потоком, направленным перпендикулярно поверхности.

### **Механическая обработка.**

После устранения дефектов на поверхности детали вместо впадин и щелей присутствуют выступы и бугры. Для их устранения применяется любой инструмент для металлообработки.

Особенностью нанесённого напылением металла является его низкое относительное удлинение (хрупкость), получающееся в результате сильного наклёпа всех металлических частиц, составляющих покрытие.

Токарную обработку покрытия во избежание сколов и трещин следует проводить только острым твёрдосплавным инструментом. Для покрытий из материалов на основе меди и никеля следует срезать не более 0,05 – 0,1 мм. Для покрытий из материалов на основе алюминия съём не должен превышать 0,2 мм. При обработке тонких слоёв (менее 0,2 мм) покрытия натирание поверхности тупой кромкой резца может приводить к растяжению и отслаиванию покрытия.

При обработке фрезой или шлифовальным кругом рекомендуется применять СОЖ во избежание налипания цинка на инструмент.

### **Добавление слоя покрытия после механической обработки.**

Толщину наносимого слоя покрытия следует выбирать с запасом на механическую обработку. После механической обработки в размер возможно обнаружение недостаточной толщины покрытия на некоторой части поверхности.

Допускается дополнительное напыление непосредственно на обработанное покрытие, но только после проведения абразивно-струйной обработки выбранных для напыления участков порошком К-00-04-16. Такая обработка должна производиться только под малым углом не более 20 – 30 градусов к поверхности. При обработке абразивным потоком перпендикулярно плоскости поверхности в результате дополнительного наклёпа возможно отслоение покрытия.

Для дополнительного напыления на поверхность покрытий, нанесённых порошками на основе алюминия (А-80-13, А-20-11, А-10-01, А-30-01), абразивно-струйная обработка поверхности не требуется.

### **Блокирование.**

При устранении узких глубоких дефектов порошковыми материалами А-20-11, С-01-11 и N7-00-14 на стенках узких дефектов находятся участки цинка значительной толщины. Выход краёв этих участков на обработанную поверхность может наблюдаться в виде более светлых или более тёмных, в зависимости от материала детали и покрытия, пятен и полос.

Выходящие на поверхность участки цинка могут разрушиться при воздействии жидких электролитов. Для надёжной защиты от коррозии на участок поверхности с устранённым дефектом следует нанести блокирующее покрытие толщиной не менее 30 – 40 микрон.

Блокирующее покрытие тонким слоем не более 50 микрон (0,05 мм) может наноситься без подготовки поверхности.

Тонкие блокирующие покрытия лучше наносить в пониженных температурных режимах «1» - «3» для обеспечения их максимальной плотности.

При необходимости нанесения более толстого слоя блокирующего покрытия требуется подготовка такая же, как при добавлении слоя покрытия после его механической обработки.

Для уменьшения операций механической обработки удобно после разделки краёв дефекта и частичного его устранения, то есть формирования пологой впадины без острых углов, продолжить напыление уже материалом для блокирования.



Рис. 9. Разделка, частичное устранение дефекта и блокирование покрытия.

Для нанесения блокирующего покрытия лучше использовать материалы с электродным потенциалом, близким к потенциалу материала детали. На стальных и чугунных деталях следует применять блокирующее покрытие из никеля, напыляемое порошком N3-00-02. На медных, латунных и бронзовых деталях можно нанести покрытие из меди порошком С-01-01, из латуни порошком CZ-70-21 и из бронзы порошком СТ-10-22. При подготовке алюминиевых деталей к анодированию или химическому оксидированию участок с дефектом, устранённым порошком А-20-11, следует блокировать покрытием из алюминия А-30-01 или А-10-01.

Для последующего гальванического осаждения хрома на восстановленные участки детали наносится покрытие меди толщиной 30 – 40 микрон порошком С-01-01 в температурном режиме «1» - «3».