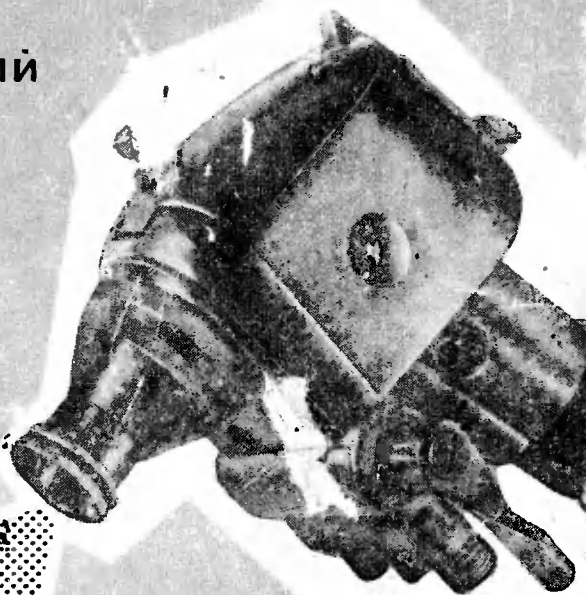


**Н. В. КАТЦ
Е. В. АНТОШИН
Д. Г. ВАДИВАСОВ
Г. Д. ВОЛЬПЕРТ
А. М. КАМИОНСКИЙ**



МЕТАЛЛИЗАЦИЯ РАСПЫЛЕНИЕМ



и некоторые теоретические вопросы сущности процесса современной со-
адционной аппаратуры восстановления. В книге
иционных процессов коррозии
и при других
ичной
йного
дели-
ранее
о-тех-

ПРЕДИСЛОВИЕ

Задача, поставленная Партией и Правительством по выпуску машин, не уступающих лучшим мировым образцам, неразрывно связана с повышением их надежности.

Осуществление этой задачи возможно только на базе новейших достижений науки, техники и передового опыта. Большое значение в решении этой проблемы имеет освоение новой технологии получения покрытий, в частности распыленными материалами, широко применяемой в автотракторной и текстильной промышленности, в сельскохозяйственном машиностроении, на предприятиях пищевой промышленности и в ряде других отраслей народного хозяйства.

В книге изложены новейшие достижения теории и практики покрытий распылением по материалам конференций 1960—1964 гг.

Разделы «Процесс металлизации напылением и свойства покрытий», «Свойства покрытий, нанесенных металлизацией», «Применение металлизации для получения антифрикционных покрытий» и «Применение металлизации для нанесения покрытий на неметаллические материалы» написаны д-ром техн. наук Н. В. Катцем.

Раздел «Аппаратура для нанесения покрытий» написана инж. Е. В. Антошиным.

Раздел «Технологические процессы нанесения покрытий напылением» (за исключением раздела «Обработка напыленных покрытий») и раздел «Металлизация при восстановлении и изготовлении деталей» написаны д-ром техн. наук Д. Г. Вадиковым.

Введение и раздел «Обработка напыленных покрытий» написаны инж. Г. Д. Вольпертом.

Раздел «Применение металлизации для защиты металлов от коррозии» написан инж. Л. М. Каминским.

Николай Васильевич Катц и др.
МЕТАЛЛИЗАЦИЯ НАПЫЛЕНИЕМ

Редактор издательства Л. И. Степанова
Технический редактор Т. Ф. Соколова
Корректор Г. И. Сурова
Переплет художника Ю. И. Соколова

Сдано в производство 31/VIII 1965 г.
Подписано к печати 31/III 1966 г.
Т-05222. Тираж 5700 экз. Печ. л. 12,5.
Бум. л. 6,25. Уч.-изд. л. 12,5.
Темплан 1965 г., № 310.
Формат 60×90/16. Цена 73 коп.
Зак. № 1234.

Издательство «МАШИНОСТРОЕНИЕ»,
Москва, Б-66, 1-й Басманный пер., 3

Ленинградская типография № 14
«Красный печатник» Главполиграфпрома
Комитета по печати
при Совете Министров СССР.
Московский проспект, 91.

ВВЕДЕНИЕ

Восстановление изношенных деталей машин и возвращение им высоких эксплуатационных свойств, постепенно утерянных во время работы вследствие износа, является важнейшей проблемой ремонтной техники и технологии. Прогресс технологии дает возможность использовать различные металлы, сплавы и псевдосплавы, нанося их на поверхность деталей из тех или иных материалов для защиты от износа, коррозии, а также для восстановления размеров, получения антифрикционных изделий и т. п.

Покрyтия могут быть однослойными или многослойными. Последние создают путем постепенного наращивания одного или нескольких слоев различных металлов.

При выборе способа покрытия необходимо учитывать свойства получаемого поверхностного слоя в комплексе со свойствами наращиваемых изделий. Разнообразие условий эксплуатации определяет сложность выбора устойчивого покрытия. К покрытиям часто предъявляют требования сохранения жаростойкости, жаропрочности, коррозионной стойкости, высокой теплопроводности, антифрикционных свойств, изнoсоустойчивости при переменных, контактных, ударных, статических нагрузках или при нескольких видах нагрузок, действующих на изделия одновременно.

Свойства, а часто и состав покрытия — не такие, как у исходного металла, применяемого для наращивания. Так, технически чистый алюминий плавится при температуре 657° С, а покрытие из напыленного алюминия плавится при температуре около 1000° С. Твердость алюминия в исходной проволоке равна *НВ* 21, а после распыления повышается до *НВ* 26—40. Свойства цинка также резко меняются в процессе нанесения покрытий распылением. Цинковая проволока имеет температуру плавления 419° С. В процессе распыления, плавления и нанесения, при которых образуются окислы, температура плавления цинкового покрытия повышается до 600° С. Покрытия из цинка более пористы, лучше прирабатываются и значительно изнoсоустойчивее, чем исходный технически чистый металл, и в отличие от него способны впитывать много смазки. Температура плавления меди 1083° С, а покрытия, полученного из того же материала распылением при помощи

газового аппарата в окислительном пламени, 1200° С и в восстановительном пламени 1100° С. Твердость медной проволоки 50; твердость покрытия, получаемого из нее распылением, повышается до НВ 61—87.

Изменения свойств исходного металла обусловлены появлением окислов, структурных изменений в процессе охлаждения и др.

При нанесении покрытий возникают значительные структурные изменения, которые часто служат причиной пониженной долговечности изделий.

Долговечность деталей с нанесенным покрытием зависит прежде всего от подготовки поверхности под напыление, технологии напыления и свойств напыляемого материала.

При эксплуатации изделий с износостойчивыми покрытиями и при установлении режимов их изготовления появляются новые своеобразные свойства наращиваемых частей машин, также определяющие их долговечность и пригодность к эксплуатации.

В значительной степени на долговечность деталей влияют прочность сечения изделия и покрытия и пористость его.

Пористость и адгезия, а также другие свойства покрытий меняются в значительных пределах, в зависимости от режима их получения.

Пористость — одна из характерных особенностей металлических покрытий, влияющая на эффективность их эксплуатации. Поры образуются в покрытиях многих видов и, в зависимости от назначения изделий с покрытием, могут быть полезными (поверхности скольжения — шейки валов, штоков и т. п.) или, наоборот, требующими дополнительного уплотнения (коррозионностойкие изделия).

Пористость напыленного металла является неизбежной. Однако, изменяя показатели режима напыления, можно регулировать степень пористости покрытий в довольно широких пределах, доведя плотность напыленного металла до 90—98% по отношению к литому. При восстановлении изношенных деталей стремятся к получению высокой пористости, а при нанесении антикоррозионных покрытий, наоборот, к возможно меньшей.

Прочность сцепления (адгезия) всех видов покрытий с материалом наращиваемых изделий определяет возможность их использования для практических целей.

Прочность сцепления основы с покрытиями неодинакова не только у различных покрытий, но колеблется в значительных пределах у одних и тех же соединяемых материалов. Сопротивление сдвигу слоя стального покрытия по отношению к основанию составляет в н/м²:

для электролитически осажденного железа	4 042 · 10 ⁴
для напыленной стали	6 651 · 10 ⁴
для наплавленной стали	25 506 · 10 ⁴

Для наращивания пикеля электролитическим способом прочность связи (в н/м²) составляет при осаждении на:

мягкой стали	33 295 · 10 ⁴	электролитическом пи-	
алюминии	4 826 · 10 ⁴	келе	31 313 · 10 ⁴
никелевой стали	44 086 · 10 ⁴	латуни Л60	26 369 · 10 ⁴
меди	25 408 · 10 ⁴	латуни Л70	32 549 · 10 ⁴

Силы взаимодействия, обуславливающие прочность сцепления основания с покрытиями, зависят от состояния поверхности наращиваемого изделия, его макрорельефа и чистоты.

Связь между основанием и покрытием, наращиваемым наплавкой или заливкой жидким металлом, более прочна, чем при гальванических покрытиях или металлизации напылением. Это объясняется тем, что в местах соединений в жидком металле образуется промежуточный слой, плавно переходящий по составу и свойствам от материала изделия к материалу покрытия.

Нагрев в период эксплуатации или даже при обработке резанием при различии температурных коэффициентов линейного расширения металла основания и покрытия может вызвать ослабление прочности сцепления, растрескивание, частичное или полное отслаивание, если связь между ними недостаточно прочна.

Во время эксплуатации нарушения сцепления основания с покрытием могут возникать также при изгибе, кручении, ударе, высоких местных давлениях и т. д.

Повышения прочности сцепления слоя и основания можно добиться правильным выбором метода и качественным выполнением подготовки поверхности детали, а также установлением оптимальных показателей режима нанесения покрытия.

В тяжелых условиях эксплуатации необходимая повышенная прочность сцепления между изделием и покрытием получается следующим образом. До нанесения покрытия на основание осаждают промежуточный слой, природа и свойства которого могут обеспечить улучшение адгезии. В качестве «подкладочного материала» под покрытие распылением наносят молибден. Применяют также технологические способы, снижающие внутренние напряжения, отрицательно влияющие на прочность сцепления. К таким способам относится подогрев изделий перед металлизацией напылением.

Изделия с покрытиями следует рассматривать как многослойные сочленения, воспринимающие не только внешние нагрузки, но и находящиеся под воздействием внутренних напряжений, часто весьма значительных по величине. В местах соединения изделий с покрытиями даже при отсутствии внешней нагрузки возникают растягивающие (реже сжимающие) остаточные напряжения и изгибающие моменты. Эти усилия вызываются изменениями структуры, неравномерностью распределения температуры при

нагреве и охлаждении, неоднородным тепловым расширением и сжатием обоих сопряженных тел в процессе их усадки, несовершенством материала и формы изделий, недостаточной их пластичностью.

Силовое поле во время осаждения покрытий, а отчасти и после него многократно меняется. Под воздействием силового поля в процессе образования покрытий возникают значительные по величине временные напряжения (например, до образования пористости). При осаждении покрытий эти напряжения могут снижаться (например, после образования пор).

Временные и остаточные напряжения в зависимости от их величины и знака могут оказать положительное или отрицательное воздействие на долговечность наращиваемых изделий. Так, могут формироваться полезные для сроков службы пористые осадки. Эти же растягивающие остаточные напряжения могут снижать циклическую прочность, а иногда вызывать и отслаивание покрытий, трещины и разрушения. Величина внутренних напряжений, создаваемых при осаждении слоя, иногда весьма значительна.

Напряжения, как временные, так и остаточные, в изделиях с напыленными покрытиями возникают под воздействием следующих основных факторов: а) значительной разности температур оседающего металла и наращиваемого изделия; б) условий свободного охлаждения, наличия усадки, создаваемой неодинаковыми изменениями плотности, удельных объемов, коэффициентов линейного расширения и структурными превращениями.

Величина остаточных напряжений в значительной степени определяет свойства и пригодность к эксплуатации изделий с покрытиями. Так, например, получение гладкого или пористого хрома зависит от напряжений в осадках. Циклическая прочность изделий с покрытиями, отслаивание осадков, деформация деталей, трещины и разрушения, сопротивление коррозии (разрывы поверхностного слоя) и многие другие свойства зависят от величины и знака напряжений, возникающих под влиянием технологического процесса осаждения.

Наиболее благоприятные условия для борьбы с разрушающим действием остаточных напряжений возникают у изделий с покрытиями, полученными напылением. Технологический процесс подготовки изделий к металлизации напылением позволяет не только сохранить циклическую прочность, но и повысить ее. При этом следует напомнить, что в самом покрытии создаются неблагоприятные растягивающие напряжения, величина которых в большей степени зависит от режима нанесения металла.

Антифрикционные свойства многих видов покрытий позволяют с успехом применять их для изготовления и ремонта подшипников, уплотнительных деталей, клапанов, направляющих и других деталей.

В качестве антифрикционных покрытий в промышленности применяют электролитическое наращивание хромом и цветными сплавами, наплавку бронзами и баббитами, заливку алюминиевыми, цинковыми и другими сплавами, наращивание распыленными материалами (бронзами, баббитами, псевдосплавами самого различного состава).

Особенно необходимо отметить получение очень тонких слоев антифрикционных покрытий. Такие слои в ряде случаев не требуют последующей механической обработки (так называемые размерные отложения). Как известно, тонкие слои антифрикционных материалов обеспечивают высокую долговечность трущихся деталей, что дает возможность получать малый коэффициент трения при работе покрытия со смазкой даже при переборах в подаче масел; надежную и быструю прирабатываемость; хороший отвод тепла; сопротивление усталости и износу; защиту от коррозии и нагрева; стойкость против заедания; надежную смачиваемость и большую маслосъемность слоя.

Особенно высоки антифрикционные свойства деталей, изготовленных напылением псевдосплавов. Такие подшипники можно применять при удельных давлениях до $1960 \cdot 10^4$ н/м² и скорости скольжения до 7 м/сек. Псевдосплавы изготавливаются из многих материалов: сталь — медь, сталь — латунь, алюминий — свинец, медь — свинец и многих других композиций при незначительном их расходе.

За последние годы проверена возможность практического применения подшипников, состоящих из так называемых обращенных пар (антифрикционные материалы наносятся не на вкладыши, а на цапфы). Такие детали медленнее и равномернее изнашиваются и позволяют работать при больших удельных давлениях и скоростях. Особенно хорошие результаты получают при изготовлении обращенных подшипниковых пар методом металлизации напылением, в то время как применение наплавки и в особенности заливки встречает значительные трудности. Вместо металлов можно напыливать также различные неметаллические антифрикционные материалы.

Технико-экономическая целесообразность применения различных износостойчивых покрытий может быть выявлена только при сравнении эффективности разных способов изготовления и эксплуатации конкретных деталей. При этом должны сравниваться как детали, изготовленные из литого, ковкого, катаного металла, так и имеющие различные покрытия.

Эффективность применения покрытий определяется длительностью сроков службы и межремонтных периодов, а также сложностью ремонта.

При выборе способа нанесения покрытий существенно важным является решение задачи экономии металла. При наращивании расходуется металл непосредственно на получение покрытия

на последующую обработку. Весьма важным является и вопрос о потерях металла при наращивании. Это подтверждается следующими цифрами. При неблагоприятных условиях потери могут достигнуть для электролитического хрома 60% от общерасходуемого, а для покрытий распылением — даже до 80%. Высокие потери, получающиеся при механической обработке электролитического хрома, достигают, как известно, 30—60% от количества металла, остающегося на окончательно обработанной детали.

Выбор способа наращивания для получения изделий с наиболее благоприятной твердостью зависит от формы изделий и условий эксплуатации. Металлизация напылением позволяет наносить различные, как твердые, так и мягкие, осадки на крупных и мелких деталях. Этого можно также достигнуть путем наплавки, однако не всегда. Электролитические покрытия хотя и обеспечивают более равномерную поверхностную твердость, но усложняют нанесение покрытий на крупные детали. Кроме того, последние способы не позволяют наращивать толстые осадки. Твердые, пористые покрытия на крупных деталях можно легче всего получить путем распыления.

Антифрикционные покрытия, создаваемые способом распыления, не требуют применения дефицитных материалов. Они допускают наиболее высокие удельные давления, а напыленные слои допускают наибольшие скорости скольжения.

Размерные детали с антифрикционными покрытиями можно получить только у хромированных подшипников. Антифрикционные слои, равномерные по толщине, не требующие большой механической обработки, получают при напылении покрытий. Металлизацией напылением можно наносить покрытия на детали из алюминия, магния, пластмасс, стекла, дерева, керамики. Наплавкой, заливкой жидким металлом, электролитическими методами можно наносить слои только на металлические детали.

Местные дефекты, раковины, дисбаланс можно исправлять покрытиями всех видов. Однако наиболее эффективным является способ наращивания напылением. Трещины можно ликвидировать наплавкой и напылением, но покрытия, наносимые напылением, не создают опасности коробления наращиваемых изделий. Наплавка, заливка жидким металлом без принятия особых мер всегда может создать деформацию детали.

Из всех перечисленных и разобранных методов получения покрытий наибольшей универсальностью обладает метод металлизации напылением и другие способы, основанные на том же принципе.

Метод металлизации напылением применяется в промышленности и народном хозяйстве для самых разнообразных целей. Наиболее часто этот способ применяется для наращивания изношенных поверхностей деталей различных машин, заделки трещин

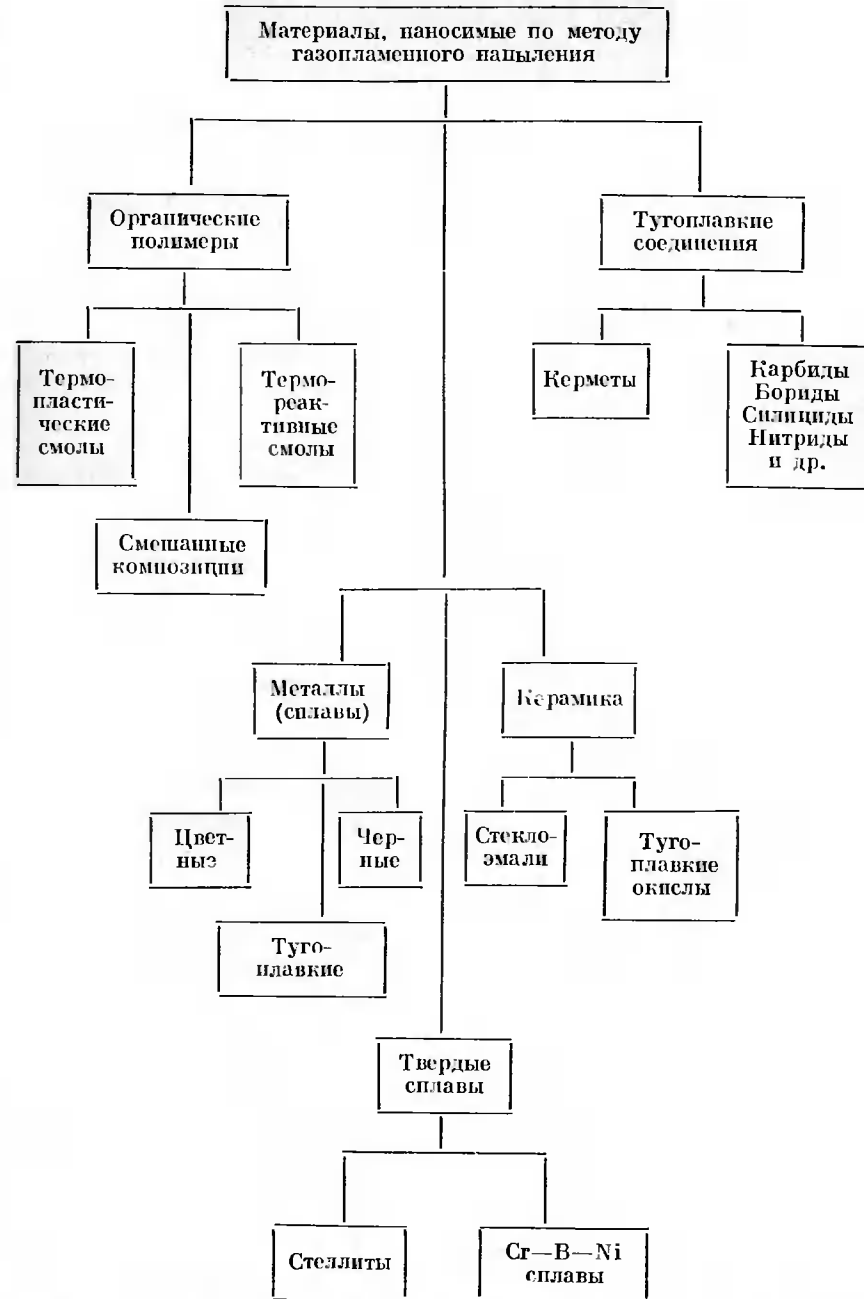


Рис. 1. Материалы, наносимые по методу газопламенного напыления

чугунном, стальном и цветном литье, получения антифрикционных покрытий на подшипниках скольжения, ликвидации механического брака, защиты от коррозии в различных средах, повышения жаростойкости, декоративной отделки различных сооружений и других целей. Металлизацию напылением применяют для нанесения металлических слоев на поверхность различных неметаллических материалов — тканей, гипса, цемента, картона, бумаги, древесины и пр. для придания этим материалам поверхностных свойств металлов, например электропроводности, и других целей.

В результате проведенных в течение последних лет исследований в области металлизации напылением была установлена возможность принципиально сходными с металлизацией способами наносить покрытия не только из металлов, но также из большого числа других неметаллических материалов.

Различие их природы иллюстрируется схемой (рис. 1).

Как металлизация напылением, так и родственные ей новые процессы основаны на расплавлении посредством высокотемпературного нагрева материала покрытия и его напыления с помощью газовой струи. По своему существу все они являются газотермическими процессами и могут быть разделены, в зависимости от способа нагрева напыляемого материала, на процессы газопламенные и газoeлектрические.

Для их осуществления в настоящее время разработано большое число специальных аппаратов.

ПРОЦЕСС МЕТАЛЛИЗАЦИИ НАПЫЛЕНИЕМ И СВОЙСТВА ПОКРЫТИЙ

Процесс металлизации напылением разделяется на три основные последовательные стадии:

- 1) подготовка поверхности;
- 2) нанесение покрытия;
- 3) последующая обработка покрытия.

Поверхность необходимо подготовить потому, что сцепление слоя металла и основания зависит от степени чистоты и шероховатости последнего. Осаждение металлического слоя на поверхности различных объектов происходит вследствие удара и деформирования частиц металла, полученных в результате распыления и имеющих перед ударом значительную скорость. Чтобы выбрать наиболее выгодный режим напыления, необходимо знать физико-химические процессы, происходящие при образовании металлических частиц и нанесении их на поверхность металлизированных деталей.

Несмотря на то что существует несколько методов металлизации, отличающихся друг от друга способом плавления металла, видом применяемой энергии, характером сырья и конструкцией аппаратуры, все они имеют общие принципиальные основы и схему.

Эта схема состоит из следующих элементов:

- 1) подача металла (сырья) к месту плавления;
- 2) нагревание металла до расплавления;
- 3) диспергирование металла;
- 4) придание металлическим частицам значительной скорости;
- 5) удар быстро движущихся частиц о поверхность металлизированной детали, их деформация и закрепление;
- 6) охлаждение закрепившихся частиц и всего покрытия в целом.

Наиболее часто пользуются металлизацией, основанной на применении в качестве сырья металлической проволоки, расплавляемой в электрической дуге или в газовом пламени; реже — металлизацией со способом плавления металла токами высокой частоты. В ближайшем будущем для распыления тугоплавких материалов, по-видимому, получит широкое развитие способ плавления металла в струе плазмы, а также «ракетный» способ металлизации.

В последнее время все большую популярность приобретает способ газопламенного напыления порошковых материалов, который имеет наибольшее значение для нанесения неметаллических материалов.

Безусловный интерес как в техническом, так и в экономическом отношении представляет металлизация с использованием в качестве сырья чушкового металла, расплавляемого в тигле. Этот способ может применяться главным образом для нанесения покрытий из легкоплавких металлов.

ЭЛЕКТРОДУГОВАЯ МЕТАЛЛИЗАЦИЯ

При расплавлении металла с помощью электрической дуги используются два или три электрода в виде проволок из напыляемого металла. Между электродами возбуждается электрическая дуга (рис. 2). По мере плавления концов электродов происходит их продвижение с помощью специального механизма. Жидкий металл сдувается с концов проволок-электродов струей сжатого

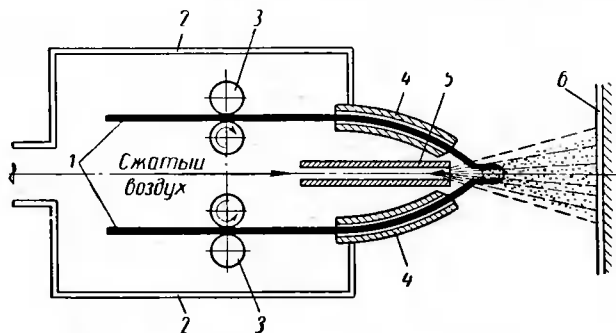


Рис. 2. Схема распылительной головки:

1 — проволоки из распыляемого металла; 2 — провода; 3 — механизм для подачи проволок; 4 — наконечники для проволок; 5 — воздушное сопло; 6 — металлизируемая деталь

воздуха, дробится в мелкие брызги и приобретает под действием потока сжатого воздуха значительную скорость.

Электрическая дуга, плавящая металл, горит в потоке сжатого воздуха (или другого газа), имеющего значительную скорость. Так как дуга постоянно сдувается струей сжатого газа и обрывается, концы проволок-электродов постепенно сближаются и расстояние между ними уменьшается. Наконец, это расстояние становится столь малым, что промежуток между концами электродов оказывается заполненным ионизированным газом и парами металла, которые не успевают удаляться потоком сжатого воздуха. В результате электрическая дуга при условии строгого сочетания скоростей плавления и продвижения проволок горит без каких-ли-

бо перерывов. Это возможно лишь в том случае, если питание аппарата производится постоянным током. На рис. 3 представлена осциллограмма дуги электродугового металлизатора, питаемого постоянным током, при распылении латуни. Как видно, горение дуги происходит без всяких перерывов.

При использовании переменного тока промышленной частоты, у которого изменение напряжения происходит по закону синусоиды, электрическая дуга, возбуждаемая между проволоками

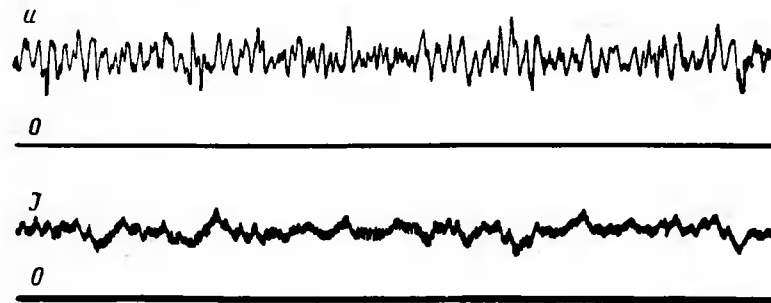


Рис. 3. Осциллограмма дуги электродугового металлизатора, питаемого постоянным током, при распылении латуни

не может гореть непрерывно. Как только напряжение между электродами снизится до некоторого минимума, дуга гаснет и начинается интенсивное охлаждение концов проволоки. Таким образом, дуга горит с постоянными перерывами и пылеобразование происходит циклически. Это хорошо видно на рис. 4, где показана осциллограмма дуги электродугового металлизатора, питаемого переменным током при напылении стали.

Для характеристики равномерности горения дуги по времени может служить коэффициент

$$\mu_1 = \frac{t_1}{t_{ном}},$$

где t_1 — средняя продолжительность горения дуги в течение одного периода тока в сек;

$t_{ном}$ — продолжительность одного периода тока ($\frac{1}{50}$ сек).

Так как после угасания дуги процесс пылеобразования продолжается еще некоторое время из-за распыления жидкого металла, аккумулированного на концах проволок, то для выявления равномерности процесса пылеобразования служит коэффициент

$$\mu_2 = \frac{t_1 + t_2}{t_{ном}}, \quad (1)$$

где t_2 — продолжительность остаточного пылеобразования (после угасания дуги) в сек.

На качество покрытий оказывает очень большое влияние дисперсность распыленного металла.

Средний размер частиц может быть определен по формуле

$$d_{cp} = K \sqrt[3]{\frac{G}{\gamma \mu_2}} \text{ мм},$$

где G — производительность аппарата в кг/сек ;

γ — плотность напыленного металла в кг/м^3 .

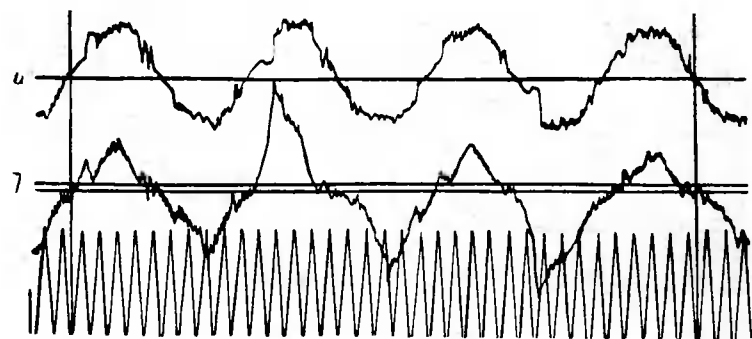


Рис. 4. Осциллограмма дуги электрометаллизатора, питаемого переменным током, при распылении стали

Если применяется переменный ток, интенсивность плавления металла различна в разные моменты времени, и поэтому фактические размеры частиц весьма разнообразны.

Максимальные размеры частиц вычисляются по уравнению

$$d_{\max} = \frac{d_{cp}}{0,637} \text{ мм};$$

размер любой n -й частицы — по уравнению

$$d_n = \frac{K \sin(\omega t_{\kappa})}{0,637} \sqrt[3]{\frac{G}{\gamma \mu_2}} \text{ мм},$$

где ω — угловая частота переменного тока, которая для тока 50 Гц равна $2 \cdot \pi \cdot 50 = 314 \text{ сек}^{-1}$;

t_{κ} — интервал времени между отделением двух частиц в сек ;

K — константа, зависящая от свойств распыливаемого металла (см. ниже).

Распыливаемый металл	K	Распыливаемый металл	K
Цинк	1,64	Латунь	1,66
Алюминий	1,45		
Олово	0,85	Сталь	1,61

При нормальных условиях размер большинства металлических частиц колеблется в основном в пределах от 1 до 100 мкм , хотя

в покрытии встречается небольшое количество частиц меньше одного и больше 100 мкм .

Согласно проведенным экспериментам при давлении сжатого воздуха около $68,67 \cdot 10^4 \text{ н/м}^2$ (7 ат) и производительности 1,8 кг/ч около 77,5% всех частиц имеют размер от 50 до 75 мкм (сталь).

По данным Д. Г. Вадивасова наибольшее число частиц имеет размер около 90 мкм . Следует заметить, что распределение частиц по размерам очень зависит от режима напыления (напряжения на электродах дуги, давления сжатого воздуха и др.) и вида напыливаемого металла.

По данным лаборатории металлизации Московского текстильного института (МТИ) при распылении стали наибольшее число частиц имеет размер от 30 до 50 мкм .

На дисперсность напыленного металла влияет также энергия воздушной струи, которая, в свою очередь, зависит от диаметра воздушного сопла и может быть выражена формулой [9]

$$d_{cp} = K_1 \left(\frac{3,75}{R_0} + 0,29 \right) \sqrt[3]{\frac{G}{\gamma \mu_2}} \text{ мм},$$

где R_0 — радиус воздушного сопла;

K_1 — коэффициент размерности.

А. Ф. Троицкий указывает [21], что размер частиц зависит также от давления сжатого воздуха. На рис. 5 показана зависимость между количеством стальных частиц определенных размеров и давлением сжатого воздуха.

На процесс слоеобразования оказывает существенное влияние состояние частиц в момент удара их о поверхность детали, а состояние частиц зависит от их температуры.

Вычисление температуры частиц в металло-воздушном факеле в функции времени можно сделать по формулам, приводимым в работах А. Ф. Крупина и Г. П. Бойкова [17].

На рис. 6 представлена зависимость изменения температуры стальных частиц от их размера.

Экспериментальные исследования, проведенные А. Ф. Троицким [21], Д. Г. Вадивасовым [6] и Н. В. Катцем [9], также показывают, что температура частиц зависит от их размеров, расстояния от очага плавления и режима распыления.

С увеличением размеров частиц их температура (при прочих равных условиях) растет. Увеличение сечения струи (расхода сжатого воздуха), а также уменьшение напряжения на электродах, производительности и расстояния между соплом аппарата и поверхностью детали приводят к снижению температуры частиц.

Существуют различные точки зрения по вопросу о состоянии частиц в момент их удара о поверхность. Одна группа исследователей считает, что частицы достигают поверхности детали в жидком

виде [6, 13, 15]. Другая группа исследователей убеждена в том, что частицы ударяются о деталь полностью затвердевшими, но при температуре, обеспечивающей высокую пластичность [9, 17].

По-видимому, наиболее правильным является мнение третьей группы исследователей, согласно которому частицы более крупные достигают металлизированной поверхности в жидком или полужидком состоянии, а мелкие частицы — в твердом.

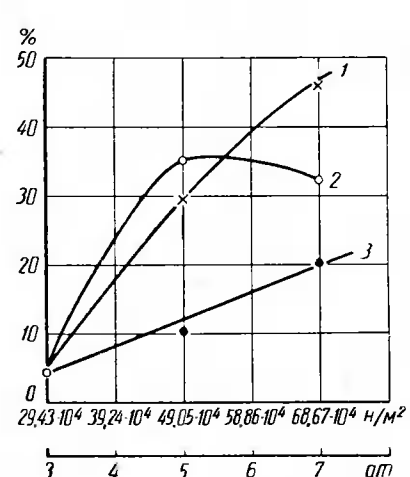


Рис. 5. Зависимость между количеством стальных частиц определенных размеров в % от давления сжатого воздуха:

1 — кривая для частиц диаметром 75 мкм; 2 — то же, для частиц диаметром 50 мкм; 3 — то же, для частиц диаметром 100 мкм

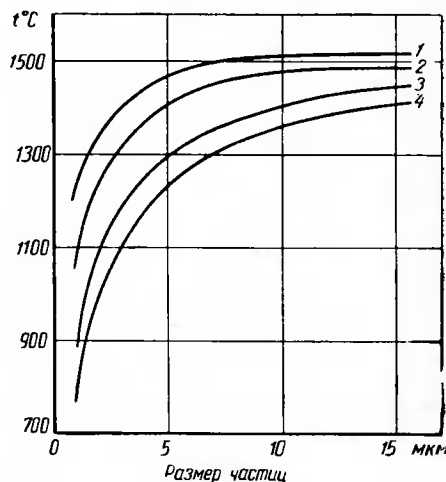


Рис. 6. Зависимость температуры стальных частиц от их размера:

1 — время полета частиц 0,0005 сек; 2 — то же, 0,001 сек; 3 — то же, 0,002 сек; 4 — 0,003 сек

Средняя температура частиц по мере удаления от сопла понижается сначала довольно быстро, а затем снижение температуры замедляется (рис. 7).

Обращает на себя внимание тот факт, что тугоплавкие металлы образуют при распылении частицы, имеющие сравнительно высокую температуру (хотя и ниже точки их затвердевания), а легкоплавкие — низкую (хотя и выше точки их затвердевания). Это объясняется тем, что как только концы проволок легкоплавких металлов нагреваются до точки плавления, немедленно происходит отрыв частиц струей сжатого воздуха и удаление этих частиц из зоны плавления.

По данным Д. Г. Вадивасова [6] температура стальных частиц в непосредственной близости от очага плавления выше точки затвердевания.

Известно, что металлизацию можно наносить покрытия на изделия не только из металлов, стекла, керамики и других негорючих веществ, но и на горючие материалы (древесину, бумагу, ткани и т. п.) без всякой опасности их воспламенения или обугливания.

Это возможно потому, что масса частиц металла покрытия очень мала и, следовательно, количество тепла, принесенного каждой частицей металла, ничтожно. Достигая поверхности металлизированной детали при относительно высокой температуре, частицы ударяются о нее, деформируются и закрепляются на ней. Через самый короткий отрезок времени в данном месте поверхности образуется элемент покрытия, который энергично охлаждается потоком сжатого воздуха. Разумеется, часть тепла, принесенного частицами, поглощается поверхностью, и при этом происходит нагревание ее. Однако температура нагрева поверхности практически невелика; она зависит от температуры частиц перед ударом, их массы, продолжительности металлизации данного места поверхности материала и толщины стенок детали. На рис. 8 показана зависимость температуры поверхности от продолжительности металлизации и расстояния между соплом и поверхностью детали.

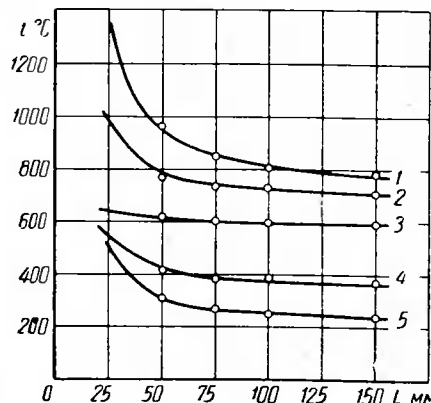


Рис. 7. Зависимость средней температуры частиц от расстояния между соплом аппарата и поверхностью детали:

1 — сталь; 2 — латунь; 3 — алюминий; 4 — цинк; 5 — олово

Как видно из рис. 8, температура поверхности детали всегда значительно ниже критических точек стали. Поэтому никаких фазовых превращений в материале металлизированных деталей не происходит и свойства их не меняются.

Однако металлизация различных горючих и малотеплопроводных материалов (древесины, бумаги, картона, тканей), а также мягких материалов (гипса) непосредственно тугоплавкими металлами невозможна, так как первые частицы этих металлов, оседая на поверхности, оказывают весьма сильное тепловое воздействие и даже могут обугливать ее, хотя и на очень небольшую глубину. Для ликвидации этого явления приходится перед нанесением слоя тугоплавкого металла производить металлизацию горючих материалов какими-нибудь легкоплавкими металлами. Чаще всего для этого применяется цинк. При наличии самого тонкого подслоя из этого металла можно производить металлизацию

горючих материалов практически почти любыми тугоплавкими металлами.

Поскольку частицы ударяются о поверхность, имея достаточно высокую температуру, и обладают большой пластичностью или даже жидкотекучестью, они сильно деформируются и приобретают чешуйчатую форму. По мнению Л. В. Красниченко [13, 15] частицы распыленного металла достигают поверхности детали в жидком состоянии, но покрыты оксидной оболочкой. В момент удара частиц о поверхность детали происходит разрушение этой оболочки и расплескивание жидкого металла с образованием струйчатых форм в виде тонких перемычек, густо переплетающихся друг с другом.

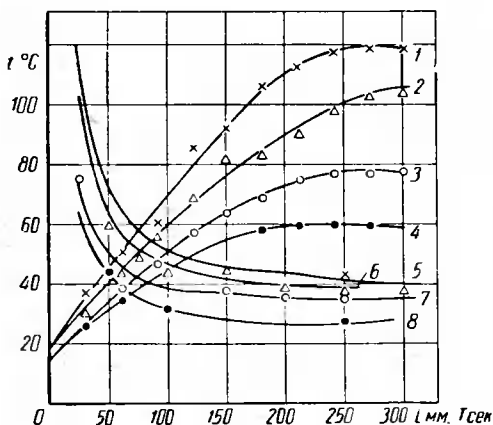


Рис. 8. Зависимость температуры поверхности от продолжительности металлизации (кривые 1—4) и расстояния между соплом и поверхностью детали (кривые 5—8): 1, 5 — сталь; 2, 6 — латунь; 3, 7 — алюминий; 4, 8 — цинк

По-видимому, высказанное проф. Л. В. Красниченко мнение является правильным для тех случаев, когда частицы достигают поверхности детали в жидком виде. В тех же случаях, когда частицы ударяются о поверхность уже отвердевшими, происходит пластическая деформация. Чем выше скорость частиц в момент удара, тем больше кинетическая энергия и тем сильнее происходит их деформация. В результате имеет место большее сближение металла частиц с материалом основания, что создает очаги схватывания, а также более глубокое заклинивание частиц в шероховатостях поверхности. Все это усиливает сцепление покрытия и основания. Следовательно, целесообразнее всего вести металлизацию так, чтобы обеспечить максимальную скорость частиц перед ударом.

Скорость металлических частиц зависит от многих факторов и в первую очередь от скорости воздушного потока.

Структура воздушного факела, свободно вытекающего из круглого сопла в атмосферу, изучалась многими исследователями. Доказано, что на некотором пути осевая скорость воздушной струи является постоянной и равной скорости истечения. Эта центральная часть струи, называемая ядром, окружена пограничным слоем, который вследствие контакта с окружающей атмосферой имеет по мере приближения к периферии постепенно пони-

жающаяся скорость. Диаметр ядра струи по мере удаления от сопла уменьшается и, наконец, на некотором расстоянии S_0 ядро исчезает (рис. 9). На больших расстояниях обнаруживается постепенное понижение осевой скорости («разрыв струи»), происходящее в результате трения об окружающий воздух и присоединения к потоку атмосферного воздуха. Длину ядра струи называют начальным, а остальную часть — основным участками.

В момент отрыва металлической частицы от концов проволоки ее скорость равна нулю. В то же время скорость воздушной струи является максимальной. Затем под действием воздушного потока частица быстро разгоняется и, наконец, ее скорость приближается к скорости воздушной струи. Характер изменения скорости частиц в зависимости от удаления от сопла аппарата в безразмерных координатах представлен на рис. 10.

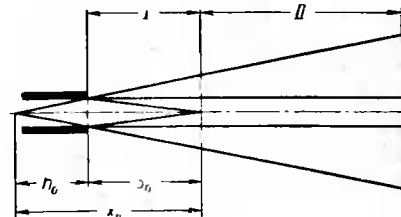


Рис. 9. Схема строения свободной воздушной струи при истечении из сопла в атмосферу:

I — начальный участок; II — основной участок; h_0 — глубина полюса; S_0 — длина начального участка; x_n — расстояние от полюса струи до конца начального участка

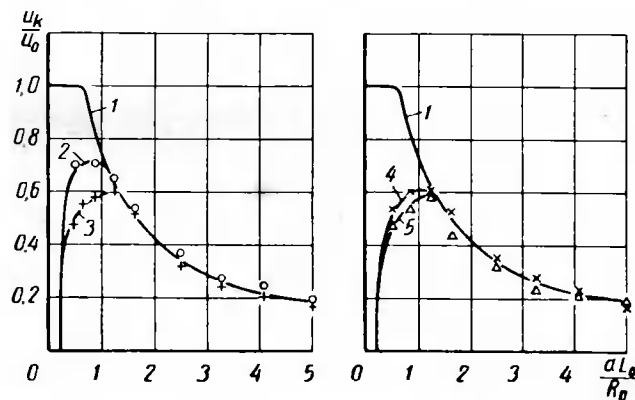


Рис. 10. Изменение скорости частиц по мере их удаления от сопла аппарата в безразмерных координатах:

1 — воздух; 2 — алюминий; 3 — сталь; 4 — цинк; 5 — латунь

Подсчет осевой скорости частиц в пределах начального участка струи можно произвести по уравнению

$$u_k = u_0 - \frac{1}{\frac{C_{x\gamma_0} S \tau}{m} + \frac{1}{u_0}} m / \text{сек},$$

где u_e — скорость воздушного потока в $м/сек$;
 γ_e — плотность воздуха в $кг/м^3$;
 S — площадь поперечного сечения частицы ($S = \frac{\pi d^2}{4}$) в $м^2$;
 τ — время в $сек$;
 C_x — коэффициент лобового сопротивления частицы;
 m — масса частицы в $кг$.
 Учитывая, что

$$m = V \gamma_m \text{ кг,}$$

где $V = \frac{\pi d^3}{6}$ — объем частиц в $м^3$;
 d — диаметр частицы в $м$;
 γ_m — плотность металла в $кг/м^3$,

получим

$$u_k = u_e - \frac{1}{\frac{6C_x \gamma_e \tau}{4d \gamma_m} + \frac{1}{u_e}} \text{ м/сек.} \quad (2)$$

Так как γ_e зависит от давления перед соплом, то и u_k также зависит от него.

Когда металлическая частица пройдет начальный участок и выйдет за его пределы, осевая скорость ее может быть подсчитана по уравнению

$$\frac{u_k}{u_e} = \frac{0,96}{\frac{aL_0}{R_0} + 0,29}. \quad (3)$$

Средняя скорость по сечению факела определяется по уравнению

$$\frac{u_{ср}}{u_e} = \frac{0,192}{\frac{aL_0}{R_0} + 0,29},$$

где a — коэффициент турбулентности воздушной струи;
 L_0 — расстояние от среза воздушного сопла до данной точки струи в $м$;
 R_0 — радиус воздушного сопла в $м$.

Величина коэффициента турбулентности струи a существенно влияет на затухание скорости по мере удаления от сопла и зависит от диаметра и длины воздушного сопла.

Проволоки-электроды, находящиеся в потоке сжатого воздуха, вызывают дополнительную турбулизацию струи и повышение степени затухания скорости воздушного потока.

Влияние диаметра проволок на коэффициент турбулентности видно из уравнения

$$a = \left(0,4 \frac{d_{np}}{D_0}\right)^{2,56} + a_1,$$

где d_{np} — диаметр проволок в $м$;
 D_0 — диаметр воздушного сопла в $м$;
 a_1 — коэффициент турбулентности для данного сопла в случае отсутствия проволок-электродов. Для сопел диаметром $3 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ $a_1 = 0,057$ и для сопел диаметром $6 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ $a_1 = 0,056$.

Легко видеть, что с аэродинамической точки зрения целесообразнее всего применять возможно более тонкие проволоки, так как при этом осевая (и средняя) скорости воздушного потока убывают по мере удаления от сопла менее интенсивно и, следовательно, не требуется очень строгого выдерживания установленного расстояния между соплом аппарата и поверхностью детали.

Для получения наивысшей энергии удара частиц о поверхность металлизируемой детали необходимо располагать аппарат от поверхности на расстоянии 75—100 мм.

По данным теоретических исследований Д. Г. Вадивасова [6] фактическая скорость металлических частиц после их полного разгона воздушной струей становится более высокой, чем скорость несущей струи. Однако, как показывают эксперименты, проведенные в Московском текстильном институте, разность скоростей воздушной струи и металлических частиц в пределах обычно применяемых при металлизации расстояний между соплом и поверхностью детали очень невелика. Поэтому для упрощения целесообразно принимать эти скорости равными друг другу.

При набегании металло-воздушной струи на поверхность металлизируемой детали поля скоростей несколько искажаются и уменьшаются скорости частиц. Для частиц, размер которых составляет 25 мм, это уменьшение составляет всего около 4% (чем меньше размеры частиц, тем больше падение скорости). Цилиндрические детали малого размера искажают поле скоростей в очень малой степени.

Для получения максимальной деформации частиц в момент удара необходимо стремиться к тому, чтобы частицы падали по возможности нормально к поверхности детали. Однако, так как поверхность подготовленной к металлизации детали обычно бывает весьма шероховатой, а выступы и впадины на ней имеют размеры, большие чем размер частиц, точное соблюдение нормального направления движения частиц не является обязательным. Практически в зависимости от использованного метода подготовки поверхности угол между осью струи и поверхностью детали может быть взят в пределах от 65 до 90°.

При металлизации цилиндрических деталей, в особенности малых диаметров, частицы падают на поверхность под различными углами (рис. 14): чем больше угол раскрытия металло-воздушной струи, тем большее число частиц падает на поверхность детали

под острыми углами атаки и тем меньше степень деформации частиц.

При распылении металла электродуговым двухпроводочным металлizationsонным аппаратом внутри металло-воздушного факела

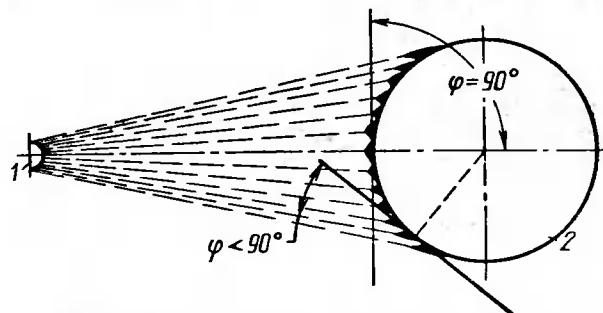


Рис. 11. Схема падения металлических частиц на поверхность у цилиндрических деталей:

1 — сопло аппарата; 2 — наращиваемая деталь

возникают два сильно насыщенных металлическими частицами потока, расположенных под некоторым углом друг к другу. Эти потоки получаются в результате воздействия проволок-электро-



Рис. 12. Фотография дуги при металлизации стали (вид сбоку)

дов, перерезающих воздушный поток и создающих дополнительную его турбулизацию. На рис. 12 представлена фотография дуги при металлизации стали (вид сбоку). Совершенно ясно видно, что электрическая дуга разделяется на два «язычка», от которых и происходит отделение потоков частиц. Вследствие такого строе-

ния металло-воздушной струи на поверхности получается покрытие неравномерной толщины.

Учитывая сложный характер структуры металло-воздушного факела, следует рекомендовать устанавливать электродуговой металлizationsонный аппарат таким образом, чтобы ось детали располагалась в плоскости максимумов насыщения. В этом случае наибольшее количество металлических частиц будет падать на поверхность детали под углом атаки, близким к прямому, и, следовательно, покрытие получится более высокого качества.

При питании электродуговых аппаратов переменным током горение электрической дуги, а следовательно, и процесс пылеобразования протекают с периодическими перерывами, происходящими вследствие падения напряжения (см. рис. 4). В результате при быстром относительном перемещении аппарата и металлизированной поверхности на ней получается ряд металлизированных пятен, между которыми имеются не покрытые металлом промежутки (рис. 13). Для получения непрерывного покрытия необходимо стремиться к слиянию отдельных пятен в одну сплошную полосу.

Обозначая угол раскрытия (угол при вершине) металловоздушной струи через β и расстояние от сопла аппарата до поверхности детали через L_c , найдем, что длина получающегося пятна будет

$$l_1 = 2L_c \operatorname{tg} \frac{\beta}{2} \text{ м.}$$

Так как аппарат непрерывно перемещается относительно детали, то фактическая длина металлизированного пятна, полученного на ее поверхности за один период пылеобразования,

$$l_{\phi} = l_2 + 2L_c \operatorname{tg} \frac{\beta}{2} \text{ м,} \quad (4)$$

где l_2 — путь, пройденный аппаратом за время одного периода пылеобразования, в м.

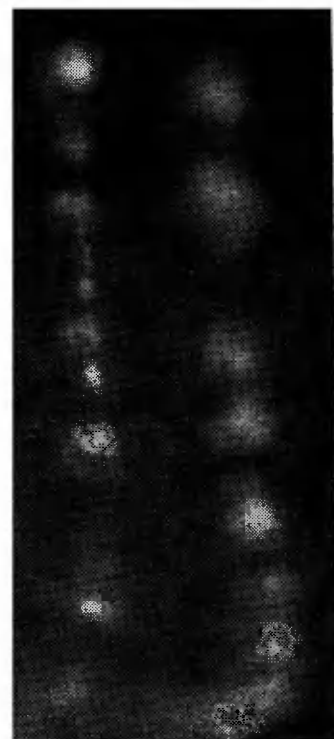


Рис. 13. Вид покрытия, получаемого при быстром перемещении аппарата относительно металлизированной поверхности:

слева — при расстоянии от сопла до поверхности 30 мм, справа — 100 мм

Величина l_2 определяется по формуле

$$l_2 = v \mu_2 \cdot 0,01 \text{ м},$$

где v — скорость движения аппарата в м/сек.

Пусть, пройденный аппаратом за время 0,01 сек (продолжительность одного полупериода тока),

$$l_3 = v \cdot 0,01 \text{ м}.$$

Для того чтобы края металлизированных пятен сомкнулись между собой, необходимо выполнить условие

$$l_3 - l_\phi = 0,01 v (1 - \mu_2) - 2L_c \operatorname{tg} \frac{\beta}{2} = 0. \quad (5)$$

Так как толщина напыленного металла в различных точках пятна неодинакова (около краев она тоньше, а посередине — толще),

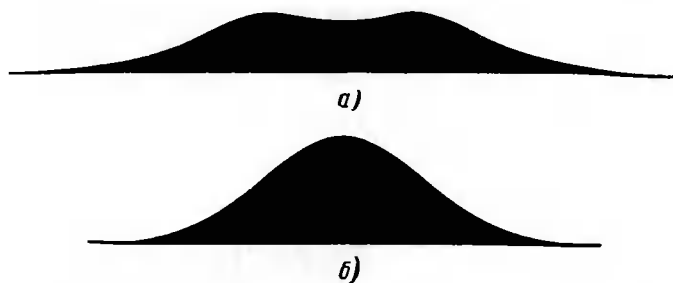


Рис. 14. Профиль полосы напыленного металла при движении аппарата вдоль металлизированной поверхности:

а — в направлении, перпендикулярном к плоскости максимумов насыщения; б — в направлении плоскости максимумов насыщения

то для достижения достаточной равномерности целесообразно вести работу так, чтобы пятна перекрывали друг друга примерно на одну треть. В этом случае необходимо выполнить условие

$$0,01 v (1 - \mu_2) - 2L_c \operatorname{tg} \frac{\beta}{2} = 0,666 L_c \operatorname{tg} \frac{\beta}{2},$$

или

$$0,01 v (1 - \mu_2) = 1,334 L_c \operatorname{tg} \frac{\beta}{2}. \quad (6)$$

Из анализа уравнений (5) и (6) легко заключить, что равномерность толщины слоя металла на металлизированной детали будет тем больше, чем меньше скорость движения аппарата и чем больше коэффициент равномерности пылеобразования μ_2 , угол раскрытия факела β и расстояние между соплом аппарата и поверхностью детали L_c .

Питание электродугового аппарата постоянным током создает значительно более благоприятные условия для получения покрытий, равномерных по толщине. Из-за относительного постоянства напряжения на электродах дуги процесс пылеобразования происходит практически непрерывно [9]. Это позволяет получить более равномерные размеры частиц и при движении аппарата — непрерывную полосу.

Для получения на детали по возможности равномерного по толщине покрытия необходимо перемещать аппарат в направлении, перпендикулярном к плоскости расположения максимумов насыщения. В этом случае получается полоса напыленного металла, имеющая поперечное сечение, показанное на рис. 14, а.

Если перемещать аппарат относительно поверхности детали в направлении плоскости расположения максимумов насыщения, то профиль получающейся полосы напыленного металла будет менее благоприятным (рис. 14, б).

ВЫСОКОЧАСТОТНАЯ МЕТАЛЛИЗАЦИЯ

Многообещающий метод высокочастотной электрометаллизации изучен в гораздо меньшей степени, чем электродуговой. Установлено, что при плавлении металла токами высокой частоты и распылении расплавленного металла достигается большая степень дисперсности и связанное с этим высокое качество напыленных покрытий. Такой эффект получается в результате удачной конструкции распылительной головки и возможности производить плавление металла на небольшую глубину. Элементарные частицы получаются непрерывным сдвигом с поверхности к концу прутка концентричных гребешков расплавленного металла.

Как известно, индукционный нагрев металлов токами высокой частоты позволяет получить нагревание на глубину малых долей миллиметра. Глубина проникновения тока тем меньше, чем больше частота тока, электропроводность металла и магнитная проницаемость его. Наивысшая плотность тока получается на поверхности проводника.

Считая, что высокочастотный ток протекает в проводнике только до «эквивалентной» глубины проникновения и распределен в этом слое равномерно, можно определить эквивалентную глубину проникновения по формуле

$$Z = 5030 \sqrt{\frac{\rho}{\mu f}} \text{ см},$$

где ρ — удельное сопротивление распыляемого металла;
 μ — магнитная проницаемость;
 f — частота тока.

Глубина проникновения зависит также от температуры нагреваемого металла (рис. 15).

Чтобы получить достаточно высокий коэффициент полезного действия индуктора высокочастотного металлizationного аппарата, следует подбирать частоту тока в соответствии с диаметром распыливаемой проволоки (рис. 16).

Наиболее подходит для использования в высокочастотном аппарате проволока диаметром 5—6 мм. Согласно рис. 16 для плавления такой проволоки следует применять ток с частотой около 70 000 гц. При более тонкой проволоке потребуется ток еще более высокой частоты (например, при диаметре проволоки 3 мм

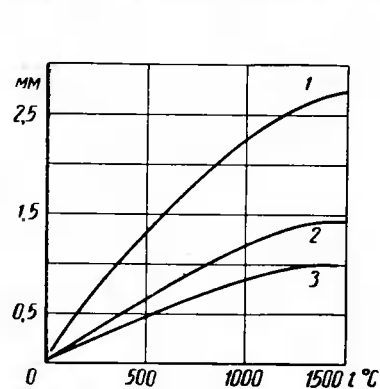


Рис. 15. Зависимость глубины проникновения высокочастотного тока от температуры нагреваемого металла при частотах:

1 — 70; 2 — 250; 3 — 500 кгц

200 000 гц). Учитывая сказанное, можно рекомендовать для питания высокочастотных металлizationных аппаратов лампы генераторы ТВЧ (например, АЧПЗ-30 и ЛЗ-37).

По данным А. П. Власова и К. П. Савинкова [7], скорость частиц при высокочастотной металлization зависит от расстояния между соплом и поверхностью детали. Как и при других видах металлization, она сначала увеличивается до известного максимума, а потом по мере удаления от сопла опять падает (табл. 1).

С увеличением давления сжатого воздуха с $19,62 \cdot 10^4$ (2 ат) до $49,05 \cdot 10^4$ н/м² (5 ат) средняя скорость частиц на расстоянии около 0,1 м увеличивается с 65 до 130 м/сек. Однако применять слишком высокие давления сжатого воздуха не рекомендуется, так как получается повышенное содержание окислов в покрытии и снижаются его механические свойства.

Температура остальных частиц на расстоянии до 0,1 м и при давлении сжатого воздуха $29,43 \cdot 10^4$ (3 ат) — $39,24 \cdot 10^4$ (4 ат) н/м² колеблется в пределах 1200—1400° С. По мере удаления

от сопла температура частиц понижается, но менее интенсивно, чем при электродуговой металлization.

Дисперсность распыленного металла при высокочастотной металлization зависит от давления сжатого воздуха. По данным А. П. Власова и К. П. Савинкова при давлении сжатого воздуха около $19,62 \cdot 10^4$ н/м² (2 ат) частицы имеют размер около 100—120 мкм, а при $39,24 \cdot 10^4$ н/м² (4 ат) 60—90 мкм и при $49,05 \cdot 10^4$ н/м² (5 ат) 20—30 мкм.

Таблица 1

Зависимость средней скорости частиц (в м/сек) от расстояния между соплом и поверхностью детали при разных значениях давления сжатого воздуха

Расстояние между соплом и поверхностью детали в м	Давление сжатого воздуха в н/м ²		
	$19,62 \cdot 10^4$	$29,43 \cdot 10^4$	$39,24 \cdot 10^4$
$50 \cdot 10^{-3}$	52	77	101
$75 \cdot 10^{-3}$	—	82	—
$100 \cdot 10^{-3}$	61	95	108
$125 \cdot 10^{-3}$	—	88	—
$150 \cdot 10^{-3}$	57	88	101
$175 \cdot 10^{-3}$	—	79	—
$200 \cdot 10^{-3}$	53	78	94

Примечание. Значения скорости даны с округлением до целых чисел.

Характер сцепления слоя и основания при высокочастотной металлization такой же, что и при других видах металлization.

Вследствие большой кинетической энергии частиц и их высокой пластичности в момент удара о поверхность металлизируемой детали пылинки деформируются и вдавливаются в неровности поверхности. Происходит заклинивание частиц, причем в отдельных участках возможно молекулярное схватывание. Часть металлических частиц может достигать поверхности детали в жидком или полужидком состоянии. Регулируя должным образом режим работы аппарата, можно повысить температуру частиц, и тогда можно производить металлization недеформируемыми сплавами (например, чугуном).

ГАЗОВАЯ МЕТАЛЛИЗАЦИЯ

Если электродуговой процесс распыления металлов, возникший и получивший распространение значительно позже, чем газовый, в настоящее время хорошо изучен, то газовый способ металлization пока исследован еще недостаточно. Опубликованные работы в области газовой металлization освещают

преимущественно технологические процессы и почти не затрагивают принципиальных моментов.

Газовый метод металлизации отличается от электродугового способом плавления проволоки, являющейся сырьем. При газовой металлизации проволока из расплавляемого металла подается механизмом аппарата вдоль оси газового пламени (рис. 17), где и плавится. Концентрично газовому пламени располагается воздушный поток, окружающий пламя со всех сторон и изолирующий его от окружающей среды.

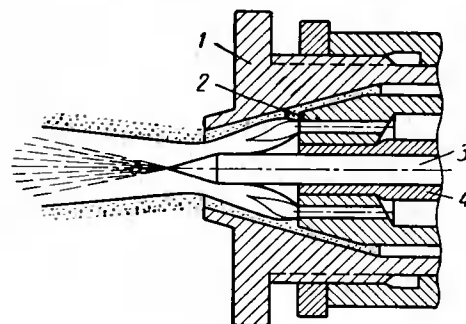


Рис. 17. Схема распылительной головки газового металлизатора:

1 — воздушное сопло; 2 — газовое сопло; 3 — расплавляемая проволока; 4 — сопло для подачи проволоки

частицы налипают на нее и образуют покрытие.

Отделение расплавленного металла от конца плавящейся проволоки происходит в результате трения между поверхностью расплавленного металла и газовым потоком. «Сдувание» частиц жидкого металла может быть только в том случае, если силы трения будут больше сил поверхностного натяжения расплавленного металла.

По некоторым данным процесс распыления металла газовым аппаратом является пульсирующим, что, однако, не находит себе полного подтверждения.

Чрезвычайно интересные работы М. Е. Морозова [19] проливают новый свет на процессы, происходящие в распылительной головке газового аппарата. Согласно исследованиям при газовой металлизации нагрев, расплавление и распыление металла производятся продуктами сгорания горючей смеси. Внутри камеры, где происходит процесс горения, сжатый воздух, окружая со всех сторон газовое пламя, создает повышенное давление в нем. В результате процесс горения интенсифицируется и истечение газового потока происходит со звуковыми скоростями.

В распылительной головке два независимых потока расположены концентрически. Внутри находится струя продуктов сго-

рания, а снаружи — воздушная струя. Критические скорости истечения этих двух потоков различны.

На границе потоков происходит частичное их перемешивание, протекающее тем энергичнее, чем больше расход сжатого воздуха. В результате кислород воздуха может принимать участие в реакции горения, что возможно только в том случае, когда горючая смесь содержит недостаточное количество кислорода, т. е. когда состав ее меньше стехиометрического. Участие кислорода воздуха в реакции горения тем более интенсивно, чем энергичнее протекает перемешивание струй. Несомненно, что холодный сжатый воздух производит некоторое охлаждение пламени.

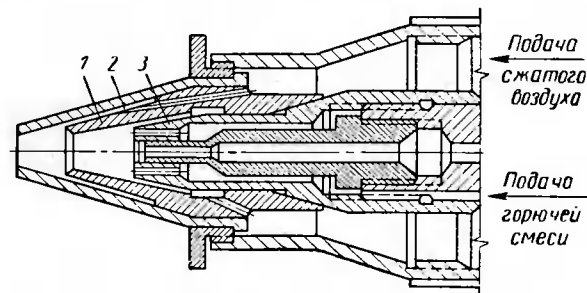


Рис. 18. Распылительная головка газового металлизационного аппарата с дополнительным обжимным соплом:

1 — дополнительное обжимное сопло; 2 — воздушное сопло; 3 — газовый мунштук

Наиболее высокая температура пламени (около 3180 °С) получается при отношении объемных расходов кислорода и ацетилена, равном 1,5.

С увеличением давления, при котором происходит процесс горения, повышается температура пламени.

М. Е. Морозов рекомендует для определения суммарного коэффициента теплообмена применять формулу

$$\alpha_{нл} = \frac{\gamma_{mcr} \ln \frac{t_{нл}}{t_{нл} - 0.83 t}}{2\tau} \text{ дж}/(\text{кг} \cdot \text{град} \cdot \text{сек}),$$

где γ_m — плотность нагреваемого металла в $\text{кг}/\text{м}^3$;

c — удельная теплоемкость нагреваемого металла в $\text{дж}/(\text{кг} \cdot \text{град})$;

r — радиус проволоки в м ;

$t_{нл}$ — температура пламени в °К;

t — температура нагрева проволоки за время τ сек в град.

Повышение эффективности нагрева проволоки пламенем с увеличением содержания кислорода в горючей смеси происходит главным образом из-за изменения условий теплообмена, т. е. из-за роста суммарного коэффициента теплообмена $\alpha_{пл}$.

Поскольку интенсифицирование процесса теплообмена возможно увеличением коэффициента теплообмена и зоны воздействия пламени, М. Е. Морозовым была предложена новая конструкция распылительной головки газового металлизационного аппарата (рис. 18), отличающаяся дополнительным (обжимным) воздушным соплом, который позволяет растянуть участок газового пламени с высокими скоростями и увеличить по длине зону контакта с поверхностью проволоки. Этим достигается повышение производительности аппарата.

Зависимость оптимального расхода ацетилена от диаметра проволоки выражается уравнением

$$Q_a = 200 d_{пр}.$$

Следует иметь в виду, что характер пламени оказывает некоторое влияние на содержание окислов в покрытии, что приводит к изменению их свойств.

ТИГЕЛЬНАЯ МЕТАЛЛИЗАЦИЯ

Тигельная металлизация существенно отличается от электродуговой или газовой по методу плавления и распыления металла. В данном случае места плавления и распыления металла разде-

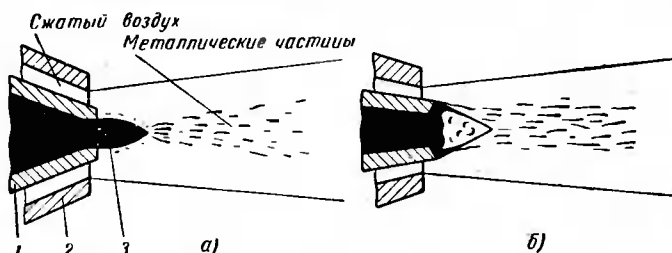


Рис. 19. Схема пылеобразования при тигельной металлизации:

а — при наличии штабика; б — при повышенной турбулентности потока; 1 — сопло для металла; 2 — воздушное сопло; 3 — штабик

лены. Металл плавится в тигле и в расплавленном состоянии подается в форсунку. Распыление осуществляется горячим сжатым воздухом или другим газом.

Вытекая из центрального канала, расплавленный металл попадает в зону действия концентрической воздушной струи (рис. 19). Под ее воздействием жидкий металл «сдувается» с

поверхности струи, вытекающей из центрального канала. Сорванные потоком сжатого воздуха тончайшие «слои» расплавленного металла разрываются им на брызги тем более мелкие, чем тоньше эти «слои». В свою очередь, толщина «слоев» зависит от жидкотекучести металла в момент распыления.

Из сопла для металла (рис. 19, а) постоянно выступает «штабик», длина которого зависит от конструкции сопла. При повышенной турбулентности струи «штабик» расплавленного металла может вообще исчезнуть, так как в центральной части кольцевого воздушного потока возможен подсос расплавленного металла по направлению от центра к периферии (рис. 19, б). При таком процессе распыления получаются частицы, имеющие разнообразные размеры. Более качественные результаты получаются при наличии «штабика».

Для стимулирования его появления целесообразно видоизменить конструкцию сопла для металла так, как указано на рис. 20, а и б. Различие между старой (рис. 20, а) и новой (рис. 20, б) конструкциями металлического сопла заключается в предельно малой толщине стенки. В этом случае достигается максимальное сближение металлической и воздушной струй в месте выхода их из сопла и облегчается процесс распыления, что позволяет уменьшить удельный расход сжатого воздуха.

Так как сжатый воздух, производящий распыление, находится внутри форсунки в непосредственной близости от расплавленного металла и отделяется от него тонкой стенкой, то приходится его подогревать, чтобы избежать замораживания металла в форсунке. В табл. 2 указаны температуры сжатого воздуха, необходимые при распылении различных металлов по данным лаборатории металлизации МТИ.

Поскольку сжатый воздух имеет температуру более высокую, чем температура плавления металла, частицы металла в момент достижения поверхности металлизированной детали находятся в жидком состоянии. Во время полета частицы покрываются снаружи тонким слоем окислов, а так как у многих металлов температура их плавления выше, чем температура плавления самого металла, то каждая частица представляет собой как бы шарик жидкого металла, находящийся в твердой скорлупке из окислов. При ударе о поверхность детали эта скорлупка ломается и находящийся внутри жидкий металл расплескивается по поверхности.

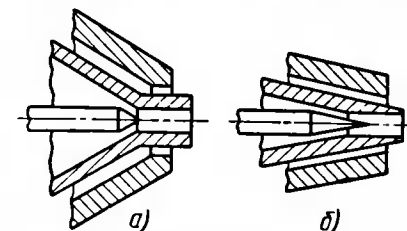


Рис. 20. Распылительная головка тигельного металлизатора:

а — обычной конструкции; б — улучшенной конструкции

**Зависимость температур сжатого воздуха и металла в тигле
от температуры плавления металла**

Распыливаемый металл	Температура в °C			Распыливаемый металл	Температура в °C		
	плавления металла	металла в тигле	сжатого воздуха		плавления металла	металла в тигле	сжатого воздуха
Цинк	419,4	445	460	Легкоплавкий сплав	100	120	130
Свинец	327,5	382	400	То же	92	112	120
Олово	231,9	265	275	»	82	102	115
Легкоплавкий сплав	152	172	180	Сплав Вуда	68	90	95

Средняя температура частиц металла в момент удара о поверхность, экспериментально определенная в лаборатории металлзации МТИ, приведена ниже (в °C):

Цинк	432
Свинец	375
Олово	255
Легкоплавкие металлы с температурой плавления (в °C):	
152	162
100	114
92	110
82	100
Сплав Вуда	82

Распыление производилось при следующих условиях: расстояние от сопла до поверхности 100 мм, температуру металла

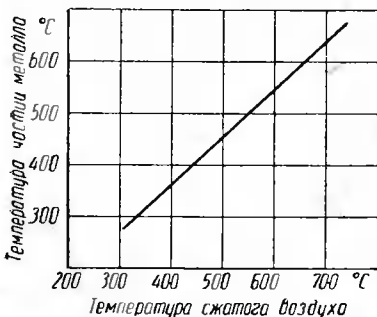


Рис. 21. Зависимость средней температуры частиц металла от температуры сжатого воздуха

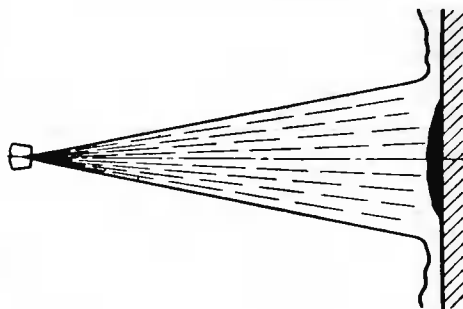


Рис. 22. Схематический разрез металлвоздушного факела и сечение покрытия при тигельной металлзации

в тигле и сжатого воздуха см. в табл. 2, давление сжатого воздуха $39,24 \cdot 10^4$ н/м².

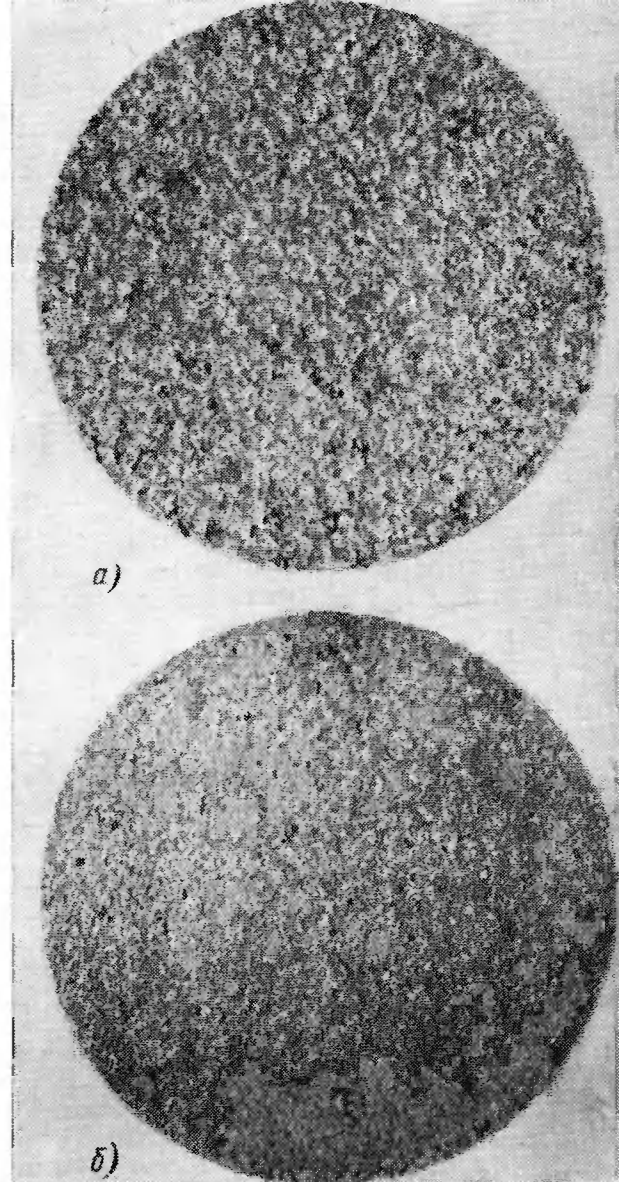


Рис. 23. Макрофотография покрытий при металлзации:
а — электродуговой; б — тигельной

Зависимость между температурой распыливаемого воздуха и частиц металла (на расстоянии 100 мм от сопла) выражается прямой линией (рис. 21).

Эту же зависимость можно представить эмпирическим уравнением

$$T_m = 0,92 \cdot T_a, \quad (7)$$

где T_m — температура частиц в град;

T_a — температура сжатого воздуха в град.

Нагрев металлизируемой поверхности происходит не только за счет тепла, принесенного частицами металла, но и вследствие воздействия горячего распыливаемого воздуха.

Следует иметь в виду, что из-за расширения воздуха при истечении из сопла аппарата в атмосферу температура воздуха несколько понижается и это вызывает некоторое уменьшение температуры частиц.

Структура металло-воздушного факела, создаваемого тигельным аппаратом, более простая, чем у электродугового аппарата. Струя насыщена металлом более равномерно, и поэтому покрытие получается также более равномерным по толщине.

Угол раскрытия металло-воздушного факела колеблется в пределах от $13,75 \cdot 10^{-2}$ до $35 \cdot 10^{-2}$ рад в зависимости от конструкции сопла и от его регулировки. При необходимости имеется возможность изменить форму струи, делая ее то круглой, то плоской, для чего на аппарат устанавливаются воздушные сопла с разными формами воздушных каналов.

На рис. 22 представлен схематический разрез металло-воздушного факела и сечение покрытия. Сопоставляя рис. 14 и 22, легко обнаружить, что покрытие, создаваемое тигельным аппаратом, более равномерно по толщине, чем при электродуговой металллизации.

Обычно считается, что наиболее тугоплавким из всех металлов, пригодных для распыления тигельным аппаратом, является цинк. Этот металл при распылении имеет склонность к образованию весьма крупных кристаллов, закупоривающих сопло аппарата и трудно выплавляемых. Для предотвращения этого явления можно рекомендовать предложенный Е. М. Линником способ, заключающийся в добавке к расплавленному цинку нескольких процентов алюминия.

Дисперсность металла, распыленного тигельным аппаратом, значительно выше, чем при других видах металллизации, что объясняется большой жидкотекучестью распыливаемого металла, а также благоприятными аэродинамическими условиями распыления. На рис. 23, а, б представлены макрофотографии покрытий, полученных путем электродуговой и тигельной металллизации. Легко обнаружить, что последние отличаются большей мелкозернистостью, чем первые.

СВОЙСТВА ПОКРЫТИЙ, НАНЕСЕННЫХ МЕТАЛЛИЗАЦИЕЙ

СТРОЕНИЕ НАПЫЛЕННОГО МЕТАЛЛА

Поскольку в процессе металллизации имеют место плавление и диспергирование металла, а образование покрытия происходит путем следующих друг за другом ударов частиц с сильным их деформированием, строение напыленных покрытий является весьма своеобразным. Летящие в металло-воздушной струе частицы металла в момент удара их о поверхность распыливаются и их размеры в направлении, перпендикулярном к направлению полета, сильно увеличиваются, а в направлении, совпадающем с направлением полета, уменьшаются. В результате покрытие складывается как бы из чешуек, перекрывающих друг друга (рис. 24). Частицы располагаются в зависимости от микропрофиля металлизируемой поверхности.



Рис. 24. Схема строения покрытия

По данным лаборатории металллизации МТИ отношение средних размеров частиц в плоскости, перпендикулярной к направлению полета пылинок, и в плоскости, параллельной их полету, т. е. степень деформации зависит (при прочих равных условиях) от распыливаемого металла (табл. 3) и способа металллизации.

Таблица 3

Степень деформации частиц различных металлов

Распыливаемый металл	Металлизация		
	электродуговая	тигельная	высоко-частотная
Алюминий	10,8	—	—
Латунь	14,0	—	—
Сталь	14,2	—	20,0
Цинк	15,5	29,8	—
Олово	19,8	21,0	—

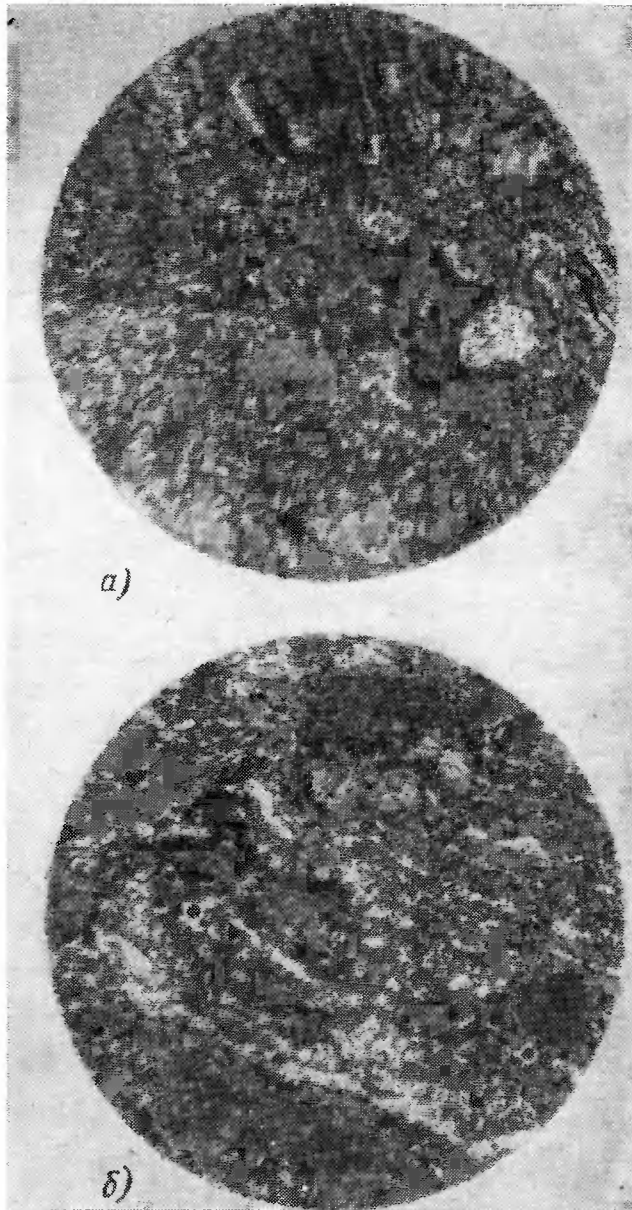


Рис. 25. Структура стального покрытия способами:
а — электродуговым; б — высокочастотным

На рис. 25 представлена микрофотография поперечного разреза типичного стального покрытия, полученного электродуговым и высокочастотным покрытиями.

Метод высокочастотной металлизации обеспечивает меньшее окисление частиц во время распыления, чем другие методы напыления.

По данным А. П. Власова угар углерода при распылении стали 45 высокочастотным способом в 4—6 раз меньше, чем при электродуговом. При распылении чугуна угар углерода составляет 3—5%.

Микроструктурный анализ показывает, что окисные пленки располагаются между частицами распыленного металла, причем при высокочастотной металлизации толщина окисных пленок значительно меньше, чем при электродуговой.

Интересно, что при электродуговой металлизации изменение режимов существенно влияет на состав напыленного металла, в то время как при высокочастотной металлизации такой зависимости практически почти не обнаруживается.

На рис. 26 представлена зависимость содержания окислов в напыленном стальном слое по данным проф. Л. В. Красниченко [13] от расстояния между соплом аппарата и поверхностью детали. С увеличением расстояния от зоны плавления до металлизированной поверхности окисление металла увеличивается. Металлизация производилась электродуговым аппаратом.

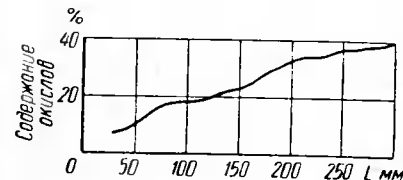


Рис. 26. Зависимость содержания окислов в напыленном стальном слое от расстояния между соплом аппарата и поверхностью детали

ОБРАЗОВАНИЕ ПОКРЫТИЙ НА ПОВЕРХНОСТИ ДЕТАЛИ И ПРОЧНОСТЬ ИХ СЦЕПЛЕНИЯ С ОСНОВАНИЕМ

Частицы распыленного металла, достигая поверхности металлизированной детали, ударяются о нее и, сплющиваясь, вдавливаются в неровности поверхности. В результате металл частиц заклинивается в углубления, создаваемые в процессе предварительной подготовки поверхности, и механически закрепляется на ней. Благодаря значительной кинетической энергии частицы они, деформируясь, сближаются с поверхностью детали, вследствие чего во многих местах возникает молекулярное схватывание. Это способствует увеличению прочности сцепления слоя и основания.

Для обеспечения хорошей адгезии необходимо подвергнуть поверхность металлизированной детали предварительной подго-

товке, чтобы очистить ее от загрязнений и придать шероховатость. При ударе о металлизированную деталь окисная пленка на поверхности частиц трескается и частицы, расплющиваясь, соприкасаются чистыми поверхностями, между которыми располагаются обломки окислов. В результате в отдельных точках покрытия возникает упомянутое выше молекулярное схватывание как между слоем и основанием, так и между частицами. В особенности много таких «точек схватывания» появляется между частицами, имеющими очень высокую температуру. Так, молибденовые покрытия могут наноситься на стальные или чугунные детали без предварительной подготовки. При этом получается достаточно хорошее сцепление слоя и основания. Так как молибден является очень дорогостоящим и дефицитным металлом, целесообразно использовать его только в качестве подслоя, на который затем напыляется другой металл, например сталь, антифрикционный сплав и др. (см. ниже).

При обычно применяемых режимах напыления в покрытие имеется до 10—18% пор (считая по объему). Многие из этих пор являются сквозными, что обеспечивает проницаемость покрытия, но имеется также и значительное количество «тупиковых» пор, которые практически на проницаемость не влияют, а только создают понижение объемного веса покрытия. Степень пористости, как и другие характеристики покрытия, зависит от вида напыляемого металла, режима напыливания и состояния поверхности металлизированной детали.

Благодаря тому что частицы распыленного металла образуют как бы рыбью чешую и почти не имеют органической связи с основанием, сцепление слоя с основанием в направлении, нормальном к поверхности детали, не может быть значительным.

Сцепление слоя и основания в тангенциальном или аксиальном направлениях, наоборот, получается достаточно большим, так как в этом случае для сдвига покрытия необходимо преодолеть тормозящее действие заусенцев, впадин и выступов, имеющих на поверхности детали.

Поскольку частицы металла достигают поверхности при достаточно высокой температуре и охлаждаются после закрепления на основании, в покрытии возникают тепловые напряжения. В зависимости от конфигурации детали эти напряжения могут способствовать закреплению покрытия на основании, но может произойти и обратное явление, т. е. ослабление связи основания и слоя и даже отделение последнего.

В случае металлизации плоских поверхностей возникают усилия, стремящиеся либо изогнуть основание, либо оторвать от него слой [10].

Беря элементарный участок покрытия AB (рис. 27) длиной l и высотой h с площадью сечения Δs , мы можем рассматривать его как стержень, закрепленный на длине AB .

Полагая, что температура частиц в момент удара равна t_2 , а температура окружающей среды t_3 , найдем растягивающее напряжение в покрытии, возникающее от реакции основания:

$$\sigma = \alpha_t (t_2 - t_3) E \text{ н/м}^2,$$

где α_t — коэффициент теплового расширения напыленного металла в $1/град$;

E — модуль упругости напыленного металла в н/м^2 .

Поскольку покрытие имеет значительно меньшую толщину по сравнению с основанием, деформацией последнего можно пренебречь. Тогда величина укорачивания покрытия при охлаждении будет

$$\Delta l = \alpha_t l (t_2 - t_3). \quad (8)$$

Значения коэффициентов теплового расширения для различных напыленных металлов приведены ниже.

Металл покрытия	Коэффициент теплового расширения α_t в $1/град$
Цинк	$12,4 \cdot 10^{-6}$
Алюминий	$12,1 \cdot 10^{-6}$
Сталь	$11,0 \cdot 10^{-6}$
Латунь	$11,8 \cdot 10^{-6}$



Рис. 27. Элементарный участок напыленного покрытия на плоской поверхности

Уравнение растягивающего напряжения в слое

$$\sigma = \frac{E \Delta l}{l} \text{ н/м}^2.$$

Сила, отрывающая слой по краям от поверхности детали,

$$P = \sigma \Delta s \text{ н},$$

где Δs — площадь сечения в м^2 .

Из последних уравнений получаем

$$P = \frac{E \Delta l \Delta s}{l}.$$

Подставляя значение Δl из уравнения (8), получим

$$P = \alpha_t (t_2 - t_3) E \Delta s. \quad (9)$$

Из уравнения (9) видно, что с увеличением температуры частиц перед ударом усилия, стремящиеся оторвать покрытие от основания, возрастают.

То же наблюдается при внутренней металлизации втулок. При наращивании металлического слоя на наружную поверхность цилиндрических деталей тепловая усадка покрытия оказывает положительное влияние, так как способствует более плотному прижатию покрытия к основанию.

Разумеется, если напряжения, возникающие в покрытии, способны вызвать образование трещин, то усадку и в случае металлизации наружной поверхности цилиндрических деталей следует признать вредной.

Покрытия, напыленные на валы, работающие в подшипниках, нагружаются тангенциальными силами (рис. 28, а). Тангенциальная сила T_1 вызывает на поверхности сцепления слоя с основанием также тангенциальную силу T , величина которой будет

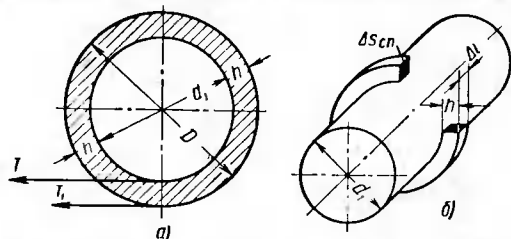


Рис. 28. Расположение сил, действующих на элементарный поясok:

а — силы, действующие на напыленное покрытие при работе металлизированных шеек валов; б — элементарный поясok напыленного покрытия

$$T = T_1 \frac{D}{d_1},$$

где d_1 — диаметр вала до наращивания в м;

D — диаметр вала после наращивания в м.

Величину силы T можно вычислить через коэффициент сцепления K_{cy} :

$$T = NK_{cy},$$

где N — нормальная сила.

Выделяя в покрытии элементарный поясok с площадью поперечного сечения Δs (рис. 28, б), получим

$$N = E\alpha_t(t_2 - t_3)\Delta s,$$

$$\Delta S = \Delta l h,$$

где Δl — высота по образующей элементарного пояска;
 h — толщина пояска.

При условии $\Delta l = 1$ напряжение, создаваемое силой проворачивания T (прочность сцепления), будет

$$\sigma_{cy} = \frac{T}{f_{cy}} = \frac{E\alpha_t(t_2 - t_3)h}{\pi d_1} K_{cy} \text{ н/м}^2, \quad (10)$$

где f_{cy} — площадь сцепления слоя с основанием.

Очень большое значение имеет коэффициент сцепления K_{cy} слоя и основания, который зависит от состояния поверхности, в свою очередь, зависящий от качества подготовки поверхности перед металлизацией, а также режима напыления и материала слоя и основания.

Зависимость прочности сцепления слоя и основания от шероховатости поверхности, подготовленной методом пескоструйной очистки, можно выразить уравнением

$$\sigma_{cy} = AH_{\max}, \quad (11)$$

где $H_{\max}$ — средняя высота неровностей на поверхности в мкм.

Значение коэффициента A можно найти из уравнения (10), приняв $K_{cy} = A_1 H_{\max}$:

$$A = \frac{E\alpha_t(t_2 - t_3)h}{\pi d_1} A_1. \quad (12)$$

По данным лаборатории металлизации МТИ института коэффициент A_1 имеет указанную ниже величину:

Металл покрытия	A_1	Металл покрытия	A_1
Цинк	$9,60 \cdot 10^{-3}$	Сталь	$3,79 \cdot 10^{-3}$
Алюминий	$5,35 \cdot 10^{-3}$	Латунь	$1,89 \cdot 10^{-3}$

Поверхность можно подготовить методом нарезки «рваной» резьбы, имеющим очень большое применение в промышленности: прочность сцепления слоя и основания получается более высокой, чем при пескоструйной очистке. Наилучшие результаты получаются в том случае, когда поверхность ниток резьбы будет испещрена мелкими заусенцами. Существенное влияние на прочность сцепления слоя и основания оказывает также увеличение площади поверхности соприкосновения слоя и основания, полученное в результате нарезки.

Учитывая площадь поверхности соприкосновения при металлизации гладкого и нарезанного образцов, можно видоизменить уравнение (11) следующим образом:

$$\sigma_{cy} = AH_{\max} \frac{s_{нар}}{s_{глад}},$$

где $s_{нар}$ — фактическая площадь нарезанной поверхности;
 $s_{глад}$ — фактическая площадь «гладкой», не нарезанной поверхности.

Для вычисления $s_{нар}$ можно воспользоваться уравнением, выведенным в МТИ для площади поверхности одного витка резьбы $s_{нар}$ (с двух сторон):

$$s_{нар} = \frac{\varphi_0}{\cos \alpha} \left[r_e \sqrt{r_b^2 + A_2^2} - r_a \sqrt{r_a^2 + A_2^2} + \right. \\ \left. + A_2^2 \ln \frac{r_b + \sqrt{r_b^2 + A_2^2}}{r_a + \sqrt{r_a^2 + A_2^2}} \right], \quad (13)$$

где φ_0 — центральный угол в проекции xy , определяющий вычисляемый участок винтовой поверхности;
 α — угол наклона винтовой линии;
 r_a — внутренний радиус нарезки;
 r_e — наружный радиус нарезки;

$$A_2 = \frac{h' \cos \alpha}{2\pi}; \quad h' — \text{шаг резьбы.}$$

Площадь винтовой поверхности на длине $l_{нар}$ нарезанной детали

$$S_{нар} = \frac{l_{нар}}{h'} s'_{нар}.$$

Поскольку площадь поверхности той же длины и диаметра, равного наружному диаметру нарезки,

$$S_{2A} = \pi d_1 l_{нар},$$

то

$$\sigma_{сц} = AH_{\max} \frac{s'_{нар}}{h' \pi d_1} B,$$

где B — поправочный коэффициент, который учитывает свойства напыливаемого металла.

Металл покрытия	B	Металл покрытия	B
Цинк	0.16	Сталь	0.14
Алюминий	0.19	Латунь	0.18

С увеличением шага нарезаемой резьбы прочность сцепления слоя и основания уменьшается. Это позволяет опровергнуть установившееся мнение о том, что наивысшее сцепление слоя и основания достигается при более крупном шаге нарезки.

При напылении металла разными способами (тигельным, газовым, высокочастотным и др.) прочность сцепления при прочих равных условиях получается различной. Это объясняется тем, что напыленный разными способами металл имеет различные механические свойства и, в частности, модуль упругости и коэффициент теплового напряжения, которые входят в уравнения (9) и (14).

По данным исследований Цао-Оу прочность сцепления стального слоя и основания при электродуговой металллизации составляет (в n/m^2): $76,0 \cdot 10^4$, при газовой $77,0 \cdot 10^4$ и при высокочастотной $64,5 \cdot 10^4$. Более высокую прочность сцепления при газовой металллизации Цао-Оу объясняет тем, что при этом виде металллизации имеется больше контактов чистого металла, т. е. больше молекулярных или химических взаимодействий, прочность которых значительно выше прочности механического зацепления.

По мнению Цао-Оу более высокая прочность сцепления при электродуговой металллизации, чем при высокочастотной, объясняется термической усадкой покрытия.

Прочность сцепления слоя и основания может быть повышена предварительным подогревом металлизируемых поверхностей. Однако наибольший эффект в этом смысле достигается главным образом при подогреве только плоских деталей или различных втулок, металлизируемых внутри. Подогрев цилиндрических деталей, металлизируемых снаружи, не только не увеличивает прочность сцепления, но в некоторых случаях даже снижает ее.

Абсолютная величина прочности сцепления слоя и основания значительно ниже, чем при наплавке. Однако она достаточная для практических целей (см. ниже).

Для увеличения сцепления слоя и основания и улучшения физико-механических свойств покрытия Н. В. Авдеев предлагает прибегнуть к химико-термической обработке металлизированных деталей — спеканию.

В результате спекания получается достаточно высокая прочность сцепления слоя и основания при нагревании до температуры $980-1100^\circ \text{C}$ и продолжительности отжига от 3 до 5 ч. Во время спекания в атмосфере окиси углерода или предельных и непредельных углеводородов происходит восстановление окислов, содержащихся в покрытии. После полного восстановления окислов происходит насыщение покрытия углеродом и увеличение твердости и износостойкости.

Об увеличении прочности сцепления стального основания и свинцово-медного псевдосплава при отжиге сообщает также А. И. Смолянинов. Он приводит данные (табл. 4) о прочности сцепления слоя и основания, подготовленного путем нарезки рваной резьбы (см. ниже) как до отжига, так и после него.

Отжиг производился при температуре $900-940^\circ \text{C}$ в течение 3 ч в защитной среде, состоящей из 10—15%-ной смеси древесного угля и окиси алюминия.

Покрытие псевдосплавом наносилось по медному подслою, без которого отжиг не только не повышает прочность сцепления, но даже, наоборот, сильно понижает ее.

Необходимо отметить, что предложенный Н. В. Авдеевым и другими метод спекания или отжига уничтожает одно из главных достоинств процесса металллизации — отсутствие сильного нагрева детали при металллизации.

Таблица 4

Изменение прочности сцепления слоя из свинцово-медного псевдосплава в результате отжига

Содержание свинца в псевдосплаве в %	Прочность сцепления в n/m^2	
	до отжига	после отжига
0	1275.3	3433.5
10	1098.7	3335.4
30	765.2	3139.2
50	608.2	1716.7

ПРОЧНОСТЬ НАПЫЛЕННЫХ ПОКРЫТИЙ ПРИ РАСТЯЖЕНИИ

Прочности напыленных и исходных металлов резко отличаются друг от друга. По данным Д. Г. Вадивасова [6] покрытия из стали, полученные путем электродуговой металлизации, имеют прочность на растяжение, указанную в табл. 5.

Таблица 5

Предел прочности на растяжение напыленной стали

Расстояние от сопла до детали в мм	Предел прочности при растяжении σ_s в н/мм ²		Расстояние от сопла до детали в мм	Предел прочности при растяжении σ_s в н/мм ²	
	Электродуговая металлизация [6]	Высокочастотная металлизация [7]		Электродуговая металлизация [6]	Высокочастотная металлизация [7]
25	$156,96 \cdot 10^4$	—	150	$137,34 \cdot 10^4$	$151,07 \cdot 10^4$
50	$176,58 \cdot 10^4$	$178,54 \cdot 10^4$	200	$117,72 \cdot 10^4$	—
75	$196,20 \cdot 10^4$	$220,72 \cdot 10^4$	300	$98,10 \cdot 10^4$	—
100	$176,58 \cdot 10^4$	$184,43 \cdot 10^4$			

Как видно из этой таблицы, по мере увеличения расстояния L между соплом аппарата и поверхностью детали предел прочности σ_s сначала растет, а потом падает. Максимальная прочность получается при расстоянии L , равном около 75 мм, т. е. при таком расстоянии, когда кинетическая энергия частиц достигает

Таблица 6

Механические свойства напыленных металлов

Материал	Предел прочности на растяжение в н/мм ²		Относительное удлинение в %	
	исходного материала	напыленного покрытия	исходного материала	напыленного покрытия
Малоуглеродистая сталь	$5,1 \cdot 10^8$	$1,27 \cdot 10^8$ — $1,96 \cdot 10^8$	21	0,3
Медь М1	$1,76 \cdot 10^8$	$0,57 \cdot 10^8$ — $1,08 \cdot 10^8$	58	0,0
Алюминий А2	$1,18 \cdot 10^8$	$0,29 \cdot 10^8$ — $0,49 \cdot 10^8$	45	1,1
Цинк	$1,01 \cdot 10^8$	$0,34 \cdot 10^8$	65	1,3
Олово	$0,21 \cdot 10^8$	$0,22 \cdot 10^8$	80	1,3
Свинец	$0,14 \cdot 10^8$	$0,14 \cdot 10^8$	64	1,5
Латунь	$3,10 \cdot 10^8$	$0,25 \cdot 10^8$	60	0,0
Медноспинцовый псевдосплав, содержащий 10% свинца	—	$0,69 \cdot 10^8$	—	3,1
То же, после отжига	—	$0,78 \cdot 10^8$	—	—
Медноспинцовый псевдосплав, содержащий 20% меди	—	$1,27 \cdot 10^8$	—	—

максимума. Прочности покрытий, полученных электродуговой и высокочастотной металлизацией, практически близки друг к другу.

Подобные же результаты получены и другими исследователями.

В табл. 6 сведены данные о прочности на растяжение различных напыленных металлов.

Относительное удлинение металла в процессе металлизации резко уменьшается (табл. 6), что объясняется своеобразием строения напыленного металла и наличием окислов.

Повышение давления сжатого воздуха приводит к увеличению прочности напыленного металла. При высокочастотной металлизации наивысшая прочность получается при давлении $39,25$ н/мм².

ПРОЧНОСТЬ НАПЫЛЕННЫХ ПОКРЫТИЙ ПРИ СЖАТИИ

Прочность напыленного металла на сжатие достаточно высока (табл. 7). Она зависит от расстояния между соплом аппарата и поверхностью детали (рис. 29).

Таблица 7

Прочность на сжатие напыленных металлов

Параметры	Металлы покрытия	
	Цинк	Алюминий
Пределы в н/мм ² : прочности пропорциональности	$1,27 \cdot 10^8$ $0,66 \cdot 10^8$	$2,00 \cdot 10^8$ $0,86 \cdot 10^8$

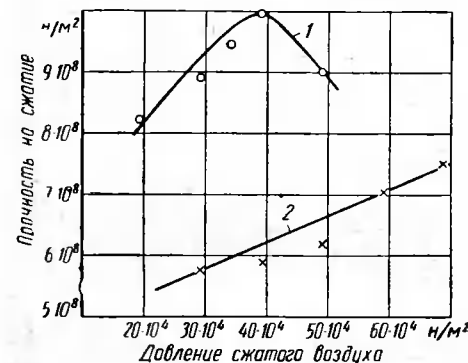


Рис. 29. Прочность напыленной стали на сжатие при металлизации:

1 — высокочастотной; 2 — электродуговой

ТВЕРДОСТЬ И ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ НАПЫЛЕННЫХ ПОКРЫТИЙ

Существенные изменения, которые происходят в металле во время его распыления и которые заключаются в изменении его состава и строения, разумеется, резко сказываются на физических, механических и химических свойствах покрытия и создают большие различия между исходным материалом и полученным из него покрытием.

По данным А. Ф. Троицкого [21] покрытия, полученные методом распыления, всегда находятся в напряженном состоянии. Анализ факторов, участвующих в возникновении напряженного

состояния покрытий, позволяя достигнуть возникновения повышенной твердости, износостойкости и низкой ударной вязкости.

Твердость и хрупкость напыленного металла довольно резко отличаются от свойств исходного металла, что объясняется разными причинами. Безусловное влияние оказывает закалка частиц, происходящая в результате быстрого охлаждения их воздушной струей. Кроме того, имеет место явление наклепа поверхности покрытия вследствие ударов быстролетающих частиц металла. По данным ряда исследований твердость металлостационарных покрытий повышается за счет включения окислов металлов. Прирост твердости при распылении малоуглеродистой стали значительно выше, чем высокоуглеродистой (примерно в 3 раза). Поэтому твердость слоя из малоуглеродистой стали мало отличается от твердости покрытия из высокоуглеродистой стали. Главной причиной повышения твердости, по-видимому, является окисление распыливаемого металла, так как окислы оказались более твердыми, чем остальные структурные составляющие покрытия (табл. 8).

Таблица 8

Твердость структурных составляющих напыленной стали

Металл	Структурная составляющая	Твердость по Бринелю
Стальная проволока Напыленная сталь	Сорбит	238
	Сорбит	238
	Троосто-сорбит	300
	Троосто-мартенсит	393
	Мартенсит	535
	Окислы	240—265

Указанное заключение диаметрально противоположно прежним исследованиям А. И. Дейниченко, который отмечает, что роль окислов в увеличении твердости невелика.

Твердость металлов как цветных, так и черных в процессе металлзации повышается и характеризуется данными (для газовой металлзации), приведенными в табл. 9.

Таблица 9

Твердость исходного и напыленного металла

Металл покрытия	Твердость металла по Бринелю		Металлы покрытия	Твердость металла по Бринелю	
	исходного	напыленного		исходного	напыленного
Алюминий	21	26—40	Сталь (0,17% С)	104	179—192
Бронза	—	83	» (0,80% С)	230	318—395
Фосфористая бронза	—	93—179	Цинк	24	17—23
Латунь	58	58—103	Монель-металл	—	171
Медь	50	62—98			

Хотя определение твердости по Бринелю по ряду причин и является целесообразным, но поскольку оно требует напыления слоя значительной толщины (около 15 мм), то рациональнее прибегнуть к определению твердости по методу Роквелла, при котором толщина покрытия может быть всего около 1,5 мм.

Средние значения твердости покрытий по данным Р. Крняк [16] указаны ниже:

Алюминий	HRH 72	Никель	HRF 87
Сплав 94% Al, 6% Si . . .	HRB 64	Монель-металл	HRF 78
Алюминиевая бронза	HRB 92	Сталь 0,1% С	HRB 90
Цинк	HRH 46	» 0,25% С	HRB 94
Олово	HRH 10	» 0,8% С	HRC 38
Медь	HRF 78	Нержавеющая сталь титан X18H9	HRB 79
Бронза	HRF 68		

Примечания:

1. Для HRB измерение производится шариком диаметром $1/16$ " при нагрузке 100 кг.
2. Для HRF—то же, при нагрузке 60 кг.
3. Для HRH—то же, шариком диаметром $1/8$ " при нагрузке 60 кг.
4. Для HRC—то же, алмазным конусом при нагрузке 150 кг.

Данные, показывающие зависимость твердости покрытия от качества исходного материала, приведены ниже.

Установлено, что с повышением содержания углерода в исходной проволоке твердость покрытия возрастает.

Марка стали	20	40	У10
Среднее значение твердости по Бринелю . .	187	229	286

Многочисленными исследованиями установлено также, что
1) твердость покрытия зависит от режима распыления;
2) при газовой металлзации с увеличением скорости подачи распыливаемой проволоки и при прочих равных условиях твердость покрытия увеличивается. Это можно объяснить тем, что с увеличением количества распыливаемой проволоки температура частиц несколько понижается, вследствие чего уменьшается время их охлаждения после закрепления на поверхности детали. При уменьшении производительности, наоборот, происходит возрастание температуры частиц.

При электрометаллизации с увеличением производительности и мощности тока, питающего дугу аппарата, происходит снижение твердости вследствие того, что частицы, находясь в момент удара при очень высокой температуре, значительно превосходящей критическую точку A_c , охлаждаются в течение большего периода времени и поэтому закаляются менее интенсивно. Вследствие более высокой температуры частицы успевают сильнее окислиться, и при известных условиях твердость покрытия, полученного путем электрометаллизации, будет зависеть от производительности аппарата не в такой большой степени, как при газовой металлзации. Твердость зависит также от расстояния между соплом аппарата

и поверхность детали, напряжения на электродах дуги, давления сжатого воздуха и его количества. Обнаруживается также зависимость твердости от толщины слоя.

Зависимость твердости стального покрытия от толщины слоя

Толщина металлизационного покрытия в мм	0,75	2,00	3,20	3,90	5,00	5,92
Средняя твердость по Бринелю	206	257	260	280	284	265

Отпуск металлизированных деталей с нагревом до температур порядка 400—500° С в течение 1 ч приводит к повышению твердости покрытия от *HRB* 80 до *HRB* 98.

При высокочастотной металлизации получается более высокая твердость напыленных стальных покрытий, чем при газовой или электродуговой [табл. 10].

Таблица 10

Микротвердость стальных покрытий

Вид металлизации	Микротвердость	
	троосто-мартенсита	троосто-сорбита
Электродуговая	387	279
Газовая	559	433
Высокочастотная . . .	567	372

Из данных этой таблицы видно, что наиболее низкую твердость имеет напыленный металл, полученный при электродуговой металлизации. Это объясняется более высокой степенью выгорания углерода в электрометаллизационных покрытиях, чем в покрытиях, полученных другими методами.

Износостойкость покрытий из напыленного металла, как показывают данные многих экспериментаторов и опыт практической эксплуатации металлизированных деталей, достаточно высока, однако при сухом трении напыленные металлы сильно разрушаются. Так, покрытия из стали 45 изнашиваются при сухом трении примерно в 2,5 раза больше, чем обычная сталь той же марки. Разрушение поверхности металлизированной детали происходит преимущественно по границам частиц, окаймленных окислами.

Большой опыт эксплуатации изношенных деталей машин, восстановленных методом металлизации, показывает, что при наличии смазки поведение покрытий совершенно другое, чем при сухом трении. Это объясняется высокой смачиваемостью покрытий и способностью их удерживать смазку благодаря мельчайшим порам и раковинам. При обычных условиях покрытие может впитывать до 10% масла (по объему покрытия). Создавая спе-

циальные режимы напыления, можно вводить в поры покрытия до 25% масла.

Способность распыленных металлов впитывать масло, не свойственная обычным металлам, зависит от режима распыления, толщины слоя и последующей обработки. Метод обработки может весьма изменить пористость покрытия, а следовательно, и способность впитывать смазку. По данным ряда исследований непроницаемость напыленных слоев при шлифовании покрытий из мягких металлов может изменяться в сотни раз, а из твердых металлов — до 50 раз. Весьма сильное влияние на проницаемость и масловпитываемость покрытий оказывает полирование. Как правило, полированные покрытия имеют значительно меньшую проницаемость, чем обработанные другими способами. Понижения проницаемости можно достигнуть также путем последующей пропитки покрытия различными смолами и лаками.

Известно, что значительный износ трущихся сопряжений происходит в первые моменты работы машины после пуска, когда нормальный режим смазки еще не установился. В этом отношении металлизационные покрытия имеют большое преимущество перед обычными металлами, так как их трущиеся поверхности с самого начала работают по слою смазки. Это достигается благодаря большой пористости покрытия. Смазочное масло впитывается в капилляры и поры, что способствует постоянному поддержанию целостности масляной пленки.

Износостойкость напыленных металлов характеризуется весьма высокими показателями. Так, износостойкость оловянистой бронзы Бр. ОЦ 4-3 (состава 91,12% Cu, 3,40% Sn, 3,4% Zn) увеличивается после ее распыления в 1,66 раза, а сопряженного вала из стали 40X, имеющего твердость *HRC* 52, — в 1,43 раза. Хорошие результаты получаются при распылении антифрикционного сплава ЦАМ 10-5.

Работы доц. А. А. Абиндера, Р. А. Гвирца и В. В. Красниченко в области наращивания подшипников скольжения различными псевдосплавами из меди и свинца, алюминия и свинца и др. показали весьма высокие антифрикционные свойства таких покрытий, значительно превосходящие свойства обычных подшипниковых сплавов.

Высокие антифрикционные свойства напыленных псевдосплавов подтверждаются практикой.

Высокая износостойкость наблюдается и у деталей машин, металлизированных сталью (табл. 11).

Данные, приведенные в табл. 11, получены в результате испытания при скорости скольжения 2,17 м/сек и нагрузке $50 \cdot 10^4$ н/м². Из таблицы видно, что весьма положительные результаты получены при работе образцов, металлизированных сталью, в стальных закаленных вкладышах (износ цапфы из стали 45 и бронзового вкладыша условно принят за 100 %).

С точки зрения антифрикционных свойств сочетания бронзового подшипника (Бр. ОЦС 4-4-2,5) с валами, металлизированными малоуглеродистой и высокоуглеродистой сталью, более или менее равноценны.

Таблица 11

Износостойкость напыленной стали
(по данным Л. А. Ярошевского)

Цапфа	Вкладыш	Износ в %	
		цапфы	вкладыша
Сталь 45 обычная	Бронза	100,0	100,0
Металлизированная сталь с содержанием углерода (в %):			
0,14	Бронза	95,0	96,0
0,96	Бронза	58,0	64,0
0,14	Сталь	31,6	30,0
0,98	Сталь	30,0	40,6

Для эксплуатационной проверки возможности применения стальных подшипниковых втулок в паре с валами, металлизированными сталью, Л. А. Ярошевским была проведена опытная эксплуатация фрезерного станка, у которого в коробке скоростей и механизме подачи было заменено одиннадцать бронзовых втулок стальными, а сопряженные шейки валов были металлизированы сталью. После 5460 ч работы оказалось, что закаленные рабочие поверхности подшипников не имеют следов износа, а износ металлизированных шеек лежит в пределах точности измерительного инструмента.

Износостойкость напыленных покрытий из стали в большой степени зависит от содержания углерода в исходном материале. Покрытия из стали У10 (ГОСТ 1435—54) в 1,9 раза более износостойки, чем из стали 45 (ГОСТ 1050—60); сталь У10 более целесообразна как материал для восстановления изношенных деталей, также и потому, что ее применение почти полностью исключает образование трещин в покрытии.

Установлена также зависимость износостойкости от метода нанесения покрытий. Рядом исследований доказано, что высокочастотная металлизация при прочих равных условиях дает износостойкость, которая выше, чем при электродуговой металлизации. Это можно объяснить более упорядоченным движением частиц в факеле, образованном при распылении. Лучшие аэродинамические условия процесса распыления способствуют приданию частицам больших скоростей, а это сказывается на повышении износостойкости вследствие лучшей утрамбовки частиц. Исследованиями Ленинградского сельскохозяйственного института установлено, что с повышением удельного давления при определении износо-

стойкости высокочастотных напыленных покрытий износ трущихся пар увеличивается, однако износостойкость при этом остается достаточно высокой.

Испытание высокочастотных напыленных покрытий при граничной смазке показало, что после пропитки покрытия автолом марки АК-10 образцы работали без признаков схватывания до 10 ч. Удельная нагрузка была при этом равна $100 \cdot 10^4 \text{ н/м}^2$. Среднее значение весовой масловпитываемости при высокочастотной металлизации составляет 1,27 %.

Наряду с приведенными выше примерами получения высокой износостойкости напыленных металлов некоторые из исследователей получили в результате своих экспериментов менее положительные результаты. Например, Ч. И. Згирский установил значения относительной износостойкости металлизированных деталей, указанные в табл. 12.

Таблица 12

Сравнительная износостойкость напыленной стали

Материал сопрягаемой детали	Относительная износостойкость стали по сравнению	
	со сталью 45	со сталью 45, закаленной после нагрева т. в. ч.
Чугун	2,50	0,58
Бронза	1,80	0,87
Баббит	1,98	0,64

Из таблицы видно, что стальное покрытие работает лучше, чем сырая сталь 45, но хуже, чем та же сталь, но закаленная т. в. ч. Следует отметить, что приведенные в этой таблице данные недостаточно хорошо согласуются с результатами наблюдений других экспериментаторов.

Ч. И. Згирский проводит технико-экономическое сравнение различных методов восстановления изношенных автомобильных деталей. Выбор наиболее рационального метода ремонта является весьма актуальной проблемой.

Современное решение этой проблемы в теории ремонта автомобилей — указывает Ч. И. Згирский — сводится к нахождению сравнительных стоимостных показателей по методу, впервые предложенному проф. В. В. Ефремовым. Сущность этого метода состоит в том, что для правильного выбора способа ремонта детали необходимо сравнить стоимости различных способов ремонта, отнесенные к километрам пробега детали.

Пользуясь этим методом, Ч. И. Згирский находит, что метод металлизации имеет бесспорные преимущества перед другими способами наращивания (гладким хромированием, пористым хромированием, наплавкой, осталиванием).

ПЛОТНОСТЬ НАПЫЛЕННЫХ ПОКРЫТИЙ

Многие исследователи, занимаясь определением плотности напыленных металлов, установили, что в процессе распыления и образования слоя плотность его уменьшается из-за появления в напыленном металле окислов и пор.

Зависимость плотности от производительности электродугового металлizationного аппарата может быть выражена уравнением

$$\gamma = \frac{K_{np} \cdot 10^3}{\sqrt[3]{\frac{x_1}{G \cdot 10^3}}},$$

где G — производительность аппаратов в кг/ч;

γ — плотность напыливаемого металла в кг/м³;

K_{np} — константа, зависящая от свойств распыливаемого металла (табл. 14);

x_1 — показатель степени, зависящий от свойств распыливаемого металла (табл. 13).

Таблица 13

Значение константы K_{np}
и показателя степени x_1

Металл покрытия	K_{np}	x_1
Цинк	7,13	15,40
Алюминий	1,73	9,68
Латунь	7,46	19,40

Латунь
Цинк
Олово
 ρ кг/м³
 $8 \cdot 10^3$

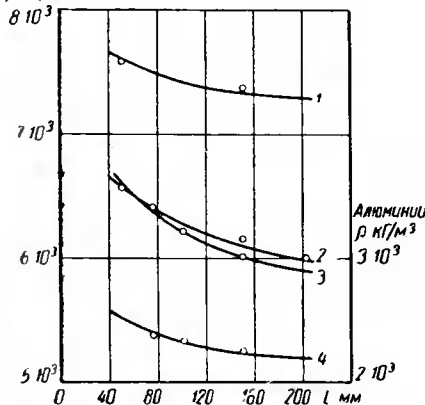


Рис. 30. Зависимость плотности напыленных металлов от расстояния между соплом и поверхностью детали:

1 — латунь; 2 — олово; 3 — цинк; 4 — алюминий

рости частиц перед ударом, что выражается эмпирической формулой (для электродуговой металлization):

$$\gamma = K'_{np} (u_{cp})^x \text{ кг/м}^3,$$

где u_{cp} — средняя скорость частиц перед ударом в м/сек;

K'_{np} и x — константы, зависящие от свойств напыленного металла (табл. 15).

Плотность металлов, напыленных различными аппаратами

Напыляемые металлы и сплавы	Газовый аппарат		Тигельный аппарат		Высокочастотный аппарат	
	в кг/м ³	в % от плотности проволоки	в кг/м ³	в % от плотности проволоки	в кг/м ³	в % от плотности проволоки
Алюминий	$2,41 \cdot 10^3$	90	—	—	—	—
Цинк	$6,36 \cdot 10^3$	89	$6,51 \cdot 10^3$	91	—	—
Олово	$6,43 \cdot 10^3$	88	$6,60 \cdot 10^3$	90	—	—
Медь	$7,53 \cdot 10^3$	84	—	—	—	—
Бронза	$7,57 \cdot 10^3$	86	—	—	—	—
Магниева бронза . . .	$7,26 \cdot 10^3$	85	—	—	—	—
Фосфористая бронза . .	$7,68 \cdot 10^3$	86	—	—	—	—
Никель	$7,55 \cdot 10^3$	85	—	—	—	—
Моноэль-металл . . .	$7,67 \cdot 10^3$	87	—	—	—	—
Сталь 10	$6,67 \cdot 10^3$	85	—	—	$7,0 \cdot 10^3$	89
» 25	$6,78 \cdot 10^3$	86	—	—	—	—
» У7	—	—	—	—	$6,91 \cdot 10^3$	88
» У8	$6,36 \cdot 10^3$	81	—	—	$6,89 \cdot 10^3$	87,5
Нержавеющая сталь . .	$6,93 \cdot 10^3$	88	—	—	$7,10 \cdot 10^3$	90
Легкоплавкий сплав (23,5% Bi; 29,5% Sn; 47,0% Pb)	—	—	$9,08 \cdot 10^3$	—	—	—
То же (50% Bi; 10% Sn; 40% Pb)	—	—	$9,37 \cdot 10^3$	—	—	—
То же (50% Bi; 42,9% Pb; 7,1% Cd)	—	—	$9,65 \cdot 10^3$	—	—	—
То же (50% Bi; 12,5% Sn; 25% Pb; 12,5% Cd) . .	—	—	$8,25 \cdot 10^3$	—	—	—
Чугун (3,04% C; 3,36% Si) То же (2,36% C; 6,13% Si) То же (2,17% C; 2,32% Si; 2,05% Cu)	— — —	— — —	— — —	— — —	5,80 5,90 6,40	— — —

Таблица 15

Значения констант K' и x

Константа	Напыляемый металл			
	Цинк	Алюминий	Олово	Латунь
K'	$4,642 \cdot 10^3$	$1,697 \cdot 10^3$	$4,952 \cdot 10^3$	$6,722 \cdot 10^3$
x	0,0930	0,0996	0,0752	0,0320

Поскольку скорость частиц меняется по мере удаления от сопла, плотность металла, напыленного при различных расстояниях между соплом и деталью, также будет различной (рис. 30).

ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ НАПЫЛЕННЫХ МЕТАЛЛОВ

Поскольку покрытия из распыленного металла состоят из массы частиц, покрытых окислами, причем в покрытии имеется много пор, электропроводность напыленных металлов значительно меньше, чем обычных металлов, и зависит в большой степени от характера и фактуры поверхности основания.

По мере увеличения толщины слоя поверхности электропроводность напыленного металла, естественно, увеличивается. Однако в начальный момент, когда частицы металла, оседая на поверхности, еще не образуют сплошного покрытия, электропроводность покрытия практически равна нулю. Затем, когда частицы начинают перекрывать друг друга, возникает постепенно усиливающаяся электропроводность.

При металлизации твердых и практически гладких поверхностей электропроводность возникает раньше, чем при нанесении слоя на сильно развитые (шероховатые) и мягкие поверхности, так как соединение осевших частиц металла друг с другом в первом случае происходит при меньшем количестве осевшего металла.

На рис. 31, а представлена фотография поверхности гетинаксовой пластины, металлизированной тонким слоем ($0,025 \text{ кг/м}^2$). Поскольку частицы металла разбросаны по поверхности и практически не соприкасаются друг с другом, электропроводности покрытия не обнаруживается.

Рис. 31, б показывает поверхность гетинаксового образца, металлизированного слоем большей толщины ($0,160 \text{ кг/м}^2$). Хорошо видно, что частицы металла лежат плотно и перекрывают друг друга. Такое покрытие обладает тем большей электропроводностью, чем больше толщина слоя.

УДЕЛЬНАЯ ТЕПЛОЕМКОСТЬ И ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ НАПЫЛЕННЫХ МЕТАЛЛОВ

Как показывают исследования лаборатории металлизации МТИ, теплоемкости напыленных и литых металлов относятся друг к другу практически, как их плотности (табл. 16).

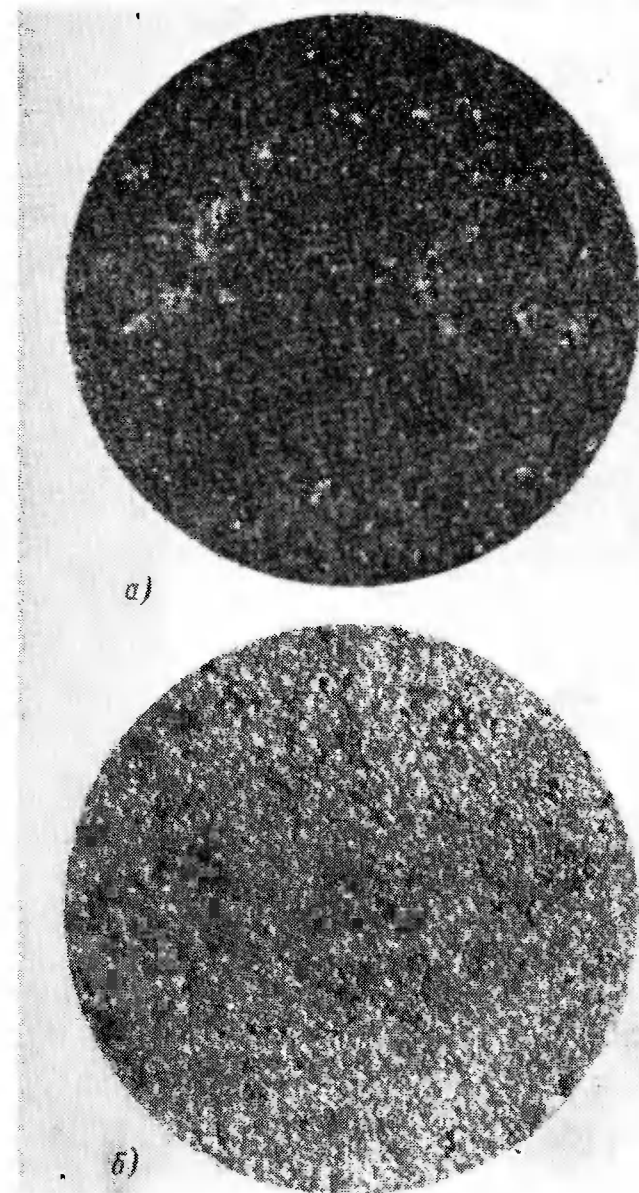


Рис. 31. Вид поверхности гетинаксовой пластины, металлизированной:

а — тонким слоем цинка ($0,025 \text{ кг/м}^2$); б — сплошным слоем цинка ($0,160 \text{ кг/м}^2$)

Некоторые свойства напыленных металлов

Параметры	Напыленный металл				
	Цинк	Алюминий	Олово	Латунь	Сталь
Отношение плотности напыленного и литого металлов . . .	0,89	0,9	0,88	—	—
Удельная теплоемкость металла в дж/(кг · град):					
литого . . .	$0,385 \cdot 10^3$	$0,896 \cdot 10^3$	$0,226 \cdot 10^3$	—	—
напыленного . . .	$0,343 \cdot 10^3$	$0,808 \cdot 10^3$	$0,197 \cdot 10^3$	—	—
Отношение теплоемкостей напыленного и литого металлов . .	0,89	0,90	0,87	—	—
Коэффициент теплопроводности напыленных металлов в вт/(м · град) . .	$251,2 \cdot 10^2$	$129,8 \cdot 10^2$	—	$50,2 \cdot 10^2$	$46,0 \cdot 10^2$
Отношение коэффициентов теплопроводности напыленного и литого металлов	0,63	0,25	—	0,16	0,28

АППАРАТУРА ДЛЯ НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЙ

Для нанесения различных покрытий методом напыления в настоящее время разработано много специальной аппаратуры, которая по исходному состоянию напыляемых материалов и способам их расплавления может быть классифицирована согласно схеме, представленной на рис. 32.

Ниже приводятся краткие сведения о применяемой в Советском Союзе аппаратуре отечественных конструкций, а также некоторых наиболее интересных в техническом отношении аппаратах иностранных марок, предназначенных для нанесения покрытий из материалов, перечисленных на рис. 1.

АППАРАТУРА ДЛЯ НАНЕСЕНИЯ ГАЗОПЛАМЕННЫХ ПОКРЫТИЙ

В аппаратах газопламенного типа для расплавления напыляемых материалов используется пламя газовых смесей из различных горючих газов и кислорода.

В качестве горючих газов применяют ацетилен, водород, метан, пропан-бутановые смеси, природный газ, нефтяной газ и др. Большинство современных аппаратов для газопламенного напыления рассчитано на применение наиболее высокотемпературного кислородно-ацетиленового пламени (табл. 17), пользуясь которым, можно наносить покрытия из металлов с температурой плавления до 2800°C и многих весьма тугоплавких неметаллических соединений.

Во многих случаях вместо ацетилена целесообразно применять более дешевые и доступные газы, например широко распространенный у нас природный газ, пропан-бутановые смеси и др.

Поэтому конструкция некоторых аппаратов специально рассчитана на возможность применения в качестве горючего газа не только ацетилена, но и его заменителей.

Проволочные аппараты

Газопламенные аппараты, использующие проволоку в качестве сырья, весьма распространены и выпускаются во многих странах и в Советском Союзе в разнообразных конструктивных вариантах.

**Аппаратура
для нанесения покрытий
методами газотермического напыления**

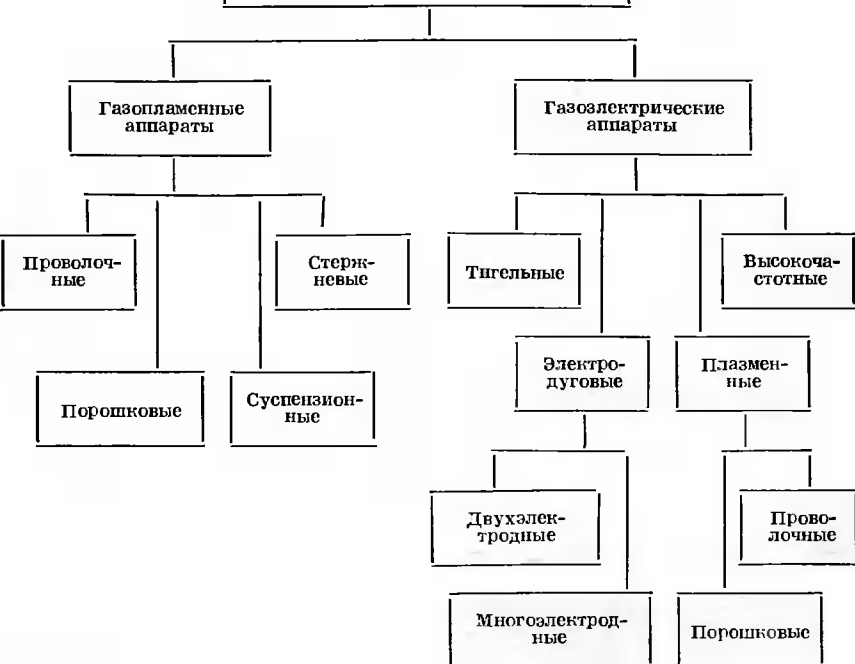


Рис. 32. Классификация аппаратуры для напыления

С их помощью можно наносить покрытия из всех выпускаемых в виде проволоки металлов, температура плавления которых не превышает 2800°C . Аппараты для ручных работ обычно имеют небольшой вес и отличаются хорошей маневренностью, благодаря чему ими удобно пользоваться при выполнении потолочных работ, металлизации внутренних поверхностей, на строительных лесах и т. п.

Важным достоинством однопроволочных газопламенных аппаратов являются высокая работоспособность и надежность в эксплуатации, что позволяет применять их для работы в условиях, требующих непрерывности и стабильности процесса. Вследствие того что любое количество распылительных головок может быть расставлено в любом порядке и положении, однопроволочные газопламенные аппараты успешно применяют в механизированных установках, производящих металлизацию изделий массового производства: стальных труб, профилированного проката, готовых баллонов и др. (рис. 33).

Основные свойства горючих газов, применяемых для газопламенного напыления

Параметры	Горючий газ					
	Ацетилен	Водород	Метан	Пропан	Бутан	Этан
Относительная плотность по воздуху	0,91	0,07	0,56	1,57	2,10	1,06
Теплотворность (низшая) при 20°C и $760\text{ мм рт. ст. в } \text{дж/н.м}^3$	12 600	2400	8000	20 800	27 800	14 400
Скорость распространения пламени в смеси с кислородом в м/сек	13,5	8,9	3,3	3,7	—	—
Температура пламени в смеси с кислородом в $^{\circ}\text{град}$	3100—3200	2100—2500	2000—2100	2400—2700	2400—2700	—

Все проволочные аппараты работают по одинаковой принципиальной схеме и отличаются лишь конструкцией отдельных

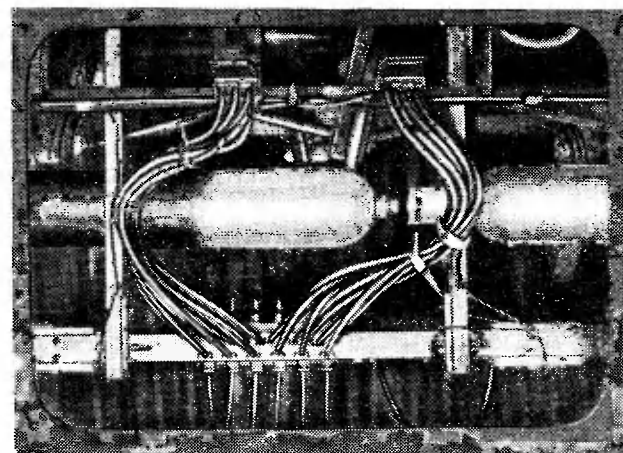


Рис. 33. Механизированная установка для металлизации газовых баллонов

узлов и их компоновкой. Основными узлами для всех аппаратов этого типа являются: привод, механизм подачи проволоки, регулятор скорости подачи и распылительная головка.

Аппарат МГИ-1, выпускаемый в Советском Союзе (рис. 34), предназначен для ручных работ и по своей конструкции является типичным для аппаратов этого класса.

Привод механизма подачи осуществляется с помощью малогабаритного воздушного двигателя ротационного типа, который вместе с центробежным регулятором числа оборотов встроен в рукоятку аппарата. Вращение вала двигателя через редуктор передается на протяжные ролики, посредством которых проволока с заданной скоростью подается в распылительную головку. В головку поступает газовая смесь, в пламени которой проволока плавится и под действием выходящей из сопла струи сжатого воздуха или другого газа жидкий металл распыляется и наносится на покрываемую поверхность.

Обычно ручные аппараты снабжаются удлинительными и угловыми головками, которые служат для нанесения покрытий на внутренние поверхности труб, в труднодоступные места сложных деталей и т. д.

Рис. 34. Проволочный газовый металлizaционный аппарат МГИ-1

Аппарат МГС представляет собой небольшую установку (рис. 35), состоящую из газовой распылительной головки и приводного механизма, которые вместе с приспособлением для укладки и размотки проволочной бухты собраны на общей плите. Аппарат МГС предназначен для работы в стационарных условиях, например на поточных и автоматических линиях, в связи с чем предусмотрена возможность устанавливать распылительную головку в любом положении относительно поверхности металлизируемого изделия.

Конструкция аппарата МГС основана на использовании типовых узлов серийно изготавливаемого у нас аппарата МГИ-1, от которого взят узел передней стенки аппарата, и аппарата ЭМ-6 для электродуговой металлзации.

Аппараты ракетного типа для нанесения газопламенных покрытий свое название получили в связи с имеющимся сходством принципа их действия с ракетными двигателями. Ракетные аппараты состоят из камеры сгорания и соплового устройства, снабженных рубашкой с циркулирующей в ней охлаждающей водой. В камеру сгорания впрыскивается строго дозированное количество горючего, продукты сгорания которого выходят из сопла с большой скоростью. В центр сопла подается напыляемый материал

в виде проволоки, которая плавится и распыляется на мелкие частицы выходящей из сопла струей газа.

В качестве горючего в ракетных аппаратах используется смесь пропана с кислородом, температура сгорания которых близка к 3000°C . Скорость истечения струи продуктов сгорания составляет примерно 1600 м/сек , вследствие чего кинетическая энергия частиц металла во много раз превышает энергию частиц, распыляемых другими способами газопламенного напыления.

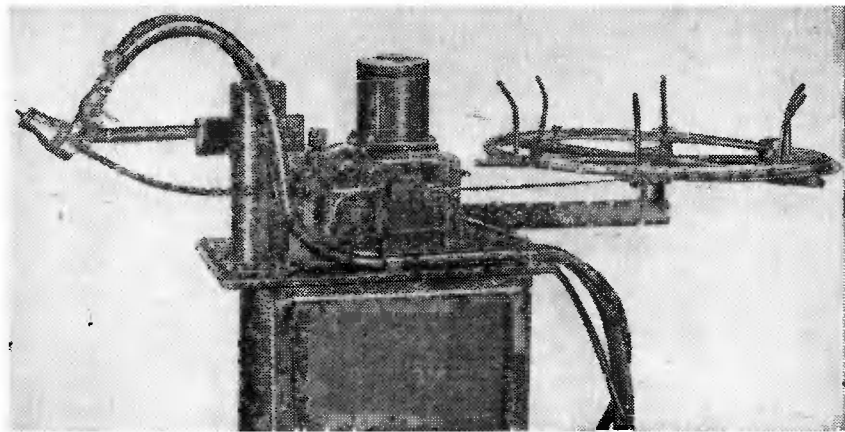


Рис. 35. Проволочный газовый металлizaционный аппарат МГС

Отмечается, что такая аппаратура позволяет изменять средний размер распыляемых частиц и регулировать их величину в пределах $20\text{--}200\text{ мкм}$, а также получать покрытия с повышенной плотностью и адгезией.

Проволочные аппараты ракетного типа предложены в США и широкого применения до настоящего времени не получили. В Советском Союзе ракетный принцип напыления использован в конструкции установки УПР, описание которой приводится ниже.

Проволочные газопламенные аппараты иностранных конструкций

На мировом рынке наибольшей известностью пользуется металлizaционная аппаратура типа «Metco», выпускаемая фирмой Metallizing Engineering Co и типа «Mogul» фирмы Metallizing Co of America. Во многих европейских странах также выпускаются газовые металлizaционные аппараты, отличающиеся друг от друга как по конструкционному выполнению, так и по своим характеристикам.

Представляет интерес тенденция снабжения по желанию заказчика ручных аппаратов для металлизации пневматическим или электрическим приводным двигателем, присоединительные

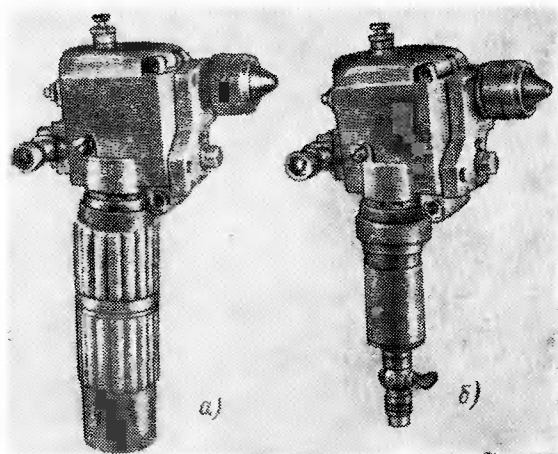


Рис. 36. Проволочные газовые металлизационные аппараты производства предприятия VEB Metallspritztechnik (ГДР):
а — с электроприводом; б — с пневматическим приводом

размеры которых унифицированы. Такие аппараты выпускаются в ГДР предприятием VEB Metallspritztechnik (рис. 36). При расходе воздуха $30 \text{ м}^3/\text{ч}$ с давлением $39 \cdot 10^4$ — $59 \cdot 10^4 \text{ н/м}^2$ они обладают производительностью при распылении стали до $3,5 \text{ кг/ч}$.

Оригинальный по конструкции аппарат марки AD-1 (рис. 37) выпущен в Чехословакии предприятием Kovo-Finís. Корпус этого аппарата не имеет крышки и открытых частей, благодаря чему загрязнение и повышенный вследствие этого износ рабочих деталей сведены до минимума. Приводом механизма подачи является малогабаритный воздушный двигатель, вращение которого передается через редуктор с планетарной передачей. Центробежный регулятор,

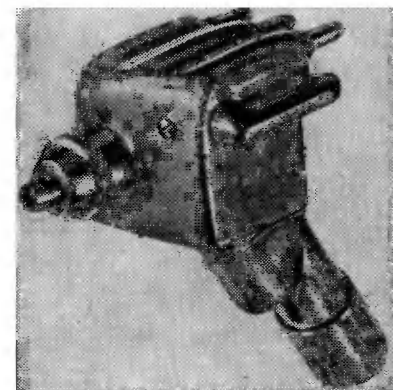


Рис. 37. Проволочный газовый металлизационный аппарат AD-1 чехословацкой фирмы Kovo-Finís

встроенный в рукоятку аппарата, позволяет изменять число оборотов в отношении 1 : 6. Горючим газом может служить как ацетилен, так и пропан. Для распылительной головки аппарата требуется применение проволоки одного и того же диаметра (2,5 мм) для всех металлов. Зажатие проволоки между подающими роликами производится автоматически посредством пневматического механизма одновременно с пуском аппарата в действие. Расход воздуха при давлении $39 \cdot 10^4$ — $44 \cdot 10^4 \text{ н/м}^2$ составляет $25 \text{ м}^3/\text{ч}$. Аппарат имеет небольшую массу $1,2 \text{ кг}$, распыляет до $3,5 \text{ кг/ч}$ стали и до 10 кг/ч цинка.

Наряду с ручными в США, Англии и Франции выпускаются также аппараты станочного типа, характеризующиеся более высокой производительностью; так, например, аппарат «Bloc-GET» французской фирмы Societe Nouvelle de Metallisation при работе на стали имеет производительность 8 — 9 кг/ч , а аппарат «Marke 30», выпускаемый фирмой Metallisation Ltd (Англия), 7 кг/ч .

Аппараты для работы на стержнях

Такие аппараты применяются для нанесения покрытий из керамики, обладающей низкой теплопроводностью, в частности, из окиси алюминия и двуокиси циркония, а также других тугоплавких соединений. Эти аппараты используются также для напыления металлов с особо высокой температурой плавления, например титана, ниобия, молибдена, тантала и др.

Стержневые аппараты рассчитаны на применение в качестве исходного материала для напыления керамических стержней (штабиков) диаметром 3 мм и длиной 300—500 мм. Стержни должны быть прямолинейными, обладать достаточной механической прочностью и не растрескиваться при резком нагреве до расплавления в жестком кислородно-ацетиленовом пламени.

Стержни из керамических материалов специально для газопламенного напыления изготавливаются различными способами. Один из способов состоит в формовании продавливанием через фильер заранее заготовленной тестообразной массы. Ее получают замешиванием напыляемого порошка с каким-либо жидким связующим, который при высыхании затвердевает и придает стержням необходимую механическую прочность.

Другой способ, при котором получают наиболее высококачественные стержни, — спекание отформованных стержней в печах при температуре до 1700°C . В связи со сложностью такого процесса разработан ряд других упрощенных безобжиговых способов изготовления стержней. Эти способы позволяют простыми и доступными средствами готовить стержни достаточно хорошего качества собственными силами даже в лабораторных условиях.

Аппарат МГП-1, разработанный ВНИИАВТОГЕНОм (рис. 38), предназначен для нанесения покрытий только из керамических стержней.

Вращение механизма подачи у этого аппарата осуществляется через гибкий вал, соединенный с выходным валом механического редуктора.

Редуктор приводится в действие электродвигателем, связанным с бесступенчатым фрикционным регулятором числа оборотов. Весь этот узел полностью унифицирован с соответствующим приводом серийно выпускаемого электродугового аппарата для металлизации ЭМ-6. Аппарат МГП-1 отличается от последнего лишь наличием небольшой дополнительной коробки скоростей на две ступени, устанавливаемых в зависимости от свойств напыляемых материалов в пределах от 0,05 до 0,25 и от 0,25 до 1,0 м/мин.

Аппарат МГП-3 (рис. 39) по сравнению с аппаратом МГП-1 является более универсальным и позволяет использовать при нанесении покрытий как керамические стержни, так и прутки или проволоку из тугоплавких металлов. В этой модели механический привод через гибкий вал заменен воздушно-ротационным двигателем, что делает аппарат более маневренным и удобным для оператора. Приводной механизм аппарата МГП-3 полностью унифицирован и используется также в других выпускаемых у нас аппаратах: газопламенном МГП-1 и электродуговом ЭМ-9.

Рис. 38. Аппарат МГП-1 для газопламенного напыления покрытий из керамических материалов

К аппарату МГП-3 прилагается сменная угловая головка, предназначенная для нанесения покрытий на внутренние поверхности цилиндрических втулок с диаметром отверстия свыше 50 мм и глубиной не свыше 100 мм (с одной стороны).

Аппараты МГП-1 и МГП-3 применяются также при нанесении покрытий из гибких струн, которыми пользуются в тех случаях, когда из напыляемого материала нельзя получить проволоку или стержни. Способ изготовления струн разработан ВНИИАВТОГЕНОм и состоит в продавливании через калиброванное отверстие предварительно заготовленной массы, со-

стоящей из напыляемого и связующего порошков. В качестве последнего могут применяться полиэтилен, полиизобутилен, полипропилен, эфиры целлюлозы и др.

Наиболее удобно пользоваться смолой ПОВ-30, представляющей смесь 30% полиэтилена и 70% полиизобутилена, которая берется в количестве 15% по отношению к весу наполнителя.

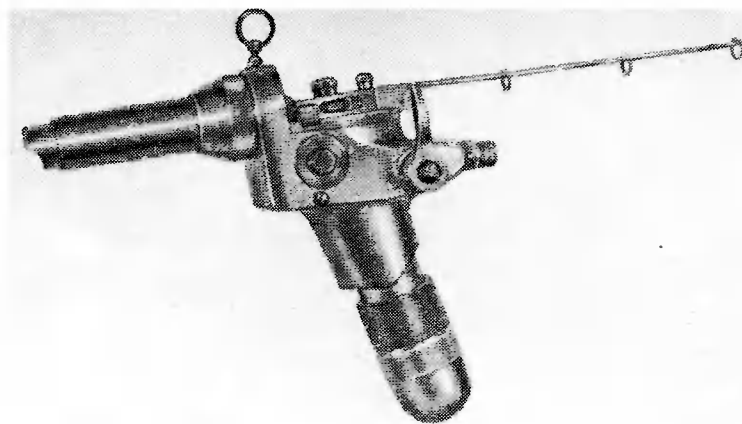


Рис. 39. Аппарат МГП-3 с удлиненной головкой и угловым соплом

Связующую смолу вальцуют на горячих вальцах при температуре 137—147°С до получения тонкой пленки, в которую постепенно подсыпается высокодисперсный порошок наполнителя. Полученная масса измельчается и формируется.

Прочность и эластичность гибких струн позволяют применять их наряду со стержнями и проволокой. При напылении с использованием гибких струн могут напыляться только материалы с хорошей теплопроводностью, так как смоляная связка значительно ухудшает условия прогрева частиц порошка, вследствие чего материалы, плохо проводящие тепло, за очень короткое время полета через пламя (0,02—0,03 сек) не успевают нагреться до требуемой температуры.

Поэтому процесс напыления с использованием гибких струн является относительно малопродуктивным и сопровождается значительными (до 80%) потерями напыляемого материала.

Применение этого способа целесообразно лишь в отдельных случаях, если необходимо получить покрытия из многокомпонентных смесей и сложных соединений. Технические характеристики аппаратов для газопламенного напыления даны ниже.

Аппаратура для работы на порошках присущи следующие достоинства:

- 1) простота конструкции и отсутствие в них трущихся и быстроизнашиваемых деталей;
- 2) распространенность порошковых материалов и более низкая их стоимость;
- 3) возможность с их помощью наносить покрытия из смесей различных материалов с заданным соотношением составляющих компонентов.

Посредством имеющейся в настоящее время порошковой аппаратуры наносятся покрытия из материалов с различной темпера-

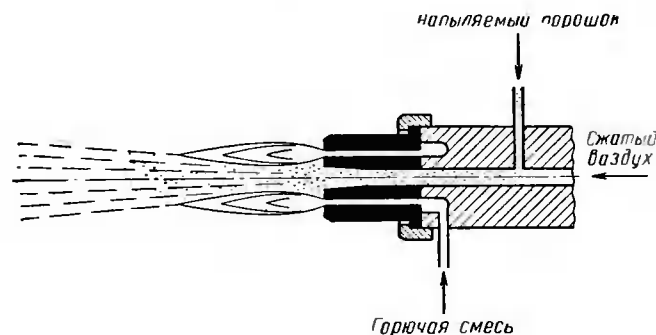


Рис. 40. Схема устройства газопламенных головок для напыления покрытий из порошковых материалов

турой плавления: от легкоплавких пластмасс до тугоплавкой керамики.

Принцип действия порошковых аппаратов поясняется схемой (рис. 40). Напыляемый порошок загружается в питательный бачок, откуда в строго дозируемом количестве подается в распылительную головку. Проходящие сквозь пламя частицы порошка расплавляются или размягчаются и в таком состоянии струей газа набрызгиваются на поверхность.

У всех порошковых аппаратов наиболее ответственным узлом является порошковый питатель, который должен обеспечивать регулировку количества подаваемого порошка в узких пределах, устойчивость заданной подачи и отсутствие в процессе работы питателя сепарации загруженного в него порошка.

Ни одна из существующих конструкций питателей в полной мере не удовлетворяет этим требованиям, если для работы используются порошки, не обладающие достаточно хорошей сыпучестью и специально указываемым в инструкции гранулометрическим составом. Все конструкции питательных бачков обычно снабжаются

Характеристика	Марка аппарата		
	МГИ-1	МГП-1	МГП-3
Масса (вес) без плангов в кг	2	1,4	1,9
Назначение . . .	Все виды работ по металлизации вручную	Нанесение покрытий из керамических материалов	Напыление керамики и тугоплавких металлов
Исходный материал для напыления	Проволока $\varnothing 1,5 - 3,0$ мм	Керамические стержни (штабики) $\varnothing 3$ мм	Керамические стержни или металлические прутки $\varnothing 3,0$ мм
Скорость подачи в м/мин . . .	0,7—6,0	0,05—0,25 (I ступень), 0,25—1,0 (II ступень)	0,1—0,85
Рабочие газы . .	Сжатый воздух, кислород, ацетилен (или другие горючие газы: пропан, метан и т. д.)	Сжатый воздух, кислород, ацетилен	
Давление в н/м ² :			
воздуха . .	$39 \cdot 10^4 - 44 \cdot 10^4$	$39 \cdot 10^4 - 49 \cdot 10^4$	$29 \cdot 10^4 - 39 \cdot 10^4$
кислорода . .	$20 \cdot 10^4 - 69 \cdot 10^4$	$39 \cdot 10^4 - 49 \cdot 10^4$	$29 \cdot 10^4 - 39 \cdot 10^4$
ацетилена . .	$0,039 \cdot 10^4 - 5,9 \cdot 10^4$	$7,8 \cdot 10^4 - 9,8 \cdot 10^4$	$9,8 \cdot 10^4 - 10,9 \cdot 10^4$
метана и пропан-бутана	$1 \cdot 10^4 - 4,9 \cdot 10^4$	—	—
Расход воздуха в м ³ /мин:	0,7	0,5	0,5—0,6
кислорода в л/ч . . .	650—2000	1500—1700	1800—2300
ацетилена в л/ч	250—850	600—750	1100—1250
пропан-бутана в л/ч	150—450	—	—
метана в л/ч	500—1000	—	—
Производительность в кг/ч при применении:			
ацетилена . .	2,7 *	5,4 **	0,05—0,1 ***
пропан-бутана	1,6	6,2	—
метана . . .	1,3	5,4	—

* Производительность дана при использовании проволоки из стали Ст. 3.
 ** То же, из цинка.
 *** То же, для окиси алюминия.

различного типа вибраторами, которые облегчают просыпание порошка и прохождение его в коммуникационных каналах.

В настоящее время выпускаются аппараты для нанесения покрытий из порошков пластмасс, металлов и тугоплавкой керамики.

Аппаратура для нанесения покрытий из пластмасс и металлов

Установка УПН-4 (рис. 41) для порошкового напыления, серийно выпускаемая в Советском Союзе, позволяет наносить покрытия из высокополимерных смол и композиций на их основе с темпера-

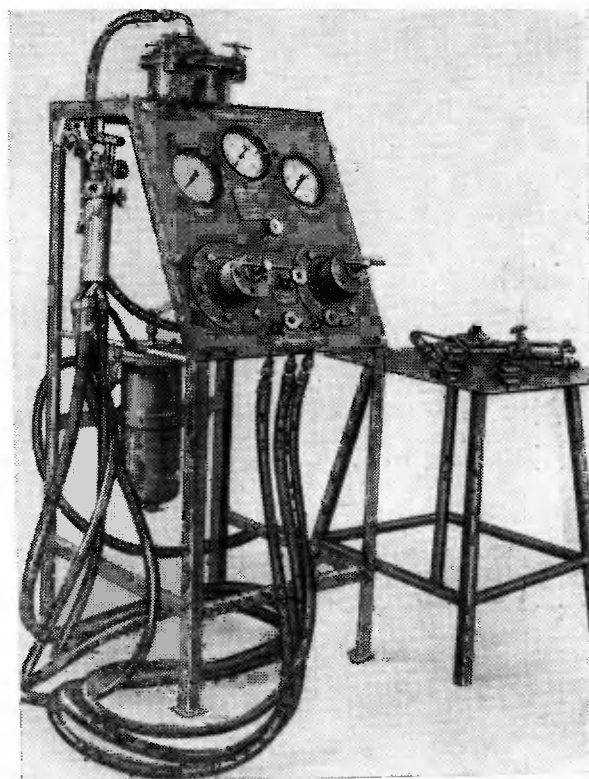


Рис. 41. Установка УПН-4 для газопламенного напыления покрытий из пластмасс

турой плавления до 500°C , а также металлов и других плавких материалов с температурой плавления до 1200°C . Установка состоит из питательного бачка (ППН-4), подвешенного на стойке с приборами, и двух сменных распылительных горелок, одна

из которых (ГЛН-4) предназначена для напыления только пластмасс, а другая (ГТН-4) — более тугоплавких материалов.

В установке УПН-4 подача порошка из питательного бачка в распылительную головку может производиться всасыванием, нагнетанием и смешанным способом. В первом случае имеющийся в горелке воздушный инжектор засасывает из питателя воздушно-порошковую взвесь, образуемую в нем струей всасываемого из атмосферы воздуха. Такая схема применяется при напылении легкоплавких материалов, которые наносят горелкой ГЛН-4, работающей на воздушно-ацетиленовом пламени. Подачей по второй схеме пользуются при напылении порошков с температурой плавления $900\text{--}1200^{\circ}\text{C}$. Их напыление производится горелкой ГТН-4 с применением ацетилено-кислородного пламени. В этом случае порошок в питателе захватывается струей воздуха, подаваемого в него под небольшим давлением ($0,98 \cdot 10^4\text{--}4,9 \cdot 10^4\text{ н/м}^2$) от компрессора.

Смешанную схему рекомендуется применять при напылении металлических порошков с температурой плавления $500\text{--}900^{\circ}\text{C}$. Установка УПН-4 снабжена специальным пневматическим клапаном, который блокирует распылительную горелку с вибратором так, что последний включается одновременно с пуском порошка и с прекращением его подачи автоматически отключается.

Порошковые аппараты иностранных конструкций

Из иностранных аппаратов порошкового типа представляют интерес установка «Шори» (Англия) и аппараты конструкции Центрального института сварки типа WS-III и WS-II, выпускаемые фирмой Schütze (ГДР).

Установка «Шори» (рис. 42) состоит из распылительного аппарата, питателя для порошка и подвесного приборного щитка. Аппарат работает на ацетилено-кислородном пламени и предназначен для нанесения покрытий из порошков органических смол и металлов. Порошковый питатель состоит из сосудов, работающих по принципу песочных часов. При прохождении через соединительный патрубок порошок, просыпавшийся из верхнего сосуда в нижний, захватывается струей воздуха и вместе с ним направляется в распылительную головку аппарата. Для устранения слеживания порошка на соединительном патрубке закреплен электромагнитный вибратор.

Очень просты и удобны в эксплуатации аппараты типа WS-III. Основой их конструкции является аппарат для пневматической окраски распылением, на головке которого устанавливается съемный кольцевой мундштук газовой горелки (рис. 43).

Аппарат предназначен для напыления пластмасс и работает на смеси ацетилена с воздухом. Смесь готовится в инжекторном смесителе, работающем по принципу бунзеновской горелки.

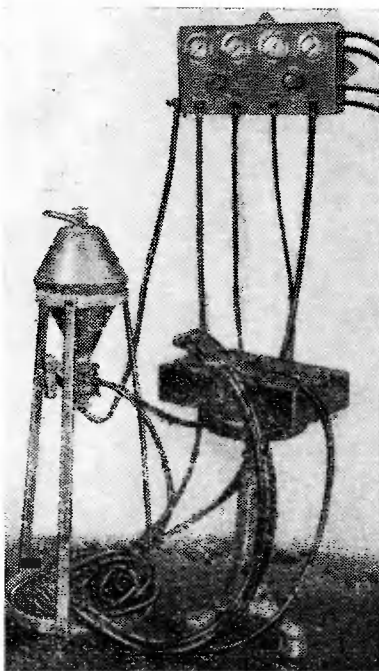


Рис. 42. Установка «Шори» (Англия) для газопламенного напыления покрытий из пластмасс и металлов

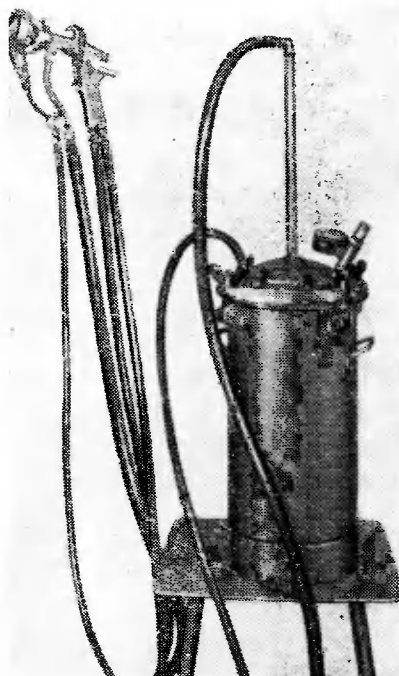


Рис. 43. Установка WS-III (ГДР) для газопламенного напыления пластмасс

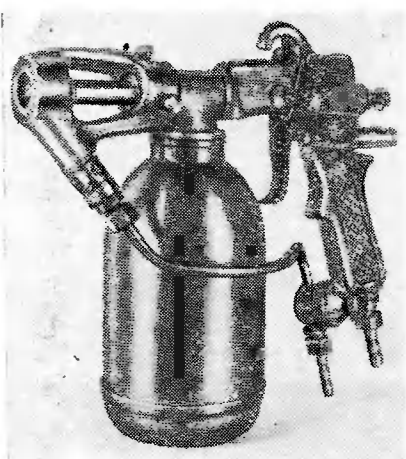


Рис. 44. Аппарат WS-II (ГДР) для газопламенного напыления пластмасс со съемным порошковым бачком

Внутри питательного бачка имеется ряд сопел, выходя из которых, воздух уносит порошок в головку аппарата.

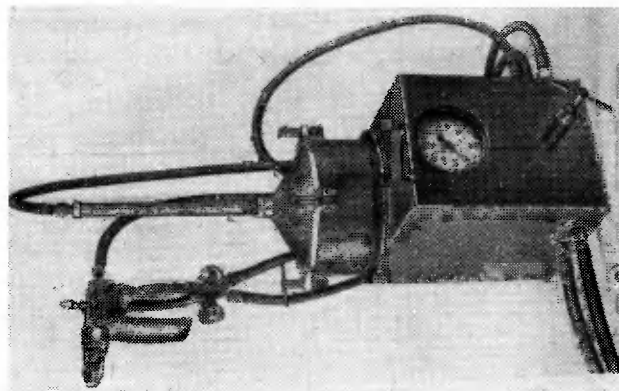
Для небольших работ удобно пользоваться аппаратом WS-II, у которого питатель заменен небольшим съемным сосудом, как показано на рис. 44.

Аппаратура для напыления керамики и тугоплавких соединений

Установка УПН-5 (рис. 45, а) для нанесения покрытий из порошковой окиси алюминия и других керамических материалов с температурой плавления до 2300°C разработана ВНИИАВТОГЕНОм. Характерная особенность ее конструкции состоит в том, что распыление расплавленных частиц материала производится непосредственно струей продуктов сгорания, без применения сжатого воздуха.

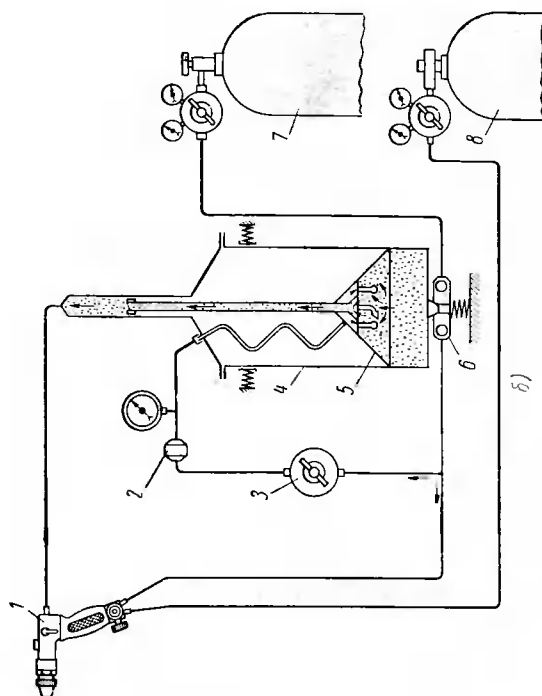
Такой способ распыления устраняет излишнее охлаждение пламени сжатым воздухом и позволяет повысить его температуру. Устройство и работа установки видны из рис. 45, б. Порошок из питательного бачка в распылительную головку подается струей кислорода, который обогащает собой рабочую смесь и участвует в горении. Установка УПН-5 в основном предназначена для нанесения покрытий из окиси алюминия и, в частности, из технического глинозема марки Г-00, но позволяет производить напыление и других материалов, допускающих непосредственный контакт с газообразным кислородом. Для расплавления летящих с большой скоростью и плохо проводящих тепло керамических частиц требуется длиннофакельное пламя повышенной мощности. При таком пламени неизбежен значительный нагрев покрываемой поверхности, температура которой может достигать $600—700^{\circ}\text{C}$ и выше. Поэтому при нанесении покрытий на тонкостенные изделия и детали с малой массой обычно возникает необходимость отводить тепло и уменьшать местный нагрев покрываемого участка поверхности. Для этого распылительная горелка УПН-5 снабжается съемным кольцевым наконечником, в который подается сжатый воздух. Концентрически охватывая факел пламени, кольцевая струя воздуха охлаждает поверхность вокруг напыляемого участка, не вызывая при этом снижения температуры самого пламени и расплавленных частиц. Во многих случаях такое охлаждение бывает недостаточным и дополняется другими способами отвода тепла: орошением противоположной стороны изделия водой, обдувом его сжатым воздухом и т. п.

Аппарат «Metco-2p» (рис. 46) наиболее широко используется в США и многих странах Европы для нанесения покрытий из порошков тугоплавких материалов. С его помощью наносят покрытия из окиси алюминия, двуокиси циркония, силиката циркония, никрома и ряда патентованных самофлюсующихся сплавов.



a)

— общий вид; б — схема работы; 1 — распылительный пистолет; 2 — фильтр; 3 — регулятор давления; 4 — бачок; 5 — конус; 6 — вибратор; 7 — баллон с кислородом; 8 — баллон с ацетиленом



б)

Рис. 45. Установка УПН-5 для газопламенного напыления покрытий из окиси алюминия;

Аппарат работает на кислородно-ацетиленовой или кислородно-водородной горючей смеси и производит напыление струей продуктов сгорания без применения сжатого воздуха. Порошок напыляемого материала загружается в небольшой, закрепленный на корпусе аппарата съемный бачок, откуда под действием собственного веса он сыпается в смесительную камеру. Здесь он захватывается струей горючего газа и вместе с ним поступает в распылительную головку. Количество порошка, попадающего в смесительную камеру, регулируется перестановкой сменных дюзов с проходными отверстиями разного диаметра. Для улучшения условий сыпания порошка аппарат снабжается небольшим электровибратором. При отключении подачи порошка головка аппарата может служить обычной горелкой для подогревания деталей и оплавления нанесенных покрытий термодиффузионного типа. При работах, требующих больших расходов порошка, вместо съемного бачка пользуются специальным бункером емкостью 10—12 кг. Аппарат комплектуется также двумя распылительными головками для напыления металлических и керамических порошков и угловой головкой для нанесения покрытий внутри отверстий. Производительность аппарата составляет 3,5—4,5 кг/ч при эффективности использования напыляемого материала 90%.

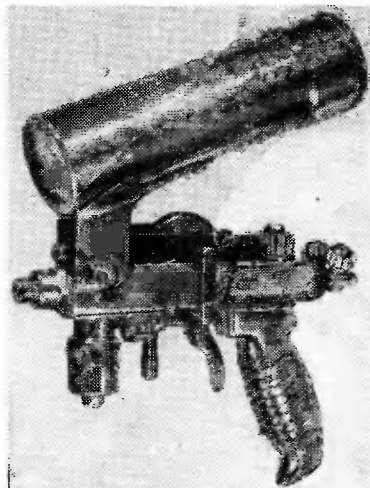


Рис. 46. Аппарат Metco (США) для газопламенного напыления покрытий из тугоплавких металлов и керамики

Ниже приводятся технические характеристики газопламенных порошковых аппаратов советского производства.

Технические характеристики газопламенных аппаратов для нанесения покрытий из материалов в виде порошка

Наименование	Марка аппарата	
	УПН-4Л	УПН-5
Назначение	Напыление органических полимеров и металлов с температурой плавления до 500° С	Напыление окиси алюминия и других керамических материалов с температурой плавления до 2300° С

Наименование	Марка аппарата	
	УПН-4Л	УПН-5
Габаритные размеры установки в мм . . .	410×450×1120	280×400×700
Общая масса (вес) в кг . . .	30	15
Масса распылительной горелки без плангов в кг	1,2	1,2
Требуемые давления в н/м ² :		
сжатого воздуха . . .	29,5 · 10 ⁴ —39 · 10 ⁴	19,5 · 10 ⁴ —39 · 10 ⁴
кислорода	—	54 · 10 ⁴ —59 · 10 ⁴
ацетилена	Не ниже 0,049 · 10 ⁴	4 · 10 ⁴ —5 · 10 ⁴
Расход:		
сжатого воздуха в м ³ /ч	0,2—0,3	18—30
кислорода в л/ч	—	5000—5500
ацетилена в л/ч	200—300	1500—1700
Зернистость напыляемого порошка в мм . . .	0,15—0,25	0,03—0,07
Средняя производительность в кг/ч	2,5	1,2—1,3

Аппараты для напыления жидких и вязко-текучих материалов

Для нанесения покрытия из порошков с плохой сыпучестью существующие конструкции питателей малопригодны, так как не обеспечивают необходимой надежности регулировки и стабильности подачи порошка в распылительную головку. Этого недостатка лишен предложенный ВНИИАВТОГЕНОм новый способ напыления, основанный на применении напыляемого материала в виде суспензии, у которой жидкой фазой является горючее, полностью сгорающее в процессе напыления. Такой способ дает возможность применять совершенно непригодные для обычных способов порошкового напыления пылевидные и плохосыпучие порошки, которые в виде жидкой суспензии легко подаются в камеру сгорания горелки в точно дозированном количестве. Жидкой основой суспензии служит обычный торговый керосин, в котором растворяется 1,5% натурального пластифицированного каучука НК. Последний является стабилизатором, препятствующим осаждению твердых частиц и обеспечивающим неизменность свойств приготовленной суспензии в течение 20—30 суток. В такой раствор вводится 25—30% (по весу) просушенного мелкодисперсного порошка с размерами частиц не выше 5 мкм. Перетиранием небольших порций порошка с раствором сначала получают сметанообраз-

ную массу, которая при дальнейшем разбавлении и перемешивании доводится до рабочей консистенции.

Установка УПР-1 (рис. 47, а) позволяет наносить покрытия из суспензий. Установка состоит из ручной распылительной горел-

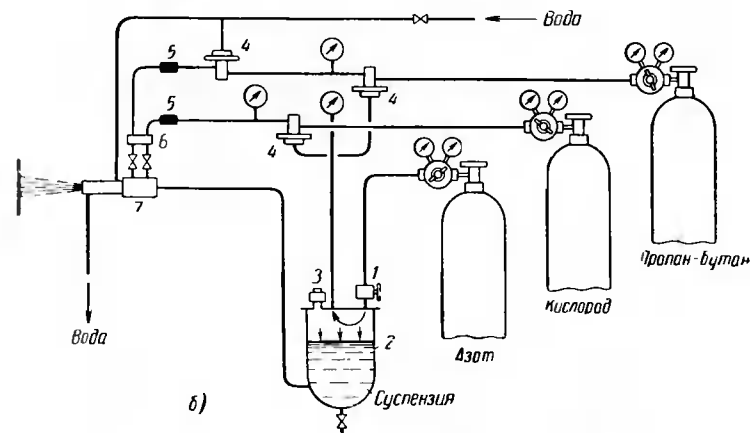
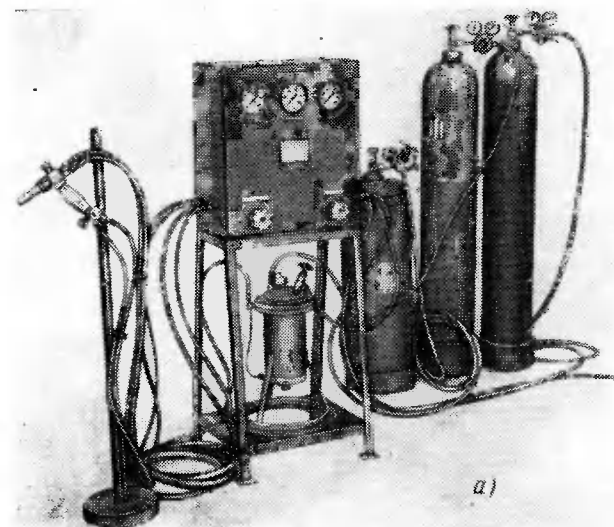


Рис. 47. Установка УПР-1 для нанесения покрытий из суспензий:

а — общий вид; б — схема работы установки УПР-1; 1 — переключатель; 2 — бачок; 3 — предохранительный клапан; 4 — регулятор пропорционального давления; 5 — обратный клапан; 6 — газовый рубильник; 7 — распылительная горелка

ки, бачка для суспензии и пульта управления. В основу конструкции распылительной горелки положен принцип ракетного сгорания

топлива. Сгорание происходит внутри камеры сгорания при повышенном давлении. При таком устройстве продукты сгорания и расплавленные частицы материала выходят из сопла горелки со сверхзвуковыми скоростями (1200—1500 м/сек), что дает возможность получать покрытия повышенной плотности. Рабочим газом для горелки УПР-1 является пропан-бутановая смесь с кислородом. Смесь при выходе в камеру сгорания захватывает и распыляет суспензию, подаваемую в камеру из бачка под давлением. Для предотвращения прогорания стенок камеры сгорания последняя охлаждается проточной водой. Режим работы распылительной горелки устанавливается с помощью пульта, который снабжен блокировочными приборами, обеспечивающими безопасность эксплуатации установки. Принципиальная схема работы установки УПР-1 приведена на рис. 47, б, а техническая характеристика дается ниже.

Конструкция распылительной горелки требует строгого постоянства и равенства давлений поступающих в нее кислорода и пропан-бутана. Это требование удовлетворяется с помощью регуляторов, которые автоматически устанавливают давление, определяемое давлением задающего газа. Таким газом является азот, который под давлением $58 \cdot 10^4$ — $78 \cdot 10^4$ н/м² из баллона направляется в бачок с суспензией и одновременно к регуляторам пропорционального давления, установленным на кислородной и пропан-бутановой линиях. Чтобы предотвратить возможность распыления сопла горелки в случае ее пуска в работу при выключенном охлаждении, пропан-бутановая смесь проходит через мембранный клапан. Последний заблокирован с водопроводной линией так, что при отсутствии в системе охлаждения напора подача горючего газа в распылительную горелку делается невозможной.

Установкой УПР-1 могут наноситься покрытия из дисилицида молибдена, карбида кремния, хрома с окисью алюминия и других материалов. Вследствие большой тепловой мощности горелки и высокой скорости газовой струи при напылении покрываемая поверхность сильно перегревается, что при последующем ее охлаждении вызывает растрескивание и разрушение покрытия. Поэтому применение установки УПР-1 обычно связано с необходимостью одновременно с напылением осуществлять энергичное охлаждение покрываемого изделия.

Техническая характеристика установки УПР-1

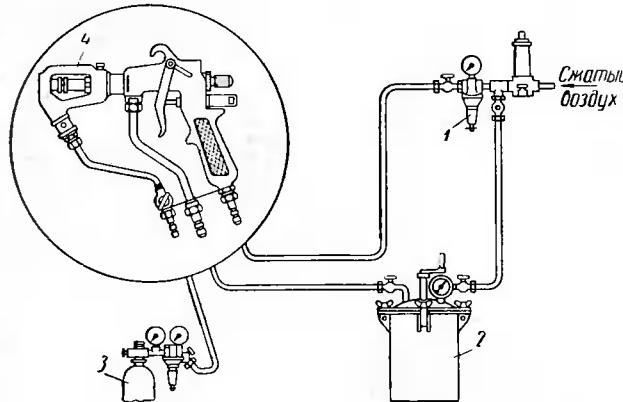
Габаритные размеры установки в мм	270 × 480 × 1370
Масса (вес) основных узлов в кг:	
пульта управления	50
питательной бачка	15
распылительного аппарата	1,3
Потребляемые газы и их рабочее давление в н/м ² :	
пропан-бутан	$49 \cdot 10^4$ — $67 \cdot 10^4$
кислород	$49 \cdot 10^4$ — $67 \cdot 10^4$
азот	$59 \cdot 10^4$ — $78 \cdot 10^4$
Расход газов в м ³ /ч:	
пропан-бутана	1,5
кислорода	7,5
азота	0,015

Размер твердых частиц для приготовления суспензии в мм	Не свыше 6
Количество твердой фазы в суспензии в %	До 25
Производительность (по суспензии) в кг/ч	1,3
Эффективность напыления в %	~ 30

Аппарат WS-VI (рис. 48) разработан Центральным институтом сварки в Гаале (ГДР) и предназначен для нанесения покрытий из пластмасс, находящихся в вязко-текучем состоянии. Этим способом наносятся покрытия из полихлорвиниловых пластизолов, представляющих собой вязкие композиции, состоящие из полихлорвинила и пластификатора. При нагревании в процессе напыления пластизолы переходят в гели, образующие сплошные эластичные

Рис. 48. Установка WS-VI (ГДР) для нанесения покрытий из полихлорвиниловых пластизолов:

1 — регулятор давления; 2 — нагнетательный бачок; 3 — баллон с горючим газом; 4 — распылительный аппарат



покрытия. В распылительную головку пластизол подается из бачка, устройство которого аналогично красконагнетательным бачкам, применяемым при окраске распылением. С помощью аппарата WS-VI наносят полихлорвиниловые покрытия значительной толщины (2—3 мм) преимущественно с целью защиты от коррозии оборудования вместо облицовки его поверхности листовым хлорвиниловым пластиком. Производительность напыления пластизолами при толщине слоя 2 мм составляет 2—2,5 м³/ч.

АППАРАТУРА ДЛЯ НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЙ ГАЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ СПОСОБАМИ НАПЫЛЕНИЯ

В газозлектрической аппаратуре для плавления распыляемого материала используется энергия электрического тока.

Тигельные аппараты

Тигельные аппараты предназначены для работы на расплавленном металле. Обычно они состоят из сосуда (тигля), обогреваемого проволоочным или другим электросопротивлением. Тигель загружают кусковым либо предварительно расплавленным жидким

металлом. По выходе из отверстия сопла металл захватывается струей сжатого воздуха и распыляется.

Для распыления пользуются нагретым до 200°C и выше воздухом, который подается в тигельные аппараты воздухоподогревателями, монтируемыми вместе или раздельно с распылительным устройством.

Известен ряд как стационарных, так и малогабаритных тигельных аппаратов для ручных работ.

В последнем случае воздух нагревается в трубчатом змеевике, через который пропускается соответственной мощности электри-

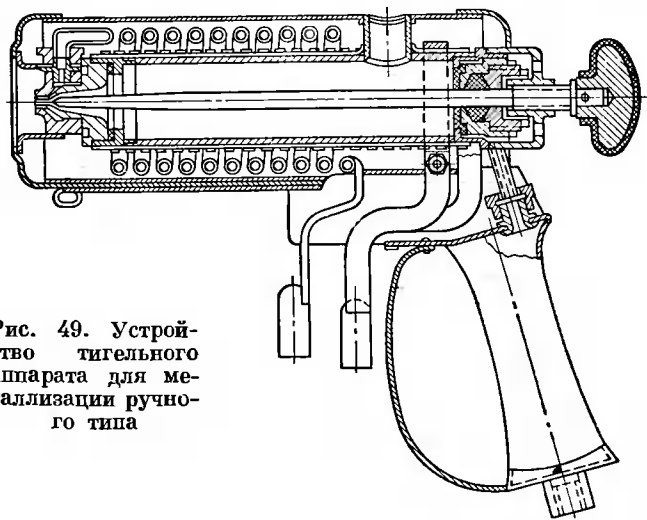


Рис. 49. Устройство тигельного аппарата для металлизации ручного типа

ческий ток низкого напряжения, подаваемый от вторичной обмотки сварочного трансформатора (рис. 49).

Вследствие недостатков, присущих как стационарным, так и ручным тигельным аппаратам, они применяются относительно редко и только для напыления легкоплавких металлов. Их применение ограничивается неудобством эксплуатации, связанным с засариванием сопла шлаками, затвердеванием металла в каналах при остановках аппарата, необходимостью частой смены сопел и т. д.; кроме того, этими аппаратами невозможно выполнять потолочные работы. Вместе с тем в отдельных случаях в условиях массового производства для напыления олова, свинца и некоторых легкоплавких сплавов использование тигельных аппаратов может быть технически и экономически целесообразным. Примером этого является изготовление шайб селеновых выпрямителей, на которые селеновый слой до настоящего времени на ряде предприятий наносится с помощью стационарных аппаратов тигельного типа.

Аппараты электродугового типа

В Советском Союзе аппараты электродугового типа наиболее распространены и выпускаются крупными сериями. С их помощью можно наносить покрытия только из металлов в виде проволоки, которая в процессе работы служит образующими электрическую дугу плавящимися электродами.

Принцип работы электродуговых аппаратов поясняется схемой (рис. 2); технические характеристики даны ниже.

Аппарат ЭМ-3А (рис. 50) предназначен для всех видов ручных работ по металлизации с применением как переменного, так и постоянного тока. Он работает на проволоке диаметром 1—2 мм. Привод механизма подачи осуществляется воздушной турбиной, связанной с центробежным регулятором числа оборотов, который автоматически поддерживает заданную скорость подачи проволочных электродов. Распылительная головка снабжена подвижными и легко заменяемыми направляющими пластинами, а также пружинными контактами, конструкция которых обеспечивает надежность работы головки, удобство ее регулировки и легкость замены быстроизнашиваемых деталей.

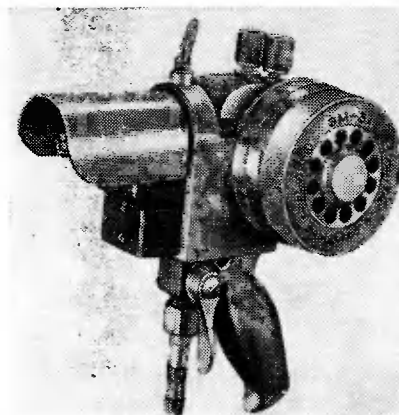


Рис. 50. Ручной электродуговой аппарат для металлизации ЭМ-3А

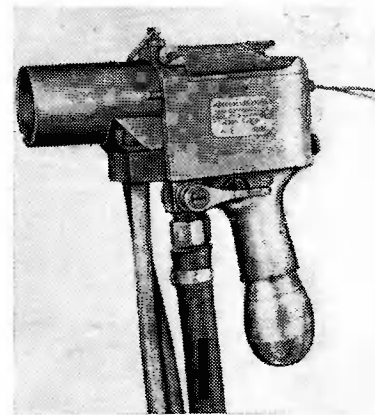


Рис. 51. Ручной электродуговой аппарат для металлизации ЭМ-9

Аппарат ЭМ-9 (рис. 51) по своему назначению аналогичен аппарату ЭМ-3А и является его усовершенствованной моделью. Он представляет собой ручной аппарат, позволяющий выполнять все виды работ по металлизации с применением проволоки диаметром 1—2 мм, и отличается в основном конструкцией привода, которым служит более компактный и менее быстроходный воздушный двигатель ротационного типа. Привод аппарата ЭМ-9

унифицирован с приводом аппарата для газовой металлизации МГИ-1 и вместе с центробежно-фрикционным регулятором числа оборотов встроены в рукоятку аппарата

Сравнительно с аппаратом ЭМ-3А аппарат ЭМ-9 более производителен, имеет меньший вес, лучше сбалансирован и более удобен в эксплуатации.

Электрометаллизатор типа ЭМ-9 выпускается крупными сериями.

Аппарат ЭМ-6 (рис. 52) станочного типа предназначен преимущественно для работ по напылению стали при восстановлении

геометрических размеров изношенных деталей и имеет широкое распространение. Обычно аппарат закрепляется на суппорте токарно-винторезного станка, на котором производится металлизация тел вращения, но часто используется и для других видов работ по напылению цветных металлов, как, например, металлизация массовых изделий, крупногабаритных емкостей и т. д.

Аппарат ЭМ-6 состоит из червячно-шестеренчатого редуктора, механизма подачи проволоки и распылительной головки. Редуктор заключен в заполненный смазкой корпус и приводится в движение от электрического двигателя через бесступенчатый фрик-

ционный регулятор числа оборотов. Последний снабжен лимбом с градуированной шкалой скоростей, позволяющей точно устанавливать требуемый режим подачи проволоки и поддерживать его.

Выходной вал редуктора связан с расположенным на боковой стенке корпуса механизмом подачи проволоки, подающим ее в распылительную головку.

Этот узел является съемным и позволяет устанавливать ось распылительной головки под необходимым углом по отношению к покрываемой детали.

Пуск и остановка приводного двигателя, а также подача и отключение тока, питающего электрическую дугу, производятся с помощью тумблеров, расположенных на корпусе аппарата.

Все узлы аппарата ЭМ-6 рассчитаны на тяжелые условия работы, поэтому сравнительно с электродуговыми аппаратами ручного типа он отличается высокой надежностью в эксплуатации и повышенной долговечностью.

Аппарат МЭС-1 (рис. 53) является специализированным аппаратом и предназначен для металлизации шеек коленчатых валов автомобилей, тракторных и других двигателей. Он представляет собой модифицированный вариант станочного аппарата ЭМ-6, отличающийся от него только конструкцией узла механизма подачи и распылительной головки. Токонесущие шины и направля-

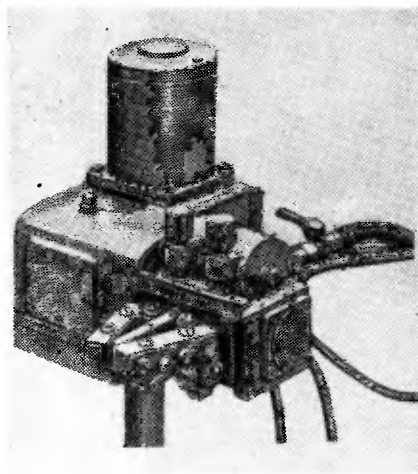


Рис. 52. Станочный электродуговой аппарат для металлизации ЭМ-6 (защитный колпак с головки снят)

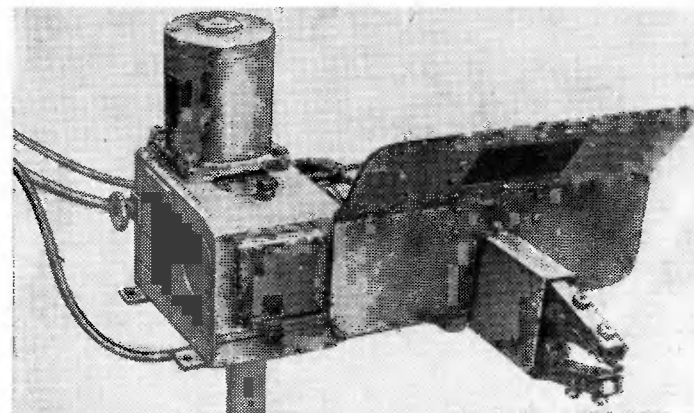


Рис. 53. Станочный электродуговой аппарат МЭС-1 для металлизации шеек коленчатых валов

ющие пластины у этого узла расположены в вертикальной плоскости, вследствие чего достигается возможность вводить головку в зазор между боковыми щеками шеек вала при расстоянии между ними 45—50 мм.

Головка аппарата МЭС-1 вместе с механизмом подачи проволоки представляет собой сменный узел к серийному аппарату ЭМ-6 и устанавливается на нем по мере необходимости в соответствии с родом выполняемой работы.

По своим техническим характеристикам аппарат МЭС-1 ничем не отличается от аппарата ЭМ-6.

Трехпроводная головка МТГ (рис. 54) является приставным узлом специального назначения, работающим от привода стандартного аппарата ЭМ-6. Она служит для распыления двух или трех разнородных металлов и получения таким путем из недефицитных металлов покрытий из псевдосплавов, обладающих высокими антифрикционными свойствами.

Такие покрытия применяют при изготовлении и ремонте различного вида втулок и подшипников для экономии бронз и баббитов.

Особенность головки МТГ состоит в том, что она производит плавление и распыление трех проволоочных электродов одновременно, причем два из них движутся с одинаковой скоростью, а скорость подачи третьего (среднего) может регулироваться относительно двух других посредством сменных зубчатых колес

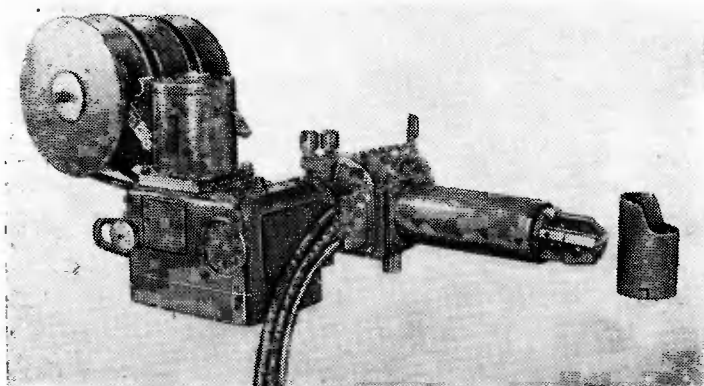


Рис. 54. Аппарат ЭМ-6 с трехпроволочной головкой МТГ для нанесения покрытий из антифрикционных псевдосплавов

в широких пределах. Таким образом, применяя электроды из разных металлов, можно за счет разности их диаметров и скорости подачи получать покрытия с заранее заданным весовым соотношением входящих в них компонентов.

Головка МТГ комплектуется стойкой для проволоочных катушек и специальным кронштейном, который вместе с аппаратом жестко закрепляется на суппорте станка.

Питание головки МТГ электрическим током может производиться по различным электрическим схемам. При наличии трехфазных сварочных трансформаторов от каждой из трех катушек низкого напряжения делаются отводы на напряжение со ступенями 20—25—30—35 в, которые закрепляются на клеммной доске. Ток от каждой из трех фаз подается на проволоочные электроды. При этом горение дуги происходит между каждым из электродов и двумя остальными, что обеспечивает равномерность распределения выделяемого тепла между тремя электродами и наибольшую стабильность процесса. Тот же результат получается при применении блока из трех однофазных сварочных трансформаторов.

Трехпроволочная головка может также работать по упрощенной схеме питания от одного сварочного трансформатора. Для этого от каждой из двух его катушек низкого напряжения делаются отводы на напряжение 20 в, а сами катушки подключаются по системе открытого треугольника (рис. 55). При этом напряжение между одной парой электродов будет вдвое больше (40 в), чем между двумя смежными (20 в). Поэтому рекомендуется на два крайних электрода подавать напряжение 40 в, а на средний 20 в. При таком включении между средним электродом и каждым из крайних напряжение будет одинаковым и равно 20 в.

Трехфазный металлизатор ТМ-2 (рис. 56, конструкции ВПТИ тяжелого машиностроения), так же как и трехпроволочная головка МТГ, предназначен специально для нанесения антифрикционных псевдосплавов на внутренние поверхности, но может применяться и для металлизации наружных поверхностей, для чего он снабжается сменной головкой.

Механизм подачи проволоки приводится в движение электродвигателем, связанным с шестеренчатой коробкой передач, позволяющей устанавливать восемь ступеней скорости подачи в пределах от 1,5 до 4 м/мин. Из трех подаваемых в распылительную головку проволоочных электродов скорость подачи среднего электрода относительно двух крайних может изменяться сменой зубчатых колес.

Такое изменение скоростей подачи, а также применение электродной проволоки различного диаметра (в пределах 1,8—2,5 мм) позволяют получать покрытия с заданным составом компонентов.

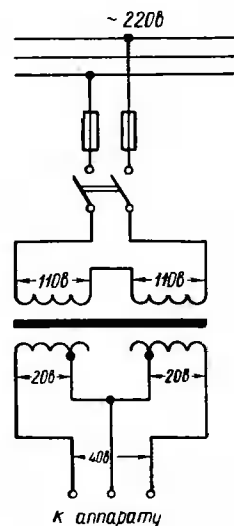


Рис. 55. Схема питания трехпроволочного электродного аппарата для металлизации однофазным трапсформатором

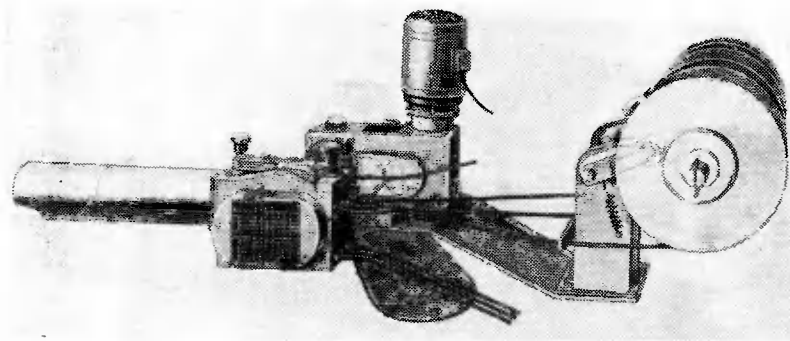


Рис. 56. Электродуговой трехфазный аппарат ТМ-2

**Технические характеристики металлizaционных аппаратов
электродугового типа**

Наименование	Марка аппаратов			
	ЭМ-3А	ЭМ-9	ЭМ-6	ТМ-2
Назначение	Производство всех видов работ по металлизации вручную		Нанесение металлizaционных покрытий на станках	
Масса (вес) в кг	2,4	1,9	21	30
Диаметр применяемой проволоки в мм	1,2—2,0	1,2—2,0	1,5—2,5	1,8—2,5
Привод механизма подачи	Встроенная воздушная турбина	Встроенный воздушно-ротационный двигатель	Трехфазный электродвигатель	
Регулирование скорости подачи	Центробежно-фрикционными регуляторами		Бесступенчатым вариатором фрикционного типа	Восьмиступенчатой коромысистой скоростей
Скорость подачи в м/мин	0,6—2,5	0,6—5,0	0,7—4,5	1,5—4,0
Давление сжатого воздуха в н/м²	$34 \cdot 10^4$ — $59 \cdot 10^4$	$44 \cdot 10^4$ — $59 \cdot 10^4$	$39 \cdot 10^4$ — $49 \cdot 10^4$	$44 \cdot 10^4$ — $59 \cdot 10^4$
Расход сжатого воздуха в м³/ч	1,0—1,2	1,0—1,1	0,8—0,9	0,8
Источник питания электрическим током	Однофазный трансформатор или сварочный преобразователь постоянного тока			Трехфазный трансформатор (или три однофазных)
Напряжение в в	20—30	20—40	20—40	20—40
Рабочий ток в а	До 300	180	До 500	До 900
Максимальная производительность в кг/ч при распылении:				
цинка	5,0	6—8	18	5—15
стали	3,5	4—5	13	—

Для питания аппарата ТМ-2 переменным током пользуются тремя сварочными трансформаторами (например, СТЭ-34) без регуляторов тока, которые включаются в цепь по схеме треугольника. Так же как и для однофазных электродуговых аппаратов, вторичные обмотки трансформаторов снабжаются отводами на 20—25—30—35—40 в.

Аппарат ТМ-2 закреплен на установочной плите и вместе с проволочными катушками может вращаться в горизонтальной плоскости, а также устанавливаться в вертикальной плоскости под углом до 45°.

Электродуговые аппараты иностранных конструкций

Аппараты для электрометаллизации, пригодные для промышленного применения, впервые были разработаны в Советском Союзе, ведущая роль которого в области конструирования и объема применения электрометаллизационной аппаратуры до настоящего времени никем не превзойдена. В противоположность капиталистическим странам, где исключительное применение имеет газовая металлизация, в Советском Союзе преобладающее количество работ по металлизации выполняется с помощью электрометаллизационных аппаратов отечественного производства.

В последние годы в ряде стран появились электрометаллизационные аппараты, конструкции которых представляют известный интерес. Из ручных аппаратов электродугового типа заслуживает внимания, в частности, аппарат (рис. 57) фирмы Машиненбаум (ФРГ).

Аппарат выпускается в двух вариантах: с пневматическим или электрическим приводом механизма подачи. Пуск тока на дугу у этого аппарата производится с помощью расположенной на корпусе аппарата кнопки, включающей или размыкающей цепь силового тока. Эта цепь блокирована со специальным пневматическим клапаном таким образом, что включение тока на дугу возможно только после пуска в головку сжатого воздуха. При прекращении его подачи либо снижения давления электрическая цепь автоматически выключается.

Аппарат комплектуется генератором постоянного тока, который вместе с регулирующими устройствами и приборами управления выполнен в виде одного передвижного агрегата.

При работе стальной проволокой диаметром 1,6 мм производительность аппарата превышает 12 кг/ч.

Более совершенным является полуавтоматический электродуговой металлизационный аппарат ЕМР-2-57, выпускаемый национальным предприятием СКД — Прага. Полуавтомат состоит из небольшого распылительного аппарата и источника питания постоянным током с напряжением 40 в. Источник питания (выпрямитель) смонтирован в общем кожухе вместе с приборами управления, регулирования и контроля. Там же расположены механизм подачи проволоки, электромагнитные и пневматические клапаны блокировки и кассеты с проволокой. Механизм подачи проволоки допускает реверсивное движение, во время которого на пульте включаются контрольные цветные лампы. Проволока подается по специальным гибким металлическим рукавам (бауденам) к распылителю, который закрепляется либо на станке, либо применяется в виде ручного аппарата. Для этого к нему придается съемная рукоятка. Распылитель снабжен регулируемым воздушным соплом и накопниками для проволоки, а также выключателем в цепи постоянного тока, работающим на низком напряжении (24 в). Производительность установки ЕМР-2-57 при распылении стали достигает 14 кг/ч. Расход воздуха при этом составляет 50 м³/ч при давлении $39 \cdot 10^4$ — $59 \cdot 10^4$ н/м².

Еще более совершенным является электрометаллизационный автомат Summet (рис. 58), выпускаемый заводом Чешска Липа (ЧССР). Основой его конструкции служит автомат для электросварки под флюсом, который оборудован механизмом для двухэлектродной подачи и воздушной головкой для распыления. Установка обеспечивает автоматическое поддержание заданной скорости подачи и электрических параметров процесса. Для облегчения настройки аппарат снабжен оптической системой и экраном, на который с шестикратным увеличением проектируется дуга. Высокая стабильность горения дуги и отсутствие ее пульсации позволили резко улучшить условия распыления расплавленного металла электродов и сосредоточить распыляемые частицы в узкую и концентрированную струю.

Механизм подачи предусматривает возможность реверса и автоматическое его включение с разведением концов электродов при угасании дуги.

Аппарат позволяет применять как постоянный, так и переменный ток и рассчитан на работу проволокой диаметром 1,5—3,0 мм. При напылении стали производительность автомата достигает 2 кг/ч.

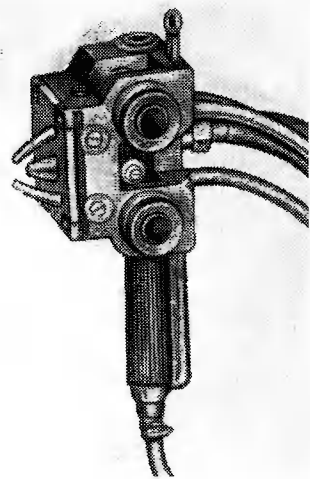


Рис. 57. Электродуговой аппарат для металлизации фирмы Машиненбау (ФРГ)

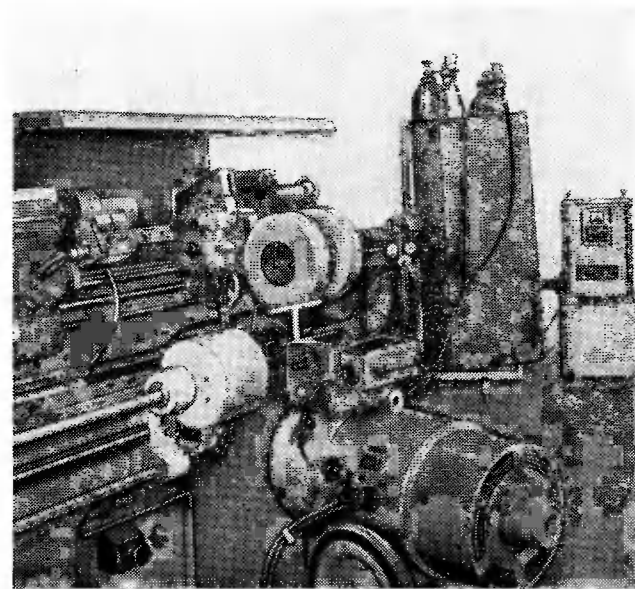


Рис. 58. Электродуговой автомат для металлизации завода Чешска Липа (ЧССР)

Высокочастотные аппараты

В Советском Союзе существует несколько конструкций высокочастотных аппаратов, из которых наибольшее практическое применение получил разработанный ВПТИ тяжелого машиностроения аппарат МВЧ-2 (рис. 59). Высокочастотный аппарат МВЧ-2 является аппаратом станочного типа и предназначен преимущественно для металлизации стали. Его основными узлами являются распылительная головка, коаксиальный высокочастотный кабель, механизм привода и подачи проволоки. При работе применяют отрезки проволоки диаметром 4—5 мм, длиной 3—5 м. Распылительная головка работает по принципу концентратора вихревых токов (рис. 60), который представляет собой высокочастотный трансформатор, состоящий из первичной многовитковой обмотки — индуктора и вкладыша, являющегося вторичной одновитковой обмоткой трансформатора.

Магнитный поток первичной обмотки концентрируется у гребня концентратора на поверхности распыляемой проволоки, которая плавится и распыляется струей омывающего ее воздуха или другого газа.

Механизм подачи проволоки снабжен приспособлением для ее правки и закреплен на корпусе, в котором помещается много-

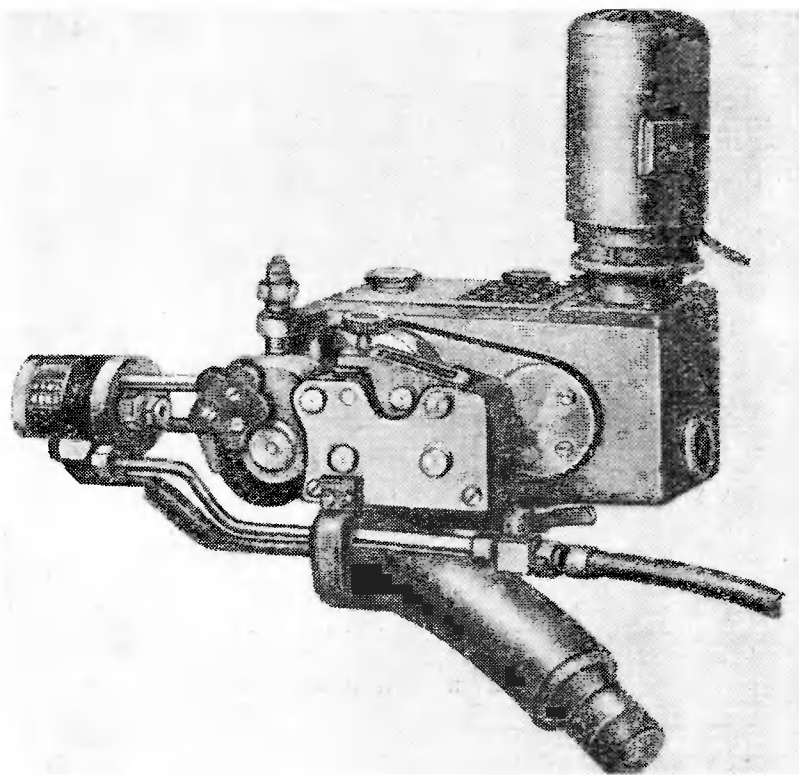


Рис. 59. Высокочастотный аппарат для металлизации МВЧ-2

ступенчатый редуктор, приводимый в движение электродвигателем. Скорость подачи устанавливается положением рукоятки перебора.

Аналогичная модель аппарата марки МВЧ-3 отличается конструкцией распылительной головки, работающей по принципу конического нагревательного индуктора, который проще в изготовлении и имеет более высокий к. п. д. Как обмотки концентратора, как и конический индуктор охлаждаются проточной водой.

Питание высокочастотных аппаратов производится от ламповых генераторов, из которых по мощности наиболее удовлетворяют генераторы ЛГПЗ-30 и ЛЗ-37. Могут также использоваться более мощные генераторы АЗ-46, ГЗ-46, ЛГ-60, ЛГПЗ-60 и др.

От лампового генератора к индуктору распылительной головки силовой ток высокой частоты подается по специальному гибкому коаксиальному кабелю с водяным охлаждением токонесущих жил.

Высокочастотные аппараты по сравнению с электродуговыми отличаются рядом достоинств. Они более стабильны в работе, дают более узкую струю распыленного металла и вследствие этого отличаются более высоким коэффициентом использования металла.

Существенный недостаток высокочастотных аппаратов состоит в том, что их нельзя отделять от высокочастотного генератора и ими нельзя работать на цветных металлах. В этом отношении электродуговые аппараты, как более доступные и универсальные, имеют преимущества, обеспечивающие их дальнейшее развитие и широкое применение.

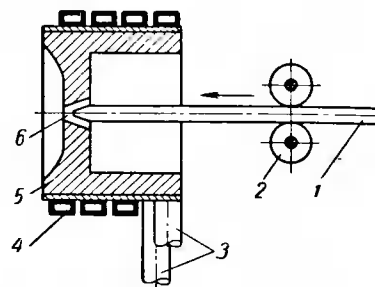


Рис. 60. Принципиальная схема распылительной головки аппарата МВЧ-2:

1 — стержень распыляемого металла; 2 — подающие ролики; 3 — трубы впуска и выпуска охлаждающей воды; 4 — водоохлаждаемый индуктор; 5 — вкладыш (концентратор); 6 — гребень концентратора

Техническая характеристика высокочастотных аппаратов

Наименование	Марка аппарата	
	МВЧ-2	МВЧ-3
Назначение	Нанесение покрытий из стали на станках	
Общая масса (вес) аппарата без кабеля в кг	32	34
Диаметр применяемых прутков в мм	4—5	4—5
Привод механизма подачи	От электродвигателя трехфазного тока	
Регулирование скорости подачи	Коробкой скоростей со сменными зубчатыми колесами	
Скорость подачи в м/мин	0,43—1,1	0,43—1,1
Источник питания электрическим током	Высокочастотные ламповые генераторы	
Рабочее давление сжатого воздуха в н/м ²	29 · 10 ⁴ —39 · 10 ⁴	39 · 10 ⁴
Расход сжатого воздуха в м ³ /мин	0,8	0,8
Производительность при распылении стали в кг/ч	6—9	8—10

В аппаратах плазменного типа плавление и распыление материала покрытия производится с помощью высокотемпературной плазменной струи.

В применяемых в настоящее время плазменных головках плазменную струю получают путем вдувания в электрическую дугу, возбужденную между двумя электродами, плазмообразующего газа и обжигая его в охлаждаемом сопле.

Высокая температура электрической дуги вызывает разрыв химических связей электродного металла и активную ионизацию как его паров, так и плазмообразующего газа. Образующиеся при этом электроны с большой скоростью летят по направлению к аноду и, сталкиваясь на своем пути с атомами, освобождают новые электроны. Последние из-за таких же столкновений беспрерывно множатся, в результате чего процесс нарастания ионизации принимает лавинообразный характер. Возникающая в этих условиях плазма представляет собой поток газообразного вещества, состоящего из свободных электронов, положительных ионов и нейтральных атомов.

Для увеличения числа столкновений электронов с атомами и тем самым повышения энергетического уровня плазменной струи требуется увеличить ее плотность. В рассматриваемых ниже конструкциях плазменных головок увеличение плотности плазменной струи достигается пропусканием ее через сопла с небольшим диаметром проходных каналов. Охлаждение стенок этих каналов предотвращает их прогорание и одновременно снижает ионизацию, а следовательно, и проводимость внешней оболочки плазменной струи. Вследствие этого разряд электрического тока концентрируется в центральной части струи, что повышает ее проводимость и температуру.

Характерная особенность плазменных аппаратов состоит в возможности с их помощью получать газовые струи с весьма высокой температурой (до $15\,000^\circ\text{C}$) и предотвращать вследствие применения нейтральных газов окисление напыляемых материалов. С появлением плазменных аппаратов стало возможным расплавлять и распылять самые тугоплавкие материалы и создавать из них покрытия нового типа.

Устройство и работа плазменных головок для нанесения покрытий даны на рис. 61, где приведены схемы двух вариантов конструкции головок, работающих на порошке (рис. 61, а) и на проволоке (рис. 61, б).

В обоих случаях катодом служит вольфрамовый стержень 6, который омывается струей поступающего через трубку 5 газа. Анодом является изготовляемое из меди сопло (рис. 61, а) или напыляемый металл, который в виде проволоки 9 с заданной скоростью подается в выходящую из сопла плазменную струю. Воль-

фрамовый электрод и сопло изолированы друг от друга кольцом 4 и находятся под напряжением, подаваемым от источника питания постоянным током. В варианте а возбуждаемая между концом

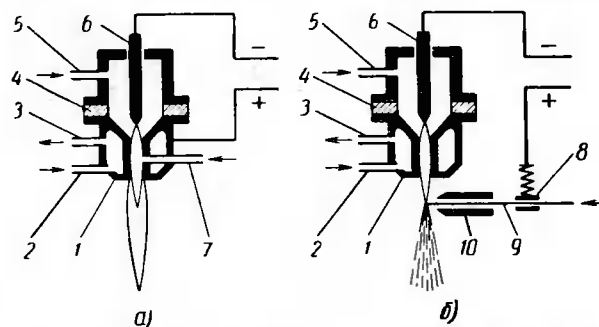


Рис. 61. Принципиальная схема плазменных распылительных головок: а — для работы на порошке; б — для работы на проволоке; 1 — сопло с водоохлаждаемой рубашкой; 2, 3 — трубы входа и выхода воды; 4 — изолирующее кольцо; 5 — трубка выпуска плазмообразующего газа; 6 — вольфрамовый электрод; 7 — трубка для подачи напыляемого материала; 8 — пружинный контакт; 9 — напыляемая проволока; 10 — направляющая трубка

электрода и верхней частью сопла электрическая дуга увлекается вводимым в головку газом и, проходя через сопловой канал, ионизируется в нем, образуя плазменную струю. Порошок напыляемого материала подается в нее по трубке 7, через которую

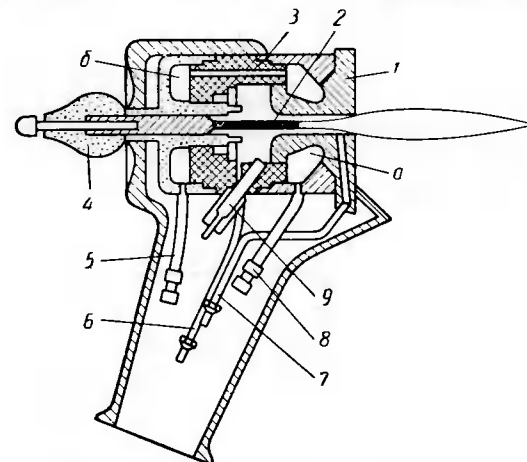


Рис. 62. Схема плазменного аппарата

можно также подавать керамические стержни или металлические прутки.

По схеме б сопло 1 остается электрически нейтральным и дуговой разряд возбуждается между электродом 6 и напыляемой проволокой 9, которая является непрерывно расходуемым анодом.

На базе рассмотренных принципиальных схем во многих странах и в Советском Союзе разработан ряд конструкций плазменных головок и установок, отличающихся как по своему назначению, так и техническим параметрам.

Плазменные аппараты типа S разработаны фирмой Плазма-дайн Корпорейшн (США) и широко применяются для нанесения жаростойких покрытий из порошкообразных материалов как в США, так и в некоторых европейских странах. Аппараты типа S выпускаются мощностью 25, 40 и 80 *квт*. Их устройство поясняется схемой аппарата SG-1 (рис. 62), принцип действия которого типичен и для других аппаратов аналогичного назначения.

Аппарат SG-1 состоит из водоохлаждаемого красномедного сопла 1, которое является анодом, и вольфрамового катода 2, между которыми находится разобщающее их пластмассовое изоляционное кольцо 3. Охлаждающая вода по трубке 8 поступает в камеру а, откуда проходит в камеру б и выходит из нее по трубке 5. Через трубки 8 и 5 по специальному концентрическому кабелю к соплу 1 и электроду 2 вместе с водой подается напряжение. По трубке 6 в камеру б поступает стабилизирующий газ, а по трубке 7 в сопловой канал вдувается порошок напыляемого материала.

Пуск аппарата производится встроенным в изоляционное кольцо 3 низковольтным емкостным пускателем 9, с помощью которого между катодом и анодом возникает электрическая дуга. Последняя ионизирует стабилизирующий газ и образует высокотемпературную плазменную струю, способную расплавлять вводимые в нее порошки из самых тугоплавких материалов.

Для питания плазменных аппаратов типа «S» постоянным током служат выпрямители трехфазного переменного тока с регулируемым напряжением 80—160—320 *в*. В качестве стабилизирующего газа применяются аргон, гелий, азот, водород и их смеси. В аппарате SG-1 предусмотрена возможность с помощью рукоятки 4 регулировать осевое положение вольфрамового электрода и таким образом устанавливать оптимальные режимы работы в зависимости от применяемого газа.

Такое перемещение электрода позволяет устанавливать режимы, при которых можно наносить покрытия как из очень тугоплавких материалов, так и легкоплавких — цинка, свинца, оловянистых припоев и даже пластмасс.

Аппарат SG-1 имеет небольшие массу, вес 1,5 *кг* и размеры ($l \approx 100$ *мм*) и при мощности 40 *квт* обладает производительностью (по количеству распыленного вольфрама) 2,75—3,5 *кг/ч*. Более производительным является аппарат SG-2, с помощью которого при мощности 80 *квт* может напыляться 9,1 *кг/ч* вольфрама, 5,4 *кг/ч* окиси алюминия и 4,5 *кг/ч* двуокиси циркония.

По данным фирмы при мощности 40 *квт* и работе на аргоне продолжительность работы плазменного сопла составляет 200 *ч*.

Установка для плазменной напыления УМП-1 разработана ВНИИАВТОГЕНОм совместно с Институтом металлургии им. Байкова и предназначена для нанесения покрытий из тугоплавких металлов в виде проволоки. Она состоит из плазменного аппарата станочного типа и пульта с пусковыми, регулирующими и контрольными приборами. Габариты аппарата позволяют производить нанесение покрытий на внутренние поверхности труб и втулок с диаметром от 150 *мм* и выше. Проволока для напыления помещается в кассете, которая вместе с аппаратом закреплена на общей плите, устанавливаемой на суппорте станка.

Установка УМП-1 рассчитана на работу с проволокой диаметром 1,5 *мм*. Источником питания установки постоянным током является сварочный преобразователь типа ПС-500. В качестве плазмообразующего газа применяется аргон.

Плазменный аппарат УМП-1 работает по схеме, приведенной на рис. 61, б, в соответствии с которой электродуговой разряд образуется между вольфрамовым катодом и распыляемой проволокой. При такой схеме проволока будет являться плавящимся и непрерывно расходуемым анодом.

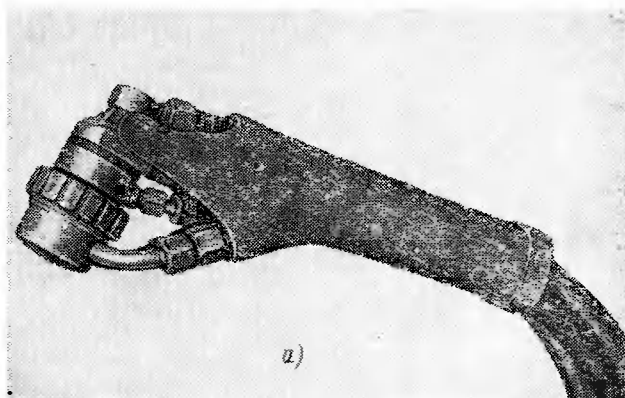
Пуск аппарата в работу производится ступенчато: сначала между вольфрамовым электродом и соплом аппарата возбуждается небольшой мощности дежурная дуга, после чего на напыляемую проволоку подается рабочее напряжение, и электрическая дуга при этом перекидывается на проволоку, а красномедное сопло автоматически отклоняется и в процессе работы аппарата остается электрически нейтральным.

Подача проволоки производится с помощью двух роликов, между которыми она зажимается с усилием, регулируемым специальным маховичком. Привод механизма подачи осуществляется небольшим электродвигателем постоянного тока, заключенным в корпус аппарата. Скорость подачи проволоки регулируется реостатом. Как газовое, так и проволоочное сопла охлаждаются проточной водой, вместе с которой по специальному водоохлаждаемому кабелю на катод и анод подается напряжение.

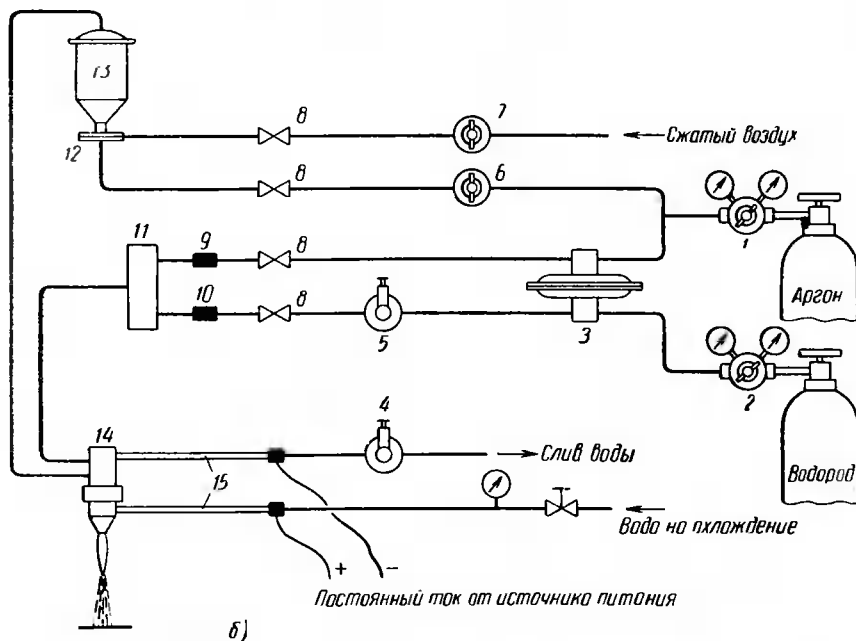
Для того чтобы можно было точно устанавливать положение распыляемой проволоки относительно вертикальной оси плазменного сопла, предусмотрена возможность регулировки для проволоки в горизонтальной плоскости.

Надежность и безопасность работы аппарата обеспечиваются размещенными в пульте датчиками, сблокированными с системой питания аппарата охлаждающей водой, стабилизирующим газом и электрическим током. Пуск, управление работой и остановка аппарата производятся посредством приборов, расположенных на панели пульта.

При мощности 27 *квт* производительность установки УМП-1 по количеству распыляемого вольфрама с диаметром проволоки



а)



б)

Рис. 63. Плазменная распылительная головка УМП-2:

а — общий вид горелки; б — схема установки УМП-2 для плазменного напыления; 1, 2 — редукторы газовые; 3 — регулятор равного давления; 4, 5 — датчики давления; 6, 7 — регуляторы давления; 8 — газовый рубильник; 9, 10 — сменные дюзы; 11 — газовый смеситель; 12 — пневматический вибратор; 13 — бачок для порошка; 14 — плазменный аппарат; 15 — водоохлаждаемый кабель

1,5 мм достигает 12,0 кг/ч. При этом полезное использование напыляемого металла составляет 70%.

Установка УМП-2 плазменного напыления разработана ВНИИ-АВТОГЕНОм и предназначена для плазменного напыления тугоплавких материалов в виде порошков. Она состоит из плазменного аппарата и пульта управления, в корпус которого встроен питательный бачок. Последний подвешен на подвижном кронштейне и при засыпке порошка вместе с кронштейном выдвигается из своего гнезда наружу.

Плазменный аппарат представляет собой небольшой ручной прибор (рис. 63, а), работающий по приведенной на рис. 63, б схеме а. Электрод из торированного или лантанированного вольфрама диаметром 4 мм и медное сопло охлаждаются проточной водой. Электрический ток на электрод и сопло подается по специальному гибкому кабелю вместе с охлаждающей водой. Источником питания аппарата постоянным током служит широко распространенный в Советском Союзе сварочный преобразователь типа ПС-500.

Аппарат рассчитан на применение в качестве плазмообразующего газа смеси из аргона и водорода, но может работать и на других инертных газах, обычно применяемых при плазменном напылении. Эти газы из баллонов (рис. 63, б) через редукторы поступают в регулятор равного давления и далее через смесительное устройство в виде готовой смеси попадают в камеру плазменного аппарата. По пути к смесителю газ проходит через сменные дюзы с калиброванными проходными отверстиями, посредством которых устанавливается требуемое соотношение газовой смеси. Линии подачи водорода и охлаждающей воды оборудованы датчиками давления, которые при падении в этих линиях давления до недопустимых пределов автоматически отключают аппарат.

Подача и прекращение подачи газа производятся с помощью электромагнитных клапанов, включение и выключение которых осуществляются нажатием кнопок, установленных на щите пульта. Аналогичным способом посредством имеющихся на щите приборов производятся зажигание дуги, пуск порошка из питателя в плазменный аппарат и регулировка режима его работы.

Плазменный аппарат УМП-2 при режиме длительной работы на аргоно-водородной смеси при мощности около 22 кВт обладает производительностью по распыленному вольфраму ~1,5 кг/ч при эффективности использования материала ~63%. При тех же условиях производительность напыления окиси алюминия составляет ~2,0 кг/ч при полезном использовании 70—80%.

Интенсификацией режима и повышения мощности плазмы производительность аппарата может быть доведена до 3 кг/ч (по вольфраму). Однако такая мощность для генератора ПС-500 является предельной, что позволяет вести работу с повышенной производительностью только в течение небольшого времени.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЙ НАПЫЛЕНИЕМ

ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ПОДГОТОВКА ДЕТАЛЕЙ

Одним из наиболее эффективных методов применения металлизации является восстановление изношенных деталей.

Предварительная подготовка изношенных деталей к металлизации имеет важное значение, но, к сожалению, на предприятиях ей не всегда уделяют должное внимание. Это приводит к тому, что из-за плохой подготовки детали, восстановленные способом металлизации, иногда преждевременно выходят из строя.

Предварительная подготовка детали начинается с промывки, обезжиривания ее поверхности и удаления различных загрязнений. Обезжиривают детали обычно после разборки машин, агрегатов, узлов. Чтобы очистить детали от влаги, грязи и жиров, их протирают обтирочным материалом, промывают в керосине или бензине и затем просушивают. Влага из пористых поверхностей и трещин удаляется подогреванием деталей до температуры 200° С, а масло удаляется подогреванием сварочной горелкой или в печах до температуры 350—370° С. После того как деталь обезжирена, ее тщательно проверяют, выявляя усталостные трещины и другие дефекты. Проверка не ограничивается осмотром и остукиванием; деталь желательно проверить на магнитных дефектоскопах, которые позволяют безошибочно выявлять зачатки усталостных трещин на шейках и галтелях коленчатых валов. Практика показывает, что около 30% направляемых на восстановление металлизацией коленчатых валов двигателей имеют усталостные трещины. Детали с усталостными трещинами не подлежат металлизации.

Предварительная механическая обработка деталей производится для получения равномерной толщины напыляемого слоя, для устранения неравномерного износа, эллипсности и конусности.

Предварительная обработка осуществляется на токарном или шлифовальном станке в зависимости от твердости поверхности. Все поврежденные центры деталей, шлицевые соединения должны быть исправлены перед металлизацией. Сварочные работы, если

есть в них необходимость, производятся до окончательной подготовки поверхности к металлизации. Детали, внушающие опасение в смысле усталостной прочности, необходимо проверить расчетом.

Восстанавливать способом металлизации можно только детали, обладающие достаточным запасом прочности, так как металлизация увеличивает геометрические размеры деталей и лишь в незначительной степени повышает их прочность. Металлизировать можно только детали, не подверженные значительным ударным нагрузкам, вызывающим разрушение и отслаивание. По этой причине нельзя, например, производить наращивание зубьев шестерен, шлицев валов, штампов и пр.

Металлизация неприменима в тех случаях, когда требуется наносить слой на небольшие поверхности и грани, испытывающие значительные усилия, например, края канавок поршневых колец и др.

Детали, подлежащие восстановлению, можно разбить на следующие группы:

- 1) цилиндрической формы с наружным износом поверхности (коленчатые валы двигателей, валы коробок передач, поршни, оси, шпиндели металлообрабатывающих станков и пр.);
- 2) цилиндрические с внутренним износом (цилиндры, гильзы цилиндров, втулки, подшипники и пр.);
- 3) с износом плоскостей (направляющие станков, головки блоков и пр.);
- 4) сложной формы;
- 5) с различной обработкой поверхности (закаленные, термически обработанные или обычные);
- 6) с малым запасом прочности;
- 7) имеющие трещины, раковины и пр.

Создание на поверхности деталей шероховатости является самой ответственной операцией всего технологического процесса. Эта операция обеспечивает прочность сцепления напыленного металла с поверхностью восстанавливаемой детали. Практика выработала целую серию способов создания шероховатости на поверхности восстанавливаемой детали, более или менее полно описанных в имеющейся литературе. Некоторые из них имеют универсальный характер, а другие применяются при различных частных случаях.

Шире всего распространены пескоструйная обработка, обработка металлической крошкой, обработка металлической дробью, нарезка «рваной» резьбы и электрические способы подготовки. Значительно реже применяются такие способы, как нарезка круглой резьбы, нарезка «рваной» и круглой резьбы с последующей прикаткой вершин, нарезка «рваной» резьбы с последующей обработкой дробью или песком, нарезка кольцевых канавок с последующей прикаткой вершин, насечка зубилом, накатка

Классификация способов подготовки поверхности

Метод подготовки поверхности	Толщина наращиваемого слоя на цилиндрические детали на сторону в мм		Квалификация исполнителя работы	Аппаратура, инструмент и оборудование	Применение
	минимальная	максимальная	Профессия	Разряд	
Пескоструйная очистка	0,02	3,0	Пескоструйщик	3—4	Для реставрации деталей машин, имеющих сложную форму. Для заделки трещин в чугуном и другом литье, для нанесения антикоррозионных, декоративных и других покрытий
Насечка зубилом с последующей пескоструйной очисткой	0,15	4,0	Слесарь Пескоструйщик	3—4 3—4	Для реставрации деталей машин при малых толщинах слоя и диаметрах шеек до 50 мм и автомобильных колесчатых валов
Нарезка «рваной» резьбы	0,5	20,0	Токарь	4—5	Для наращивания изношенных деталей (валов и втулок) с неметаллизованной и неакаленной поверхностью
Нарезка резьбы с прикаткой вершин: «рваной»	0,5	30,0	Токарь	4—5	То же в ответственных случаях, а также для подготовки внутренней поверхности цилиндров
Нарезка резьбы с прикаткой вершин: «рваной»	0,5	30,0	Токарь	4—5	То же в ответственных случаях, а также для подготовки внутренней поверхности цилиндров
Намотка проволоки с пескоструйной	0,7	35,0	Токарь Пескоструйщик	4 3—4	Для наращивания деталей с цементованной или закаленной поверхностью (особенно для подготовки деталей, работающих в условиях большой нагрузки)
Электроподготовка	0,7	10,0	Сварщик	5	Для наращивания деталей с цементованной или закаленной поверхностью (особенно для подготовки внутренних поверхностей цилиндров)

специальным инструментом, намотка проволоки с последующей пескоструйной обработкой.

Эти методы иногда применяют в различных комбинациях, как, например, насечка зубилом с последующей пескоструйной обработкой.

При выборе того или иного способа подготовки поверхности необходимо учитывать прочность сцепления напыленного слоя с поверхностью детали, изменения свойства поверхности восстанавливаемой детали под действием применяемого способа подготовки, возможности применения данного способа подготовки в зависимости от состояния поверхности детали, а также трудоемкость данного способа подготовки поверхности.

В табл. 18 приводится классификация способов подготовки поверхности к металлизации.

Главная цель подготовки поверхности детали — обеспечить максимальную прочность сцепления напыляемого слоя с поверхностью детали. Исследованиями и практикой установлено, что прочность сцепления зависит в основном от двух факторов: от степени чистоты поверхности (наличия на ней загрязнений, окисных пленок и пр.) и от степени ее шероховатости. Чем чище поверхность детали, подлежащей металлизации, и чем меньше на ней окислов, жиров и посторонних веществ, тем сильнее будет сцепление между частичками напыленного слоя и металлизируемой поверхностью. Чем резче выражены выступы на металлизируемой поверхности, чем их больше, тем лучше будет связь напыленного металла с основанием.

Экспериментами доказано, что наилучшие результаты получаются тогда, когда размеры частиц распыленного металла меньше, чем ширина впадин, полученных на поверхности в результате подготовки. Необходимо учесть, что при большой шероховатости не достигается значительного развития поверхности, как это достигается при малой, поэтому степень шероховатости должна быть оптимальной.

Остановимся подробно на основных способах подготовки поверхности деталей к металлизации.

Подготовка поверхности способом пескоструйной обработки

Пескоструйная обработка применяется для деталей, имеющих диаметр или толщину до 15 мм, а также деталей с относительно низкой механической прочностью или низким пределом усталости.

Этот способ оправдывает себя при обработке деталей сложной конфигурации, при заделке трещин на чугунных деталях, на деталях, поверхности которых выполнены с подвижной посадкой, а также при подготовке деталей для нанесения жаростойких, антикоррозионных и декоративных покрытий.

Пескоструйная обработка поверхности осуществляется в пескоструйном шкафу с помощью пескоструйного пистолета или в пескоструйной камере пескоструйным аппаратом. Качество пескоструйной обработки поверхности определяется степенью ее шероховатости, которая, в свою очередь, зависит от твердости обрабатываемой поверхности, качества абразивного материала, давления сжатого воздуха, расстояния сопла аппарата до очищаемой поверхности, диаметра воздушного сопла и угла наклона струи песка к очищаемой поверхности.

Для пескоструйной подготовки применяют горный кварцевый песок. Мелкий песок (0,5—1 мм) используют для обработки цветных металлов, чугуна, керамических и тонкостенных изделий. Песок с размером зерен до 1,5 мм применяют для обработки мягких стальных изделий. Наиболее крупный песок (2,0—2,5 мм) применяют для обработки твердых поверхностей.

Более качественным материалом для подготовки поверхности является стальная крошка. Благодаря своей твердости она обладает большей режущей способностью, не дробится, не гигроскопична, а поэтому не поглощает влагу, как песок, обладает высоким к. п. д. и не вредна, как кварцевый песок.

При подготовке стальных и чугунных изделий расстояние от сопла пескоструйного аппарата до обрабатываемой поверхности берется равным 80—100 мм; угол наклона песчаной струи к поверхности детали при подготовке чугунных деталей $175,5 \times 10^{-2} \text{ рад}$, при подготовке стальных деталей $78,75 \cdot 10^{-2}$ — $122,5 \cdot 10^{-2} \text{ рад}$; давление сжатого воздуха в н/м^2 при подготовке крупных деталей равно $20 \cdot 10^4$, средних деталей, листового материала (толщиной до 3,5—4 мм) $10 \cdot 10^4$ — $15 \cdot 10^4$.

При подготовке тонкого листового металла, а также неметаллических материалов расстояние от сопла пескоструйного аппарата до детали устанавливается равным 150—200 мм, угол наклона струи $43,7$ — $52,5 \text{ рад}$, давление сжатого воздуха в н/м^2 $10 \cdot 10^4$ — $15 \cdot 10^4$.

Расход сжатого воздуха зависит от его давления и диаметра сопла. Обычно расход колеблется от 1 (при давлении $30 \cdot 10^4 \text{ н/м}^2$ и диаметре сопла $\sim 4 \text{ мм}$) до $6,5 \text{ м}^3/\text{мин}$ (при давлении $50 \cdot 10^4 \text{ н/м}^2$ и диаметре сопла $\sim 5 \text{ мм}$).

Пескоструйная подготовка считается законченной, если поверхность детали приняла матовый оттенок с ясно видимой шероховатостью. Минимальная среднеквадратичная неровность $H_{\text{ср}}$ поверхности круглых деталей должна быть по ГОСТу 2789—51 в пределах 80—85, при плоских поверхностях $H_{\text{ср}}$ — в пределах 16—18. Степень шероховатости контролируется осмотром или при помощи электромагнитного прибора КВ-4.

В зарубежной литературе есть сообщение о том, что в последнее время для создания шероховатых поверхностей изобретен новый абразивный материал под названием метколит. Он представляет

собой неметаллический, очень твердый нержавеющий материал, который при ударе дробится по направлению слоистости, образуя острые крошки. Материал имеет очень незначительный вес и может применяться при низких давлениях сжатого воздуха.

Подготовка поверхности обработкой дробью

При подготовке к металлизации поверхности пзношенных деталей дробеструйной обработкой предназначенную для восстановления деталь протачивают или обрабатывают на шлифовальном станке для получения правильной геометрической формы. Затем деталь подвергают ударам металлической дроби, которая движется с большой скоростью, увлекаемая воздушной струей или отбрасываемая лопатками быстро вращающегося колеса дробеструйного аппарата.

Удар каждой дробины действует как удар маленького молоточка с круглым бойком и образует на поверхности детали небольшое углубление. В результате таких многочисленных ударов поверхность становится шероховатой; чем тверже материал и чем мельче дробь, тем менее шероховатой получается поверхность.

Дробеструйная обработка изменяет физические свойства поверхностного слоя [18], создает деформированный, упрочненный слой глубиной 0,2—0,4 мм, что увеличивает твердость и сопротивление поверхностного слоя пластической деформации.

Деформированный поверхностный слой подготавливаемой детали создает благоприятное распределение напряжений по сечению детали и значительно увеличивает ее усталостную прочность.

Обработка дробью может применяться при подготовке поверхностей деталей самой сложной конфигурации. Обработка дробью производится пневматическими и центробежными дробометами.

Для обработки поверхности деталей в дробометных установках применяется дробь из отбеленного чугуна или стальная дробь диаметром от 0,4 до 2 мм.

Твердость дроби из стали, содержащей 0,7% углерода, после 40 ч работы повышается с HRC 36—37 до HRC 42—44, а после 300 ч — до HRC 48—50. Стальная дробь обладает высокой стойкостью; расход ее в 30 раз меньше, чем чугунной. Затраты на обработку стальной дробью по сравнению с чугунной в 8—10 раз меньше, несмотря на более высокую стоимость стальной дроби.

При выборе размера дроби для обработки поверхностей следует учесть, что чем тоньше стенки детали, тем меньшего диаметра дробь должна применяться.

Для закаленных стальных деталей необходимо применять дробь большого диаметра, а для незакаленных — меньшего. На качество подготовки поверхности в значительной мере влияет также режим дробеструйной обработки. Для получения хороших результатов рекомендуется скорость движения дроби 60—70 м/сек.

Цикл скорости достигается при 2400—4000 об/мин ротора или давления 50·10⁴—59·10⁴ н/м² при расстоянии от сопла пневматической установки до обрабатываемой поверхности 250—300 мм. На центробежных установках это расстояние должно быть 300—360 мм. Наибольшая шероховатость получается при угле падения, близком к 130·10⁻²—157,5·10⁻² рад.

Подготовка поверхности способом нарезки «рваной» резьбы

Наиболее распространенным и широко известным способом создания шероховатости на поверхности деталей, имеющих форму тел вращения, является способ нарезки «рваной» резьбы. Этот способ простой и доступный и поэтому получил широкое применение на ремонтных предприятиях при восстановлении изношенных деталей. Он обеспечивает самую высокую сцепляемость напыленного слоя с поверхностью детали. При этом способе поверхность детали, предназначенной для металлизации, обрабатывают для удаления эллипсности и конусности и на обработанной поверхности производят резцом с острой режущей кромкой нарезание «рваной» резьбы. Резец устанавливают в резцедержателе с вылетом 100—150 мм, передний угол резца 0, угол при вершине около 105·10⁻² рад.

Чтобы получить шероховатую поверхность, кончик резца смещают ниже оси детали. ВНИИАВТОГЕН установил зависимость величины смещения резца от диаметра детали и числа оборотов шпинделя станка при нарезании. Эта зависимость дана ниже.

Диаметр детали в мм	Величина смещения резца в мм	Число оборотов шпинделя в минуту	Диаметр детали в мм	Величина смещения резца в мм	Число оборотов шпинделя в минуту
10	1,0	300	100	4,5	30
15	1,5	210	150	5,0	20
20	2,0	150	200	6,0	15
25	2,5	135	250	7,5	13
30	—	100	300	9,0	10
35	3,0	95	350	11,0	9
40	—	75	400	13,0	7
45	—	70	450	15,0	6
50	3,5	60	500	16,0	5
75	4,0	45	—	—	—

При смещении резца ниже центра детали происходит большая вибрация резца, которая приводит к дроблению металла на поверхности обрабатываемой детали и к большей шероховатости.

Подготовка поверхности способом нарезки круглой резьбы

Этот способ нашел широкое применение при подготовке изношенных коленчатых валов и других цилиндрических поверхностей.

Подготовка поверхности начинается с проточки изношенной детали. Затем на поверхности при помощи специального закругленного резца с радиусом при вершине около 0,5 мм и шириной 1,1—1,3 мм наносится ряд параллельных кольцевых канавок полукруглого сечения, расположенных на одинаковом расстоянии друг от друга (рис. 64), глубиной 0,5 мм. Для увеличения производительности вместо параллельных канавок рекомендуется производить нарезку резьбы тем же резцом.

По данным Мурманской судовой верфи шаг и глубина нарезки определяются диаметром детали:

Диаметр шейки в мм	150—200	200—250	250—300	300—400
Шаг в мм	1,5	1,6	1,8	2,0
Глубина нарезки до накатки в мм	0,7	0,8	0,9	1,0

Полученные плоские вершины ниток резьбы прикатываются с помощью специального инструмента, папоминающего фрезу.

Преимущество этого способа заключается в том, что между вершинами нарезки создаются своеобразные «ласточкин хвосты», увеличивающие прочность сцепления слоя и основания.



Подготовка поверхности насечкой зубилом, накаткой и намоткой проволоки

Насечка зубилом. Самый простой и доступный способ насечки с помощью слесарного зубила или крейцмейселя применяется для подготовки поверхности цилиндрических и плоских деталей. Насечку производят вручную и при помощи пневматических инструментов. При насечке лезвие зубила располагают параллельно образующей цилиндрической детали, а само зубило — под некоторым углом по отношению к направлению радиуса. Шаг насечки принимается в зависимости от диаметра детали от 2 до 5 мм, длина насечки 3—4 мм, глубина 0,5—1,0 мм.

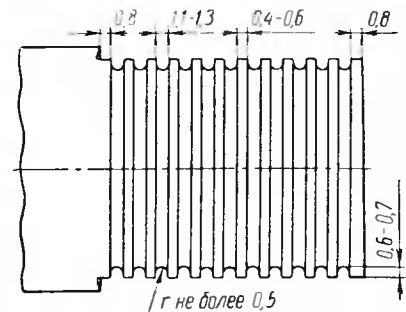


Рис. 64. Схема подготовки цилиндрических поверхностей нарезкой кольцевых канавок

После насечки подготовленную деталь необходимо обдуть песком.

Подготовка поверхности накаткой. Этот вид подготовки начинается распространяться в силу своей несложности и большой производительности.

Подготовка поверхности по этому способу осуществляется специальным инструментом, состоящим из одной или нескольких роликов-фрез с прямым или косым зубом (рис. 65).

Эти инструменты обычно устанавливаются в резцедержателе токарного станка, а деталь — в центре станка; детали придается вращательное движение, а инструменту — поступательное движение при помощи суппорта.

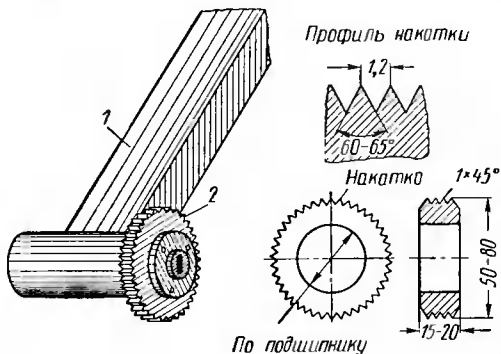


Рис. 65. Накатка для подготовки цилиндрических поверхностей:

1 — державка; 2 — накатка

При этом способе шейки валов предварительно подвергаются шлифованию для удаления эллипсности и конусности. Затем деталь устанавливают в центрах токарного станка. Конец наматываемой проволоки с помощью хомутов или других зажимных приспособлений закрепляют за пределами наращаемой шейки, затем пускают в ход станок и при помощи несложного приспособления наматывают проволоку на шейку. Основными частями приспособления для намотки проволоки, предложенного оператором Кишиневского ремонтного завода тов. А. А. Рыловым, являются две деревянные колодки, зажимаемые в резцедержателе станка.

Благодаря такому приспособлению проволока ложится туго, с точно определенным интервалом между витками. Для обмотки можно брать любую проволоку, но обязательно очищенную от ржавчины и окалины и имеющую диаметр в 2 раза меньше толщины напыляемого слоя (после обработки), но не выше 1,5 мм. Проволока наматывается в один ряд; шаг намотки принимается от 2 до 5 диаметров проволоки.

После того как проволока туго намотана, шейку вместе с проволокой подвергают пескоструйной или дробеструйной очистке. Затем шейку металлизируют до тех пор, пока проволока не по-

кроется таким слоем металла, при котором она не может распускаться. После этого обрубавают выступающие концы проволоки и металлизацию продолжают до нужного диаметра.

Обмотка проволокой шеек коленчатого вала ДТ-54 и последующая очистка песком требуют в 3—3,5 раза меньше времени, чем нарезка «рваной» резьбы. Подготовка поверхностей шеек валов способом намотки проволоки не ослабляет детали, не понижает ее усталостной прочности. К тому же повышается прочность самого покрытия, так как оно становится как бы армированным.

Электрический способ подготовки поверхности

При подготовке поверхности деталей машин (особенно в последнее время) возникает ряд трудностей. Дело в том, что большинство ответственных деталей тракторов, автомобилей и других машин изготавливается из высококачественных сталей и имеет закаленную поверхностную корку, достигающую нередко 3—4 мм на сторону.

Поэтому уже давно ищутся такие способы подготовки поверхности, которые, не нарушая структуры поверхностного закаленного слоя детали, обеспечивали бы достаточную прочность сцепления. Такая возможность имеется при электрических способах подготовки, при которых с успехом можно применять там, где все другие способы не дают положительных результатов. Этими способами можно с успехом пользоваться при подготовке закаленных и цементированных деталей, внутренних поверхностей тонкостенных цилиндров, деталей сложной конфигурации.

В Государственном научно-исследовательском институте ремонта и эксплуатации тракторов и сельскохозяйственных машин Министерства сельского хозяйства СССР (ГОСНИТИ) разработан новый способ подготовки поверхности изношенных закаленных деталей под металлизацию при помощи электроконтактной наплавки.

Этот способ основан на контактном приваривании отдельных частичек электрода кготавливаемой поверхности. Способ рассчитан на использование простейшего оборудования, применяемого при процессе электрометаллизации: токарного станка, трансформатора, а также обычного электромагнитного вибратора, несущего электрод для периодического контактирования сготавливаемой поверхности детали.

Подготавливаемая деталь устанавливается в центрах токарного станка, к шпинделю которого от вторичной обмотки трансформатора подводится провод со щеткой; второй провод подключается к электроду электромагнитного вибратора (рис. 66), состоящего из корпуса 1, на котором закреплен сердечник электромагнита 3 с катушкой 2 и якорем 4. На конце вибрирующей планки якоря

закрепляют электрод, частицу которого привариваются к поверхности детали.

Планка, а следовательно, и электрод колеблются с частотой, равной 100 кол/сек. При каждом колебании электрод приваривается к поверхности детали и отрывается от нее под действием пружины. В результате поверхность детали покрывается приварившимися частицами. Величину частиц (а следовательно, и их высоту) можно регулировать в широких пределах изменением электрических режимов.

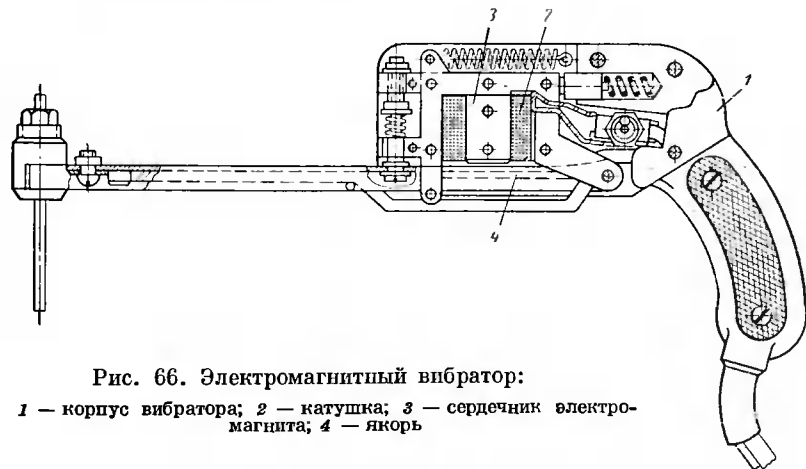


Рис. 66. Электромагнитный вибратор:

1 — корпус вибратора; 2 — катушка; 3 — сердечник электро-
магнита; 4 — якорь

В зависимости от величины шероховатости поверхности под металлизационный слой различной толщины и назначения покрытия рекомендуются следующие режимы: первый режим — сила тока 50—60 а, напряжение 30—35 в; в этом случае высота привариваемых частиц колеблется в пределах от 0,1 до 1,0 мм; второй режим — сила тока 100—120 а, напряжение 30—35 в; при этом режиме высота привариваемых частиц может достигать 43—мм.

В качестве электродов может быть использована стальная проволока с различным содержанием углерода.

Однако лучшие результаты получаются при применении электродов из стали с повышенным содержанием углерода (проволоки из стали марок У7, У8, У12), а также чугуновых электродов. Диаметр электродов может быть различен — от 2 до 5 мм, в зависимости от применяемого электрического режима.

Экспериментально установлено, что оптимальная шероховатость поверхности получается для деталей с диаметром 50—80 мм при вращении детали в пределах 100—127 об/мин и подачах от 0,2 до 1,5 мм. При этом увеличение скорости вращения детали и увеличение подачи уменьшают количество отдельных приваренных частичек на единицу подготовленной поверхности.

Преимущество данного способа заключается в том, что он обеспечивает получение шероховатой поверхности не разрушением поверхности основного металла, а точечной приваркой частичек электрода к поверхности подготовляемой детали. Это в значительно меньшей степени влияет на снижение усталостной прочности деталей. Такой способ дает возможность получить желаемую шероховатость в широких диапазонах режима. При этом можно создать различного вида шероховатости в разных местах деталей повторными проходами.

Анодно-механический способ подготовки поверхности

Для подготовки стальных закаленных или цементированных поверхностей применяют анодно-механический способ [8].

В качестве источника питания электрической цепи используются генераторы постоянного тока типа сварочных или низковольтных шунтовых с незначительными переделками, а также селеновые и механические выпрямители.

Основным требованием к источникам питания является устойчивость их рабочих (вольт-амперных) характеристик, т. е. минимальное падение кривой напряжения с повышением силы рабочего тока.

Обработка поверхности детали, подготовляемой к металлизации анодно-механическим способом, производится специальным металлическим кругом, включаемым вместе с деталью в электрическую цепь. Круг и обрабатываемая деталь смачиваются электролитом.

Для получения более шероховатой поверхности скорость вращения круга должна быть наименьшей из допустимых.

Давление рабочего круга также оказывает влияние на образование шероховатости. От этого фактора прежде всего зависит сопротивление в контакте между электродами. С повышением давления сопротивление снижается вследствие уплотнения контакта и увеличения его площади из-за слияния микровыступов.

Установлено, что на жестких (обдирочных) режимах радиальные отжимающие и изгибающие усилия весьма незначительны и при ширине круга 25 мм составляют не более 20—40 н. Также установлено, что с повышением плотности электролита интенсивность съема металла растет, а следовательно, шероховатость поверхности увеличивается. Как показывает практика, наиболее целесообразно применять водный раствор жидкого стекла с плотностью 1,28 до 1,32 г/см³. Повышение плотности электролита выше указанной влечет за собой чрезмерное увеличение радиальных усилий вследствие быстрого высыхания раствора на деталях станка и заметно ухудшает условия работы.

Количество подаваемого электролита также оказывает влияние на производительность труда. Избыток жидкости приводит

к ее разбрызгиванию, а продолжительная работа при недостаточном количестве электролита вызывает заметный разогрев поверхности обрабатываемой детали. Материалом для инструмента — рабочего круга — служит чугун.

Режим анодно-механической подготовки поверхности, рекомендуемый А. С. Казанцевым [8], приведен ниже:

Сила тока в а	100—150
Напряжение в в	20—22
Сопротивление в ом	0,18—0,20
Скорость круга в м/сек	17—20
Число оборотов вала в минуту	40—50
Плотность электролита	1,25—1,30
Интенсивность подачи электролита в л/мин	10—12

Преимущество электроэрозионной (анодно-механической) подготовки заключается в том, что этим способом можно вести подготовку к металлизации стальных закаленных и цементированных поверх-

ностей до твердости, превышающей HRC 57—65. Этот способ создает довольно развитую шероховатость поверхности с эрозионными изъятиями глубиной от 50 до 100 мкм и обеспечивает сцепляемость напыленного слоя с основанием, в 3—4 раза большую, нежели при пескоструйной обработке.

Кроме того, при обработке данным способом можно снимать любой слой металла, удаляя тем самым эллипсность и конусность и обеспечивая нанесение необходимой толщины слоя, что при других способах подготовки обычно производится на шлифовальных станках.

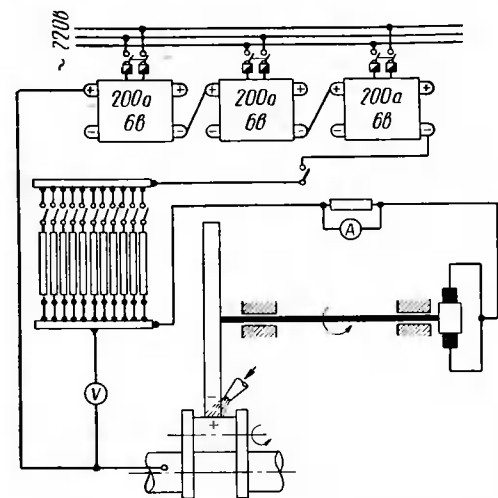


Рис. 67. Схема электрической цепи для анодно-механической обработки

Процесс обработки осуществляется по несложной схеме (рис. 67). Установка состоит из источника постоянного тока, магазина сопротивлений или реостата, вольтметра, амперметра и двух электродов, из которых один является обрабатываемым изделием (анодом), а другой — обрабатывающим инструментом (катодом). Конструктивно данная схема выполняется на токарно-винторезном станке. Инструмент в виде суппортно-шлифовального приспособления с чугунным диском приводится во вращение

с необходимой скоростью от электродвигателя и подключен с помощью щеточного устройства к отрицательному полюсу источника постоянного тока.

Обрабатываемое изделие укрепляется в центрах токарного станка и соединяется с положительным полюсом источника тока. К месту контакта чугунного круга с деталью с помощью насоса подается непрерывной струей электролит (в данном случае водный раствор жидкого стекла) из специального бака, куда он затем стекает, чем обеспечивается циркуляция электролита.

Напряжение рабочего тока устанавливается в пределах 22—26 в и контролируется вольтметром. Требуемая сила рабочего тока изменяется с помощью реостата в зависимости от диаметра обрабатываемой детали и толщины снимаемого слоя. Сила тока поддерживается на определенном уровне давлением чугунного круга на деталь (вручную или автоматически) и контролируется по амперметру.

Подготовка поверхности нанесением промежуточного покрытия

За границей в последнее время широко применяется подготовка поверхности предварительным нанесением на нее сплава, содержащего более 50% молибдена. Процесс подготовки заключается в очистке и обезжиривании поверхности и напылении на поверхность молибденового слоя толщиной от 0,03 до 0,1 мм (в зависимости от условий работы деталей).

Сцепление промежуточного слоя с восстанавливаемой поверхностью является молекулярным, так как молибден при температуре плавления диффундирует почти во все металлы.

После нанесения слоя молибдена необходимо немедленно наносить основной слой металла, который хорошо сцепляется с подслоем молибдена.

В 1959 г. авторемонтный завод Ленинградского автоуправления впервые в Советском Союзе восстановил с подслоем молибдена 90 коленчатых валов двигателей автомобилей ЗИЛ-120. Рекламаций от автохозяйств не поступало.

К недостаткам данного способа следует отнести снижение усталостной прочности детали на 20—30%.

* * *

Сопоставление прочности сцепления металлизационных покрытий с поверхностью изделия при различных способах подготовки поверхности позволяет рекомендовать наиболее эффективный способ подготовки поверхности к металлизации автотракторных деталей.

Наиболее рациональной, пригодной для обработки поверхностей деталей любой конфигурации и твердости около 55—60

единиц на шкале *HRC* следует считать обработкой поверхности металлической дробью шаровидной формы диаметром 0,5—1,5 мм.

При обработке деталей цилиндрической формы с твердостью поверхности не выше 35 единиц по шкале *HRC* можно рекомендовать накатку с прямым или косым зубом в несколько проходов.

Все виды нарезок, обеспечивающие высокую прочность сцепления покрытия с основанием, следует применять лишь при ремонте деталей, имеющих большой запас прочности и не работающих при больших знакопеременных нагрузках.

При ремонте деталей, работающих в условиях знакопеременных нагрузок и испытывающих значительные усилия сдвига, рекомендуется подготовку поверхности проводить треугольной или круглой нарезкой с последующей обработкой металлической дробью, которая почти полностью восстанавливает усталостную прочность детали.

Прикатку вершин не рекомендуется применять при подготовке деталей, воспринимающих циклические нагрузки или деформацию сдвига, так как этот способ дополнительно снижает усталостную прочность металла и понижает прочность сцепления при сдвиге в аксиальном направлении.

Контроль качества подготовки поверхности

Качество подготовленной поверхности проверяется осмотром. Поверхность должна быть чистой, без следов жира, влаги и окисных пленок.

Проверка качества подготовки поверхности пескочисткой, очисткой стальной крошкой, дробью и электрическими способами может быть осуществлена с помощью простейших профилографов, а также эталонов. В последнем случае изготавливают ряд металлических пластинок и поверхность их готовят песком, стальной крошкой, дробью или электрическими способами.

Поверхности подготовленных эталонов проверяют профилографом и ставят клейма, а затем при контроле подготовки накладывают эталон на подготовленную поверхность и путем сравнения определяют ее качество.

Качество поверхности, подготовленной способом «рваной» резьбы, определяют внешним осмотром. Такую деталь осматривают вдоль оси, потому что так лучше видны заусенцы. Хорошо выполненная «рваная» нарезка имеет нитки, сплошь покрытые мелкими заусенцами, и не имеет блестящих гладких мест.

Качественный контроль подготовки поверхности обеспечивает применение шаблонов, выполненных с различными шагом и глубиной нарезки.

Качество подготовки поверхности способом намотки проволоки проверяется степенью натяжения проволоки. Проволока должна быть намотана как можно туже, так, чтобы витки ее в процессе

металлизации не могли быть сдвинуты с места и чтобы под проволокой после пескоструйной обработки не оставались песчинки, препятствующие сцеплению напыленного слоя с поверхностью.

Чтобы обеспечить прочное сцепление металлизационного слоя с поверхностью детали, следует после подготовки поверхности производить металлизацию по возможности быстрее.

НАПЫЛЕНИЕ ПОКРЫТИЙ

Напыление может производиться с помощью ручных аппаратов-металлизаторов в кабинах, на месте нахождения крупных деталей или изделий, а также при помощи переносных металлизационных установок. Металлизацию производят и на токарных станках, но главным образом деталей, имеющих цилиндрическую форму.

При напылении необходимо учитывать всю сумму разнообразных факторов, влияющих на качество наносимых покрытий. От умения и внимания работников, выполняющих металлизацию, в конечном счете, зависит весь успех.

Покрытие следует наносить на деталь при ее температуре не ниже 5—7° С. Если температура ниже, то на холодной поверхности детали вследствие конденсации паров воздуха образуется влажная пленка, которая препятствует прочному соединению распыляемого металла с поверхностью детали и ведет к браку.

Проверив качество подготовленной поверхности детали, точность регулировки аппарата металлизатора и работоспособность контрольных приборов, рабочий устанавливает деталь в центрах токарного станка и приводит аппарат-металлизатор в рабочее положение. Для обеспечения лучшего качества покрытия аппарат должен быть установлен на суппорте токарного станка так, чтобы его можно было поворачивать в ту или иную сторону.

Для работы аппаратов ЭМ-6 на переменном токе рекомендуются режимы, указанные в табл. 19.

В случае питания аппарата постоянным током при использовании сварочных генераторов типа СУГ-2 и СМГ-2, оборудованных балластным реостатом, рекомендуется руководствоваться данными табл. 20.

Так как при металлизации на постоянном токе на положительном электроде выделяется больше тепла, чем на отрицательном, для увеличения производительности рекомендуется применять электроды разных диаметров.

При работе на газовых аппаратах их производительность зависит как от применяемого металла, так и от давления ацетиленового или горючего газа.

Основные режимы работы и производительность газовых аппаратов МГИ-1 указаны в табл. 21.

На практике приходится учитывать все моменты режима в соответствии с конкретными условиями работы и в первую очередь

Режимы работы электродугового металлизатора ЭМ-6 на переменном токе

Материал	Диаметр про- волоки в мм	Скорость по- дачи в м./мин	Напряжение тока в в	Ток в а	Производи- тельность в кг/ч	Материал	Диаметр про- волоки в мм	Скорость по- дачи в м./мин	Напряжение тока в в	Ток в а	Производи- тельность в кг/ч	
Сталь	1.6	1.0	20	100—120	1,8	Алюми- ний	2.0	1.0	20	30—40	0,9	
		3,0	24	240—250	5,4			3,0	24	150—160	2,7	
		4,5	30	420—430	8,1			4,5	30	300	4,0	
	2.0	1.0	24	120—130	2,9		Цинк	1.5	1.0	16	40—45	1,5
3,0		30	360—370	8,7	3,0	20			105—110	4,5		
4,5		30	500	13,0	4,5	24			160—170	6,7		
Медь	1.5	1.0	20	40—50	1,8	Медь и сталь		2.0	1.0	16	45—50	2,7
		2,0	24	100—110	3,6		3,0		16	125—130	8,0	
		3,5	30	240—250	6,3		4,5		24	230—240	12,1	
	2.0	1.0	24	140—250	3,4		Сталь и латунь	1.5	1.0	24	65—70	2,4
2,0		30	200—210	6,8	2.0	3,0			24	420—430	7,2	
3,5		30	420—430	12,0		4,5			30	500	10,2	
Латунь	1.5	1.0	20	50—60		1,8		Сталь и латунь	1.6	1.0	30	55—60
		2,0	20	110—120	3,6	1.5	2,0			24	110—120	3,6
		3,5	20	240—250	6,3		3,0			30	180	5,4
	2.0	1.0	20	110—120	3,2		1.5		2,0	24	110—120	3,6
2,0		20	240—250	6,4	1.5	2,0		24	110—120	3,6		
3,0		24	350—360	9,6		1.5		2,0	24	110—120	3,6	
1.5	1.0	20	50—60	1,8			1.5	2,0	24	110—120	3,6	
	2,0	20	110—120	3,6	1.5			2,0	24	110—120	3,6	
	3,5	20	240—250	6,3		1.5		2,0	24	110—120	3,6	
2.0	1.0	20	50—60	1,8			1.5	2,0	24	110—120	3,6	
	2,0	20	110—120	3,6	1.5			2,0	24	110—120	3,6	
	3,5	20	240—250	6,3		1.5		2,0	24	110—120	3,6	
2.0	1.0	20	50—60	1,8			1.5	2,0	24	110—120	3,6	
	2,0	20	110—120	3,6	1.5			2,0	24	110—120	3,6	
	3,5	20	240—250	6,3		1.5		2,0	24	110—120	3,6	
2.0	1.0	20	50—60	1,8			1.5	2,0	24	110—120	3,6	
	2,0	20	110—120	3,6	1.5			2,0	24	110—120	3,6	
	3,5	20	240—250	6,3		1.5		2,0	24	110—120	3,6	
2.0	1.0	20	50—60	1,8			1.5	2,0	24	110—120	3,6	
	2,0	20	110—120	3,6	1.5			2,0	24	110—120	3,6	
	3,5	20	240—250	6,3		1.5		2,0	24	110—120	3,6	
2.0	1.0	20	50—60	1,8			1.5	2,0	24	110—120	3,6	
	2,0	20	110—120	3,6	1.5			2,0	24	110—120	3,6	
	3,5	20	240—250	6,3		1.5		2,0	24	110—120	3,6	
2.0	1.0	20	50—60	1,8			1.5	2,0	24	110—120	3,6	
	2,0	20	110—120	3,6	1.5			2,0	24	110—120	3,6	
	3,5	20	240—250	6,3		1.5		2,0	24	110—120	3,6	
2.0	1.0	20	50—60	1,8			1.5	2,0	24	110—120	3,6	
	2,0	20	110—120	3,6	1.5			2,0	24	110—120	3,6	
	3,5	20	240—250	6,3		1.5		2,0	24	110—120	3,6	
2.0	1.0	20	50—60	1,8			1.5	2,0	24	110—120	3,6	
	2,0	20	110—120	3,6	1.5			2,0	24	110—120	3,6	
	3,5	20	240—250	6,3		1.5		2,0	24	110—120	3,6	
2.0	1.0	20	50—60	1,8			1.5	2,0	24	110—120	3,6	
	2,0	20	110—120	3,6	1.5			2,0	24	110—120	3,6	
	3,5	20	240—250	6,3		1.5		2,0	24	110—120	3,6	
2.0	1.0	20	50—60	1,8			1.5	2,0	24	110—120	3,6	
	2,0	20	110—120	3,6	1.5			2,0	24	110—120	3,6	
	3,5	20	240—250	6,3		1.5		2,0	24	110—120	3,6	
2.0	1.0	20	50—60	1,8			1.5	2,0	24	110—120	3,6	
	2,0	20	110—120	3,6	1.5			2,0	24	110—120	3,6	
	3,5	20	240—250	6,3		1.5		2,0	24	110—120	3,6	
2.0	1.0	20	50—60	1,8			1.5	2,0	24	110—120	3,6	
	2,0	20	110—120	3,6	1.5			2,0	24	110—120	3,6	
	3,5	20	240—250	6,3		1.5		2,0	24	110—120	3,6	
2.0	1.0	20	50—60	1,8			1.5	2,0	24	110—120	3,6	
	2,0	20	110—120	3,6	1.5			2,0	24	110—120	3,6	
	3,5	20	240—250	6,3		1.5		2,0	24	110—120	3,6	
2.0	1.0	20	50—60	1,8			1.5	2,0	24	110—120	3,6	
	2,0	20	110—120	3,6	1.5			2,0	24	110—120	3,6	
	3,5	20	240—250	6,3		1.5		2,0	24	110—120	3,6	
2.0	1.0	20	50—60	1,8			1.5	2,0	24	110—120	3,6	
	2,0	20	110—120	3,6	1.5			2,0	24	110—120	3,6	
	3,5	20	240—250	6,3		1.5		2,0	24	110—120	3,6	
2.0	1.0	20	50—60	1,8			1.5	2,0	24	110—120	3,6	
	2,0	20	110—120	3,6	1.5			2,0	24	110—120	3,6	
	3,5	20	240—250	6,3		1.5		2,0	24	110—120	3,6	
2.0	1.0	20	50—60	1,8			1.5	2,0	24	110—120	3,6	
	2,0	20	110—120	3,6	1.5			2,0	24	110—120	3,6	
	3,5	20	240—250	6,3		1.5		2,0	24	110—120	3,6	
2.0	1.0	20	50—60	1,8			1.5	2,0	24	110—120	3,6	
	2,0	20	110—120	3,6	1.5			2,0	24	110—120	3,6	
	3,5	20	240—250	6,3		1.5		2,0	24	110—120	3,6	
2.0	1.0	20	50—60	1,8			1.5	2,0	24	110—120	3,6	
	2,0	20	110—120	3,6	1.5			2,0	24	110—120	3,6	
	3,5	20	240—250	6,3		1.5		2,0	24	110—120	3,6	
2.0	1.0	20	50—60	1,8			1.5	2,0	24	110—120	3,6	
	2,0	20	110—120	3,6	1.5			2,0	24	110—120	3,6	
	3,5	20	240—250	6,3		1.5		2,0	24	110—120	3,6	
2.0	1.0	20	50—60	1,8			1.5	2,0	24	110—120	3,6	
	2,0	20	110—120	3,6	1.5			2,0	24	110—120	3,6	
	3,5	20	240—250	6,3		1.5		2,0	24	110—120	3,6	
2.0	1.0	20	50—60	1,8			1.5	2,0	24	110—120	3,6	
	2,0	20	110—120	3,6	1.5			2,0	24	110—120	3,6	
	3,5	20	240—250	6,3		1.5		2,0	24	110—120	3,6	
2.0	1.0	20	50—60	1,8			1.5	2,0	24	110—120	3,6	
	2,0	20	110—120	3,6	1.5			2,0	24	110—120	3,6	
	3,5	20	240—250	6,3		1.5		2,0	24	110—120	3,6	
2.0	1.0	20	50—60	1,8			1.5	2,0	24	110—120	3,6	
	2,0	20	110—120	3,6	1.5			2,0	24	110—120	3,6	
	3,5	20	240—250	6,3		1.5		2,0	24	110—120	3,6	
2.0	1.0	20	50—60	1,8			1.5	2,0	24	110—120	3,6	
	2,0	20	110—120	3,6	1.5			2,0	24	110—120	3,6	
	3,5	20	240—250	6,3		1.5		2,0	24	110—120	3,6	
2.0	1.0	20	50—60	1,8			1.5	2,0	24	110—120	3,6	
	2,0	20	110—120	3,6	1.5			2,0	24	110—120	3,6	
	3,5	20	240—250	6,3		1.5		2,0	24	110—120	3,6	
2.0	1.0	20	50—60	1,8			1.5	2,0	24	110—120	3,6	
	2,0	20	110—120	3,6	1.5			2,0	24	110—120	3,6	
	3,5	20	240—250	6,3		1.5		2,0	24	110—120	3,6	
2.0	1.0	20	50—60	1,8			1.5	2,0	24	110—120	3,6	
	2,0	20	110—120	3,6	1.5			2,0	24	110—120	3,6	
	3,5	20	240—250	6,3		1.5		2,0	24	110—120	3,6	
2.0	1.0	20	50—60	1,8			1.5	2,0	24	110—120	3,6	
	2,0	20	110—120	3,6	1.5			2,0	24	110—120	3,6	
	3,5	20	240—250	6,3		1.5		2,0	24	110—120	3,6	
2.0	1.0	20	50—60	1,8			1.5	2,0	24	110—120	3,6	
	2,0	20	110—120	3,6	1.5			2,0	24	110—120	3,6	
	3,5	20	240—250	6,3		1.5		2,0	24	110—120	3,6	
2.0	1.0	20	50—60	1,8			1.5	2,0	24	110—120	3,6	
	2,0	20	110—120	3,6	1.5			2,0	24	110—120	3,6	
	3,5	20	240—250	6,3		1.5		2,0	24	110—120	3,6	
2.0	1.0	20	50—60	1,8			1.5	2,0	24	110—120	3,6	
	2,0	20	110—120	3,6	1.5			2,0	24	110—120	3,6	
	3,5	20	240—250	6,3		1.5		2,0	24	110—120	3,6	
2.0	1.0	20	50—60	1,8			1.5	2,0	24	110—120	3,6	
	2,0	20	110—120	3,6	1.5			2,0	24	110—120	3,6	
	3,5	20	240—250	6,3		1.5		2,0	24	110—120	3,6	
2.0	1.0	20	50—60	1,8			1.5	2,0	24	110—120	3,6	
	2,0	20	110—120	3,6	1.5			2,0	24	110—120	3,6	
	3,5	20	240—250	6,3		1.5		2,0	24	110—120	3,6	
2.0	1.0	20	50—60	1,8			1.5	2,0	24	110—120	3,6	
	2,0	20	110—120	3,6	1.5			2,0	24	110—120	3,6	
	3,5	20	240—250	6,3		1.5		2,0	24	110—120	3,6	
2.0	1.0	20	50—60	1,8			1.5	2,0	24	110—120	3,6	
	2,0	20	110—120	3,6	1.5			2,0	24	110—120	3,6	
	3,5	20	240—250	6,3		1.5		2,0	24	110—120	3,6	
2.0	1.0	20	50—60	1,8			1.5	2,0	24	110—120	3,6	
	2,0	20	110—120	3,6	1.5			2,0	24	110—120	3,6	
	3,5	20	240—250	6,3		1.5		2,0	24	110—120	3,6	
2.0	1.0	20	50—60	1,8			1.5	2,0	24	110—120	3,6	
	2,0	20	110—120	3,6	1.5			2,0	24	110—120	3,6	
	3,5	20	240—250	6,3		1.5		2,0	24	110—120	3,6	
2.0	1.0	20	50—60	1,8			1.5	2,0	24	110—120	3,6	
	2,0	20	110—120	3,6	1.5			2,0	24	110—120	3,6	
	3,5	20	240—250	6,3		1.5		2,0	24	110—120	3,6	
2.0	1.0	20	50—60	1,8			1.5	2,0				

Режимы работы газового металлизационного аппарата МГИ-1

Горючий газ	Давление в н./м. ²			Производительность (по распыленному металлу) в кг/ч										№ газопровода и индикатора	
	воздуха	кислорода	горючего газа	диаметр проволоки в мм											
				сталь	латунь	алюминий	цинк								
				1,5	2,0	3,0	4,5	2,0	1,5	2,0	3,0	4,5	2,0	I	
Ацетилен	34 · 10 ⁴ —39 · 10 ⁴	29 · 10 ⁴	0,39 · 10 ⁴	0,8	—	—	—	—	0,8	0,6	—	2,0	3,4	—	I
	34 · 10 ⁴ —39 · 10 ⁴	49 · 10 ⁴	0,29 · 10 ⁴	1,4	1,3	—	—	3,65	1	1,5	—	4,6	5,4	—	I
	39 · 10 ⁴	69 · 10 ⁴	0,59 · 10 ⁴	—	1,8	2,7 *	—	—	—	—	3,5	—	—	—	I
Пропан-бутановая смесь	39 · 10 ⁴	24,5 · 10 ⁴	3,92 · 10 ⁴	1,2	1,6	—	3	4,4	1,0	2,0	—	4,5	6,2	—	II
Метан	39 · 10 ⁴	21,5 · 10 ⁴	4,9 · 10 ⁴	1,0	1,3	—	—	3,2	0,9	1,3	—	4,5	5,4	—	II
Смешанный газ	39 · 10 ⁴	19,5 · 10 ⁴	4,9 · 10 ⁴	1,0	1,2	—	2,7	2,3	0,9	1,2	—	4,5	4,3	—	II

* Рекомендуется только при наличии проволоки из мягких сортов стали.

* Рекомендуется только при наличии проволоки из мягких сортов стали.

Во время автоматического переключения суппорта с аппаратом на обратный ход при небольшом повороте аппарата поток распыляемых частиц металла будет направляться на одну плоскость граней «рваной» резбьы, а при обратном ходе — на другую. Этим достигается наилучшее проникновение частиц напыляемого металла под все поперечные заусенцы, образующиеся на гранях «рваной» резбьы. Благодаря этому повышается прочность сцепления покрытия с основанием и увеличивается коэффициент использования металла.

При металлизации шеек ступенчатых валов аппарат устанавливают под углом $0,785 \text{ рад}$ и сначала производят металлизацию галтелей. После нанесения слоя толщиной $0,1-0,2 \text{ мм}$ производится металлизация остальных части шейки. При металлизации крупных деталей, подготовленных способом круглой резбьы, вначале покрывают металлом торцовые поверхности уступов и кольцевые канавки. Затем заполняется профиль круглой резбьы (отдельно с каждой стороны выступов). Струя металла при этом также направляется под углом $0,785 \text{ рад}$. После этого сплошным слоем покрывается вся поверхность при перпендикулярном направлении струи металла к оси детали. Последовательность процесса представлена на рис. 69.

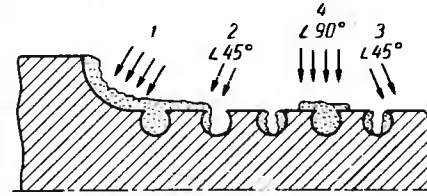


Рис. 69. Последовательность нанесения слоев покрытия при металлизации крупных деталей:

1 — 1-й проход; 2 — 2-й проход; 3 — 3-й проход; 4 — 4-й проход

Металлизация шеек валов с изолированными шпоночными канавками производится так же, как и валов без шпоночных канавок. При металлизации валов, которые в процессе подготовки приобрели ступенчатую форму, сначала покрывают меньший диаметр до толщины, равной следующей ступени, и т. д. Галтели и заплечики должны металлизироваться в первую очередь.

В ответственных случаях наращивание детали иногда производится «кольцевым» методом. Подготовка и наращивание при этом методе ведутся в одном и том же станке. Подготовка производится не на всей длине наращиваемого участка, а на части его. Длина участка выбирается так, чтобы наращивание велось при неподвижном электрометаллизаторе, причем с одной позиции на всю толщину слоя.

После того как произведено наращивание одного кольца, ведут подготовку второго участка, затем его покрывают слоем металла и так до тех пор, пока требуемая поверхность не будет полностью заметаллизирована. Опыт показал, что кольцевое наращивание дает наибольшую прочность сцепления, так как промежуток

времени между подготовкой детали и ее металлизацией очень мал и, кроме того отсутствует загрязнение подготовленной поверхности неприставшей металлической пылью, но производительность в этом случае снижается.

Для получения наиболее качественного покрытия шейки валов, имеющие большую длину и диаметр до 150 мм, металлизуют за один проход участками длиной не более 800—1000 мм, а шейки валов диаметром 150—300 мм — участками длиной не более 300—500 мм.

При производстве металлизационных работ необходимо учитывать специфические особенности при напылении внутренних и плоских поверхностей.

Напыленный слой в процессе остывания дает усадку, правда, значительно меньшую, чем при литье (табл. 22).

Таблица 22

Усадка напыленных и литых металлов

Металл	Усадка при напылении в %	Усадка при литье в %	Металл	Усадка при напылении в %	Усадка при литье в %
Сталь с 0,25% С	0,6	1,2—1,5	Медь	0,6	1,8—2,0
» 1,20% С	0,5	1,2—1,5	Бронза	1,0	1,4—1,5
Алюминий . . .	1,2	1,6—1,8	Цинк	0,7	1,0—1,6
Алюминиевая бронза	0,48	1,4—2,2			

При остывании в напыленном слое возникают значительные внутренние напряжения, которые при металлизации наружных цилиндрических поверхностей способствуют увеличению прочности сцепления слоя и основания, а внутренних цилиндрических и плоских, наоборот, — уменьшению.

При больших толщинах напыляемого слоя в покрытии иногда возникают продольные трещины (особенно в случае, если напыление производится сталью с низким содержанием углерода, например 0,1%). Чтобы избежать их появления, рекомендуется применять проволоку с повышенным содержанием углерода или производить небольшой предварительный подогрев детали.

При металлизации внутренних поверхностей силы усадки, действуя к центру отверстия, стремятся оторвать напыленный слой от основания и снижают прочность сцепления основания с покрытием. Поэтому при напылении внутренних поверхностей рекомендуется производить равномерный подогрев детали до 270—370° С или вести напыление покрытия очень тонкими слоями (0,05 + 0,1 мм) с последующим охлаждением каждого слоя. Для уменьшения усадки при напылении внутренних поверхностей

также применяется металл, менее склонный к усадке, например сталь с высоким содержанием углерода (0,7%). Те же меры принимаются и при металлизации плоских поверхностей. Плоские поверхности рекомендуется напылять полосами. В этом случае каждая полоса должна перекрывать соседнюю на одну треть. За один проход рекомендуется наносить слой толщиной 50—100 мм. При двухслойном покрытии второй слой целесообразно наносить под углом 157,5 рад к первому, а при трехслойном — под углом 105 рад к предыдущим.

На качество покрытий оказывает влияние скорость перемещения аппарата металлизатора по отношению к покрываемой поверхности. Эта скорость зависит от диаметра детали и должна быть согласована с числом оборотов последней. Зависимость скорости от диаметра дана в табл. 23.

Таблица 23

Зависимость числа оборотов шпинделя и скорости продольного перемещения аппарата от диаметра детали

Диаметр детали в мм	Число оборотов шпинделя токарного станка в минуту	Продольная подача в мм/об	Диаметр детали в мм	Число оборотов шпинделя токарного станка в минуту	Продольная подача в мм/об
10—30	160	2,5	101—200	30	1,2
31—60	80	1,7	201—300	15	1,2
61—100	60	1,7	301—400	10	1,2

При малых числах оборотов детали и малых подачах электрометаллизатора наблюдается значительный нагрев напыленного слоя.

Следует внимательно следить за нагревом детали, не допуская температуры выше 80° С.

Перегрев детали ведет к снижению твердости и изнosoустойчивости, а также к местному отслаиванию. Если деталь нагреется выше указанной температуры, процесс металлизации следует прекратить и дать детали остыть или в это время металлизировать другую часть детали (например, вторую шейку при металлизации коленчатых валов).

Деталь можно охлаждать, и не прекращая металлизацию. Для этого применяют добавочное охлаждение сжатым воздухом из целевидных трубок, которые укрепляются позади вращающейся детали. Давление сжатого воздуха должно быть не выше $20 \cdot 10^4$ — $30 \cdot 10^4$ н/м².

Большое значение имеет толщина наращиваемого слоя за один проход аппарата. Практикой установлено, что нанесение за один проход аппарата покрытия толщиной свыше 0,5 мм приводит к перегреву детали, расслоению покрытия и образованию трещин.

Если аппарат был плохо отрегулирован или установленный режим не соблюдался, то на покрытии можно обнаружить кусочки нерасплавленного металла. Их нужно устранить острым зубилом. Если же на поверхности осело много металлической пыли, то ее нужно удалить металлической щеткой.

При нагревании слоя выше 80 °С покрытие необходимо охладить, в противном случае также могут образоваться трещины.

На наружные поверхности цилиндрической формы при строгом соблюдении режима можно наносить покрытия любой толщины. На плоских поверхностях и внутренних стенках цилиндров при нанесении толстых слоев может происходить их отслаивание, поэтому стальные покрытия более 3 мм на сторону наносить в этих случаях не рекомендуется (см. ниже).

При металлизации вручную очень трудно получить равномерное покрытие по толщине; при металлизации же на токарных станках покрытия получаются равномерными и можно даже проводить мерную металлизацию, снижающую припуск на последующую обработку.

Установлено, что для получения прочного сцепления наносимого покрытия с основным металлом детали и для хорошей работоспособности его необходимо после окончательной обработки иметь стальной слой толщиной, указанной ниже:

Диаметр детали в мм . . .	До 25	25—50	50—75	75—100
Минимально допускаемая толщина слоя после окончательной обработки . .	0,60	0,60—0,65	0,65—0,70	0,75—0,80
Диаметр детали в мм . . .	100—125	125—150	150 и выше	
Минимально допускаемая толщина слоя после окончательной обработки . . .	0,80—0,85	0,85—0,95	0,95—1,00	

Качество структуры напыленного металла считается удовлетворительным в том случае, если поверхность имеет вид тонкого наждачного полотна. Качество структуры определяется по качеству распыла металла.

Практикой установлено, что при наиболее мелком распыле получают покрытия высокого качества.

Мелкозернистость покрытия определяется внешним осмотром, но правильнее сравнивать покрытие с эталоном. Для этого из листовой стали толщиной 2 мм изготавливают квадратные пластинки с квадратным отверстием посередине. Края отверстия скапываются внутрь; эталон покрывается распыленным металлом требуемого качества. Для контроля необходимо иметь набор таких эталонов с покрытиями, наиболее часто употребляемыми в данном производстве.

При контроле эталон накладывают на металлизированную поверхность и сравнивают с той частью ее, которая видима через отверстие с металлизированными краями эталона.

В некоторых случаях в покрытии обнаруживаются бугорки, крупный распыл и т. п. вследствие следующих причин [23]:

- 1) велика подача проволоки;
- 2) недостаточно напряжение тока;
- 3) давление сжатого воздуха ниже нормального (например, $29 \cdot 10^4$ — $39 \cdot 10^4$ н/м² вместо $49 \cdot 10^4$ — $59 \cdot 10^4$ н/м²);
- 4) в распылительной головке изношены проволоконаправляющие пластины и головка не отрегулирована;
- 5) электродная проволока плохо очищена от ржавчины, не выправлена.

Нередко на поверхности покрытия появляются ожоги и цвета побежалости. Причины этого явления следующие:

- 1) повышенное напряжение тока на дуге (40—50 в вместо 30 в для стали);
- 2) большая величина тока при малых габаритах детали;
- 3) малое расстояние очагов плавления до напыляемой поверхности (нормально 75—100 мм);
- 4) недостаточная скорость продольного перемещения аппарата;
- 5) нанесение большой толщины слоя за один проход аппарата (0,5—1 мм вместо нормальной 0,1—0,3 мм);
- 6) пониженное давление воздуха, при котором получается крупный распыл;
- 7) продолжительное напыление без перерывов для охлаждения детали.

Все это приводит к рыхлому, некачественному покрытию, а также резко понижает прочность сцепления напыленного слоя с основанием.

Наиболее важным и в то же время наиболее трудным является контроль прочности сцепления напыленного слоя с покрываемой поверхностью. Особенно трудно его проводить при восстановлении изношенных деталей. Самым примитивным способом контроля является простукивание легким молотком для выявления тех мест покрытия, которые имеют слабое сцепление с основанием. В тех местах, где покрытие отстало или имеет плохое сцепление, будет слышен более глухой и даже дребезжащий звук.

Существует несколько методов определения прочности сцепления с нагружением покрытия силами в нормальном, аксиальном и тангенциальном направлениях. Описание некоторых из них приводится в технической литературе по вопросам металлизации [10, 14].

Саратовским институтом механизации сельского хозяйства разработано приспособление для определения прочности сцепления на основе принципиальной схемы, положенной в основу аналогичного приспособления Ростовского института сельскохозяйственного машиностроения [14].

Для исследования прочности сцепления напыленного слоя с основным металлом по этому методу изготавливают металлический

цилиндрический блок (рис. 70), равный диаметру той детали, которая в массовом порядке восстанавливается способом металлизации.

В блоке просверливают четыре отверстия сечением 1 см^2 , поверхность которых шлифуют. В отверстия на скользящей посадке вставляют штыри и закрепляют их стопорными винтами.

Поверхность блока подготавливается под металлизацию намеченным способом. Затем штыри вынимают, очищают от заусенцев

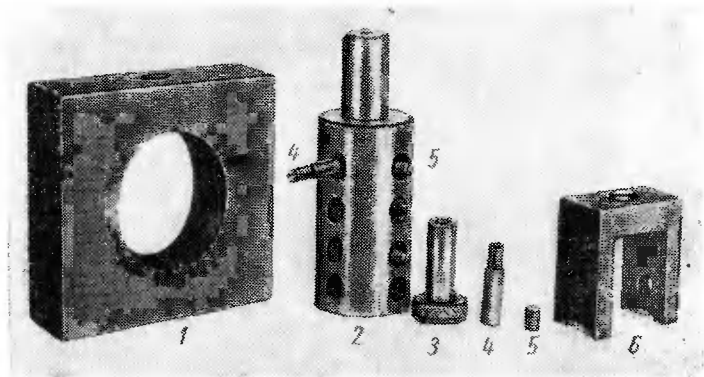


Рис. 70. Детали приспособления для определения прочности сцепления:

1 — основная стальная рамка; 2 — цилиндрический блок; 3 — винт с внутренней резьбой; 4 — штырь; 5 — стопорный винт; 6 — рамка

и снова ставят на место, закрепляя винтами. После этого производят металлизацию блока вместе со штырями при различной толщине слоя.

После металлизации блок проходит такую же обработку, как и восстанавливаемые детали, а также подвергается контрольному осмотру. После этого его помещают во внутреннее отверстие основной рамки (рис. 71). Через верхнее отверстие рамки пропускают винт с внутренней резьбой, который навинчивают на нарезанную часть штыря блока. Затем на основную рамку надевают рамку меньшего размера, показанную на рис. 70. Приспособление устанавливается под пресс Гагарина (рис. 71), и производится испытание с одновременным отсчетом нагрузок и записью диаграмм.

Для определения количества металла, затраченного на восстановление изделия, т. е. для определения коэффициента полезного использования металла перед началом процесса и после его окончания взвешивают бухту проволоки, которая идет на распыление. Одновременно взвешивают детали до и после нанесения

на них слоя. Отношение веса напыленного слоя к весу израсходованной проволоки даст коэффициент полезного использования металла. Если известен процент потерь металла при распылении, то вместо взвешивания изделия можно ограничиться определением количества израсходованной проволоки.

Контроль толщины напыленного слоя производится при помощи обычных штангенциркулей.

За последнее время для определения толщины слоя, нанесенного из немагнитных материалов (например, цинка или алюминия) на ферромагнитное основание, применяют магнитные микрометры системы проф. Н. С. Акулова. При производстве антикоррозион-

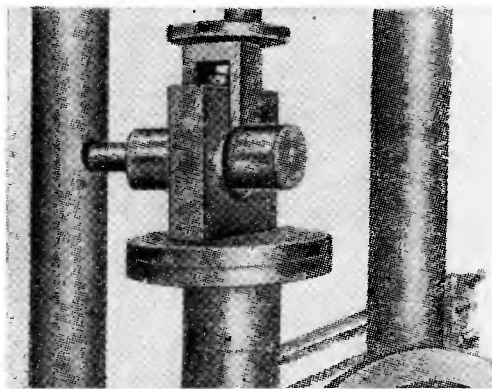


Рис. 71. Приспособление, установленное на прессе Гагарина

ных покрытий периодически контролируют объем выполненных работ взвешиванием проволоки. При этом они исходят из того, что при нанесении цинкового покрытия толщиной $0,1\text{ мм}$ требуется цинковой проволоки $0,9\text{—}1,0\text{ кг/м}^2$.

Контроль твердости покрытий затруднен вследствие их пористости. Обычно твердость определяется по методам Бринеля и Роквелла.

Наиболее точные результаты дает определение твердости отдельных частиц в покрытии.

При восстановлении изношенных деталей часто необходимо определить пористость и масловпитываемость покрытия. Напыленный слой отделяется от основы, взвешивается и помещается на $25\text{—}50^\circ\text{C}$ в автол, подогретый до температуры 70°C , затем отдельный слой снова взвешивается. Процентное отношение массы поглощенного масла к объему металлизированного слоя определяет способность напыленного металла поглощать масло и пористость его.

Маслопоглотительная способность вычисляется по следующей формуле:

$$g = \frac{100 Q}{V} \%,$$

где g — маслопоглотительная способность в %;

Q — масса поглощенного масла в кг;

V — объем образцов в м^3 .

Обычно объем отделенного слоя определяется градуированной мензуркой.

Если при металлизации были заделаны раковины, трещины (при помощи цинковой проволоки), то в этом случае устанавливается следующий порядок приемки деталей из ремонта. К приемке допускаются агрегаты не ранее чем через 2 ч после последней операции смачивания. Испытание производится опрессовкой детали водой, причем, подняв давление на $9,8 \cdot 10^4 \text{ н/м}^2$, дают 2—3 мин выдержки; дальнейшее повышение давления производится постепенно с 0,5—1-минутными выдержками после каждых $20 \cdot 10^4 \text{ н/м}^2$.

При появлении на нанесенном слое признаков проницаемости деталь с испытания не снимается, а оставляется на прессе под тем же давлением в течение 3—5 мин. Если по истечении этого времени течь не увеличивается — признаки влаги удаляются, а давление вновь повышается. Если в результате 3—5-минутной выдержки под давлением прекращение течи не наблюдается, деталь с испытания снимается и направляется на повторную металлизацию.

Проницаемость тонких покрытий определяется с помощью специальных образцов в виде пластин с мелкими отверстиями, которые металлизуют с одной стороны. Образец закрепляется в зажиме специального прибора, в котором находится вода. Давление в приборе повышается постепенно. В момент появления следов влаги на поверхности образца фиксируется давление воды, оно и служит мерилем водопроницаемости. После каждого повышения давления необходимо давать выдержку в течение 10 мин

Обработка напыленных покрытий

Механическая обработка изделий влияет в значительной степени на изменение свойств напыленных покрытий и их долговечность. Рациональные способы механической обработки должны обеспечить сохранение оптимальных физико-механических свойств изделий с покрытиями.

Изделия с напыленными покрытиями могут подвергаться следующим видам механической обработки: точению, шлифованию, фрезерованию, строганию, сверлению, раззенковке отверстий, а также слесарной опиловке, шпайковке, анодно-механической и искровой обработке.

Последующая обработка покрытий может осуществляться не только снятием металла, но и методом пластической деформации, улучшением свойств термическим упрочнением, поверхностной обкаткой, наклепом, технологическими операциями по увеличению или, наоборот, снятию пористости и многими другими.

Обработку изделий с напыленными покрытиями чаще всего осуществляют точением и шлифованием. Строгание, сверление и фрезерование покрытий хотя и возможно, но связано с некоторыми трудностями.

Покрытия шлифуют, если необходимо получать изделия с высокой точностью размеров и повышенной чистотой поверхности.

Токарная обработка слоя из распыленных частиц не встречает особых трудностей. Однако здесь необходимо учитывать ряд ограничений режима резания при точении, создаваемых хрупкостью осадков, недолговечностью инструмента и пониженной прочностью связи частиц покрытия с наращиваемым изделием.

К слесарной обработке прибегают сравнительно редко, при необходимости раззенковки и рассверловки отверстий в покрытиях, опиловки и шпайковки подгоняемых деталей.

При резании возникают пластическая деформация, наклеп, нагрев, сдвиг, внутренние остаточные напряжения в поверхностном слое обрабатываемых изделий. В результате этих явлений в структуре слоя покрытия уменьшаются силы связи как частиц, образующих слой, так и самого слоя с основанием.

Отделочные операции механической обработки покрытий фасонных частей машин — трудоемкий технологический процесс, создающий значительную загрузку металлорежущих станков. Таким образом, механическая обработка в значительной степени определяет стоимость готовых изделий, производительность труда и расход дефицитных материалов на наращивание.

Общая толщина снимаемого резанием слоя покрытия при механической обработке может быть намного ниже, чем у литых и кованых частей машин. Это объясняется тем, что поверхностный слой напыленных покрытий более равномерный.

Выбор способов и режимов механической обработки напыленного металла зависит от эксплуатационного назначения металлизированных деталей. Последнее можно пояснить следующим примером.

Увеличение износостойкости достигается высокой пористостью. Минимальную пористость должны иметь покрытия, предназначенные для защиты от коррозии. Соответственно меняются режимы механической обработки. Механическая обработка снижает пористость у покрытий, получаемых распылением. Отсюда требование — режимы резания следует устанавливать в зависимости от назначения покрытий в эксплуатации. В отдельных случаях одни и те же способы механической обработки (шлифование, точение) приемлемы для определенных условий эксплуатации, а для

других неприемлемы. Это объясняется разнообразием физико-механических свойств после наращивания одних и тех же видов исходных материалов, используемых для нанесения покрытий.

Другой пример. При тяжелых условиях нагружения возникает необходимость выбора не только технологии подготовки и нанесения покрытия, обеспечивающих высокую прочность сцепления слоя и основания, но и таких режимов обработки, которые в минимальной степени уменьшили бы эту прочность. К этому надо добавить, что режимы обработки должны обеспечить высокую экономичность процесса.

Обточка покрытий

Отделение стружки при обточке напыленных металлов протекает примерно так же, как и пресованных порошковых материалов. Получающаяся стружка состоит из отдельных частиц, при-

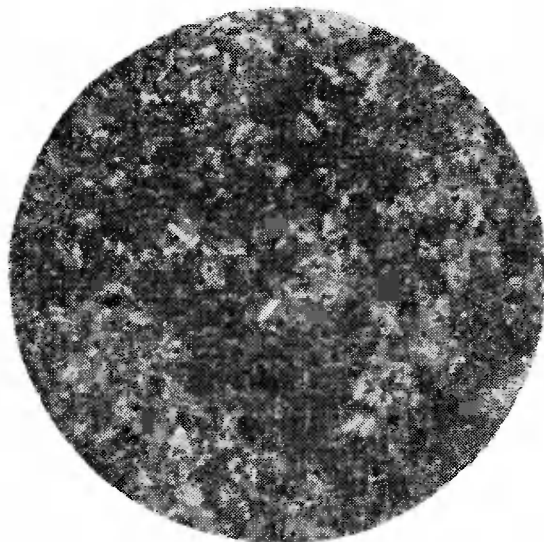


Рис. 72. Вид стружки, полученной при обработке напыленной стали 40 (увеличено в 30 раз)

чем в некоторых случаях имеет форму мелкого порошка с включением более крупных частиц, состоящих из слабо соединенных друг с другом пылинок (рис. 72).

Поскольку технология нанесения покрытия методом напыления позволяет ограничиваться самыми минимальными припусками на обработку, процесс резания, по существу, может считаться как бы отделочной операцией.

В связи с этим глубина резания незначительна, и поэтому возникает концентрация усилий резания в непосредственной близости от режущей кромки инструмента. Указанное обстоятельство является причиной сильного нагрева резца и его интенсивного износа. Этому способствует и характер строения напыленного металла. Как было указано выше, в покрытии содержатся окислы и частицы высокой твердости, что вызывает абразивный износ резца.

Сказанное определяет выбор материала и геометрии резца.

Исследованиями, проведенными МТИ, Ростовским институтом сельскохозяйственного машиностроения (РИСХМ), Ленинградским институтом сельского хозяйства (ЛИСХ), установлено, что резцы из углеродистой и быстрорежущей стали имеют крайне низкую долговечность при обработке покрытий, полученных из распыленной стали. Исследовались покрытия, полученные распылением стали марок 40, У7А и малоуглеродистой (0,14% С, 0,5% Мп). После 5 мин работы был обнаружен полный износ резцов по задней грани (рис. 73).

В результате длительной проверки были рекомендованы для эксплуатации резцы с пластинами из твердых сплавов марок ВК2, ВК3М, ВК6 и Т15К6.

В МТИ исследовалась зависимость стойкости инструмента от режима напыления стали 40.

В табл. 24 дана зависимость стойкости инструмента с пластиной из сплава ВК6 при обработке напыленной стали от скорости резания, давления и расхода сжатого воздуха и производительности аппарата, при которых производилось напыление образцов.

Стойкость инструмента существенно зависит от геометрии режущего лезвия. Исследования, проведенные в МТИ, РИСХМ и ЛИСХ, дали результаты, приведенные в табл. 25.

Оптимальные режимы резания при черновом и чистовом течении по данным РИСХМ приведены в табл. 26.

При выборе режимов резания следует учитывать толщину слоя покрытия и прочность связи между изделием и покрытием. Максимальные режимы резания допустимы при надежной подготовке поверхности под покрытие — резкой, намоткой проволоки. Отступления от режимов резания не должны превосходить 20% для



Рис. 73. Износ резца по задней грани при обработке напыленной стали 40

Таблица 24

Зависимость стойкости инструмента (в мин) от скорости резания, давления и расхода сжатого воздуха и производительности аппарата

Наименование	Скорость резания в м/мин					
	10	15	20	25	30	35
Давление сжатого воздуха: в н/м²:						
29,5 · 10 ⁴	105,0	46,0	25,0	18,0	11,0	9,0
39 · 10 ⁴	80,0	36,5	21,0	12,0	10,0	6,5
49 · 10 ⁴	71,0	33,0	19,0	11,5	9,0	6,0
59 · 10 ⁴	65,0	30,0	17,0	12,0	9,0	6,0
68,5 · 10 ⁴	50,0	24,0	14,0	9,0	6,5	4,5
Диаметр сопла в мм:						
3	109,0	39,0	28,6	17,0	12,0	9,2
4	83,0	37,5	22,0	13,0	10,5	6,9
5	71,0	31,0	18,0	11,0	8,0	5,1
6	68,5	27,5	17,1	10,0	7,8	5,5
Производительность аппарата в кг/ч:						
0,34	53,0	23,3	13,5	9,0	5,5	4,1
0,54	52,9	23,8	13,3	8,2	6,2	4,2
1,25	57,3	26,0	13,9	9,1	6,2	4,4
2,76	61,8	27,6	15,7	9,1	6,5	5,5
3,42	65,8	29,1	16,0	10,0	7,0	5,2
Примечание. Глубина резания 0,5 мм, подача 0,2 мм.						

скорости резания, 50% — для глубины резания и 10—30% — для подачи.

При обточке цинковых и алюминиевых покрытий можно доводить скорость резания до 60—70 м/мин, глубину резания до 1—1,5 мм, подачу до 1,0 мм/об.

Строгание, фрезерование, сверление, слесарную обработку производят с осторожностью во избежание нарушения целостности слоя.

Фрезерование покрытия применяют только при обработке шпоночных и масляных канавок, специальных углублений. Фрезерование можно производить только по «попутному» методу. Метод «встречного» фрезерования применять нельзя.

Работа затупленным инструментом не допускается из-за высокого давления на слой покрытия и возможности его сдвигов и разрушения.

Оптимальная характеристика лезвия резцов для обточки покрытий из напыленной стали

Таблица 25

Параметры	По данным			
	МТИ	РИСХМ	ЛИСХ для обработки	
			черновой	чистовой
Углы резца в рад:				
задний	0,209	0,174	0,209	0,209
передний	0,122	—0,087	—	—
в плане	0,785	0,785	—	—
вспомогательный в плане	0,209	0,174	—	—
наклона режущей кромки	0	0	0,087	—0,087
Радиус при вершине в мм	1,5	0		
Материал пластины резца (марка твердого сплава)	ВК6	ВК2	ВКЗМ	Т15К6

Таблица 26

Скорости резания для чистовой и черновой обработки точением напыленного металла в м/мин

Точение при глубине резания в мм	Подача в мм/об						
	0,1	0,15	0,20	0,25	0,3	0,4	0,5
Чистовое:							
0,3	43,0	34,5	—	26,0	—	19,0	—
0,4	42,0	33,5	—	24,0	—	18,0	—
0,5	41,5	33,0	—	22,0	—	17,0	—
Черновое:							
0,5	—	—	25,0	—	15,0	11,0	7,0
0,7	—	—	23,0	—	13,0	10,0	6,5
1,0	—	—	21,0	—	12,0	9,0	6,0
Примечание. Режимы резания рассчитаны при стойкости резца 60 мин.							

Шлифование покрытий

Шлифование покрытий, полученных распылением, — распространенный технологический процесс, применяемый для доводки размеров и получения необходимой микрогеометрии таких изделий. Шлифование применяют тогда, когда необходимо получить

высокую точность обработки. Шлифование производится непосредственно после нанесения покрытия или после предварительной токарной обработки.

Обработка покрытий шлифованием характеризуется особенностями, влияющими на выбор режимов, инструмента и получаемую эффективность. Основные затруднения возникают из-за засаливания режущих кругов, требующих частых остановок и правки. Засаливание возникает не только у шлифовальных кругов, но и в порах обрабатываемого материала, что приводит к снижению долговечности изделий с пористыми покрытиями — ухудшению впитывания смазки и затруднению ее выделения в процессе трения.

При шлифовании обеспечиваются высокая точность (от 3-го до 1-го класса) и чистота обработки (до 11-го класса). Шлифовальные круги снимают за один проход слой от 0,005 до 0,009 мм. Толщина стружки при шлифовании составляет несколько микрон. Снятие металла шлифованием сопровождается выделением большого количества тепла и значительной деформацией поверхностного слоя, но на небольшую глубину.

Тонкий поверхностный слой покрытий под влиянием высокого нагрева и давления при шлифовании может местами отделяться, образуя сетку так называемых «шлифовочных трещин». Установлено, что неправильные режимы шлифования — затупление зерна и засаливание круга — резко ослабляют прочность связи частиц металла друг с другом. Высокий нагрев поверхности покрытия создает прижоги и структурные изменения.

Усилие резания при шлифовании очень высоко.

Режимы шлифования при обработке изделий с покрытиями распылением, в силу особых свойств последних, значительно ниже, чем при обработке других материалов.

Проверенные и рекомендуемые режимы шлифования напыленных металлов приведены в табл. 27.

Таблица 27

Режимы шлифования стальных покрытий распыленным металлом, рекомендуемые различными институтами

Параметры	РИСХМ	МТИ
Скорость вращения изделия в м/мин	15	10
Продольная подача	0,7 м/мин	0,2—0,7 ширины круга на каждый оборот детали
Поперечная подача (глубина шлифования) в мм	До 0,2	0,015—0,04
Окружная скорость камня в м/сек	—	25—30
Материал шлифовального круга	—	Алунд

При обработке слоя распыленного металла применяя монокорундовые или электрокорундовые круги, реже карбокорундовые.

Монокорундовые круги имеют преимущества перед карбокорундовыми или электрокорундовыми — меньше затупляются и засаливаются, меньше изнашивается рабочая поверхность; их удельная производительность в 3—4 раза выше.

Шлифование покрытий рационально применять только как процесс чистовой обработки. При снятии больших припусков процесс становится малопродуктивным по сравнению с другими способами обработки. Например, точение может обеспечить за то же время снятие металла в 10—12 раз больше.

Анодно-механическая доводка покрытий

Для создания высокой чистоты поверхности и точных размеров можно использовать анодно-механическую обработку. По опубликованным данным она обеспечивает шероховатость поверхности по 11-му классу и точность размеров по 2 и 1-му классам. Нужные свойства поверхностного слоя достигаются регулировкой плотности тока и подбором состава электролита. Производительность процесса не уступает ряду других отделочных операций, что подтверждается данными табл. 28. Производительность и выполнение технологического процесса не зависят от качества обрабатываемого материала.

Таблица 28

Сравнение различных отделочных операций

Параметры	Хонингование	Суперфиниш	Анодно-механическая доводка
Толщина снимаемого слоя металла в мм/мин	0,020	0,005	0,012—0,036
Максимальная высота гребешков в конце обработки в мм	0,5	0,25—0,8	0,25—0,5
Расход абразивного материала в г на 1 г снятого металла	0,17	9,0	0,01

Давление инструмента при анодно-механической обработке всего $9,8 \cdot 10^4$ — $29,5 \cdot 10^4 \text{ н/м}^2$. Высокий эффект получается при анодно-механической обработке труднообрабатываемых покрытий высокой твердости. Рекомендуемые режимы тока: плотность 0,5—2 а/см^2 , напряжение 12—30 в.

Крайне важно то обстоятельство, что при анодно-механической обработке почти полностью сохраняются поры в покрытии, удаляются только выступы — гребешки.

Припуски на последующую обработку покрытий

Величина припуска на механическую обработку в значительной мере влияет на технико-экономическую эффективность применения металлизации напылением.

Выбор величины припуска на механическую обработку покрытия является более ответственным этапом технологии, чем при обработке отливок, проката и поковок. У последних превышение объема снимаемого резанием поверхностного слоя изделий сказывается только на расходе металла и затрате рабочей силы на снятие стружки. У изделий с покрытиями распыленным металлом превышение толщины припусков снижает прочность и может привести к разрушению. С увеличением толщины покрытий растут напряжения в слое, что ограничивает предельную толщину наращивания на плоских изделиях и внутренних цилиндрических поверхностях: для тугоплавких металлов до 1,0—1,5 мм и для легкоплавких металлов до 2,5—3,0 мм.

В указанные предельные величины толщин входят и размеры припусков на обработку. Толщину покрытия рассчитывают на: а) запас металла для компенсации износа в эксплуатации; б) принятую систему ремонта, например, запас на снятие металла ступенчатыми размерами; в) припуски на механическую обработку; г) защиту от отслаивания из-за напряжений, что ограничивает суммарную толщину покрытия.

Общая толщина слоя покрытия и ее расчетные составляющие связываются зависимостью

$$T_{\text{сум}} = T_{\text{шер}} + T_{\text{изн}} + T_{\text{рем}} + T_{\text{прип}}$$

где $T_{\text{шер}}$ — расчетная глубина слоя, перекрывающая шероховатость поверхности, подготовленной под покрытие (например, рваной резьбы, накатки);

$T_{\text{изн}}$ — расчетная толщина слоя допускаемого износа;

$T_{\text{рем}}$ — расчетная глубина слоя, обеспечивающая многократный ремонт снятием металла;

$T_{\text{прип}}$ — припуск металла на обработку.

Толщина слоя покрытия зависит и от режима процесса наращивания — технологической подготовки, системы аппаратуры, характера распыла, его равномерности, природных свойств наращиваемого металла, размера припусков, свойственных принятому виду механической обработки. Жаростойкие и коррозионностойкие покрытия имеют минимальную толщину. Такие изделия следует наращивать, где возможно, размерными слоями без последующей механической обработки. Толщина таких покрытий устанавливается различными исходными данными. Так, например, для защиты от коррозии толщина покрытий распыленного металла зависит от условий покрытия пор. Толщина слоя покрытия, сни-

маемого механической обработкой, зависит также от степени равномерности нанесения осадка и геометрической формы изделия с покрытием.

Величина припусков на снятие металла с деталей с покрытиями обычно невелика. Отсюда все исправления геометрической формы и деформации деталей должны осуществляться до чистовой обработки. Целесообразно также прибегать к снятию внутренних остаточных напряжений до наращивания, если они способствуют созданию в дальнейшем деформации изделия. Это возможно осуществлять предварительным упрочнением (при подготовке под наращивание), создающем значительные остаточные напряжения. Такого же эффекта можно достигнуть термической обработкой.

Рекомендуемые припуски на сторону при обработке металлизированных цилиндрических деталей указаны в табл. 29.

Таблица 29

Припуски на обработку металлизированных деталей в мм

Диаметр детали в мм	Токарная обработка (1-я операция)	Шлифование (2-я операция)	Всего	Только шлифование	Диаметр детали в мм	Токарная обработка (1-я операция)	Шлифование (2-я операция)	Всего	Только шлифование
До 25	0,40	0,20	0,60	0,30	125—150	0,80	0,30	1,10	0,45
25—30	0,50	0,20	0,70	0,35	150—200	0,95	0,40	1,35	0,50
30—50	0,55	0,20	0,75	0,35	200—300	1,10	0,50	1,60	0,70
50—75	0,65	0,25	0,90	0,40	300—500	1,25	0,60	1,85	0,85
75—100	0,70	0,25	0,95	0,40					

Влияние режимов резания на чистоту поверхности покрытий

Чистота поверхности напыленных покрытий в значительной степени зависит от условий механической обработки — режимов резания, геометрии и материала инструмента. Микрогеометрия поверхности интенсивно ухудшается (слой разрушается) при работе затупленным инструментом и из-за нерациональных режимов резания.

Установлено, что износ по задним граням резца не должен превосходить 0,5 мм, так как после этого начинается интенсивное разрушение поверхности покрытия.

Износостойкость инструмента служит решающим фактором, позволяющим получать удовлетворительную микрогеометрию поверхности. Оптимальные размеры резца из сплава ВК2 для получения чистой поверхности при точении по данным РИСХМ показаны на рис. 70, а.

Зависимость класса шероховатости поверхности металлизированных стальной деталей от подачи резца при постоянной глубине

резания (0,1—0,5 мм) и постоянной стойкости инструмента (20—40 мин) указана ниже:

Подача в мм/об	0,08	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,40	0,50
Класс шероховатости поверх- ности	7	6	5	5	4	4	4	3

Наиболее целесообразной является подача 0,1 мм. При ней достигаются удовлетворительная шероховатость поверхности и приемлемая производительность.

Влияние режимов резания на шероховатость обработанной поверхности изучалось ЛСХИ. Исследовалась микрогеометрия поверхности при разных скоростях резания и подачах при точении.

Влияние скорости резания на чистоту обработанной поверхности определялось при постоянной площади сечения среза $0,5 \times 0,15 \text{ мм}^2$. Скорости резания менялись в диапазоне 3,6—90 м/мин. Вторая серия опытов проводилась при тех же скоростях резания, но при подачах 0,15; 0,3; 0,5 мм/об. Образцы изготавливались из нормализованной стали 45. Для наращивания применялась проволока марки У7А. Для нанесения слоя применялся электрометаллизатор ЛК-6А, работающий при режиме: давление сжатого воздуха $50 \cdot 10^4$ — $54 \cdot 10^4 \text{ н/м}^2$, напряжение 30 в, сила тока 90—130 а (ток переменный), расстояние до поверхности покрытия 100 мм. Шероховатость обработанной поверхности, определяемая прибором ИЗП-5, приведена в табл. 30.

Таблица 30

Высота неровностей H_{cp} обработанной поверхности в мкм

Размеры сечения среза в мм	Скорость резания v в м/мин							
	3,6	5,6	14,2	22,0	34,0	45,0	68,0	90,0
0,5×0,15	10	13,3	12,5	10	8	9,7	9,5	11,6
0,5×0,3	18,5	24,9	21,7	20,5	19,5	21,5	23,1	24
0,5×0,5	39,0	42,7	42,0	42,0	42,0	37,6	42,7	48

Данные таблицы указывают, что при небольших скоростях резания (до 15 м/мин) и при больших (выше 45 м/мин) качество поверхности ухудшается. Большие скорости ухудшают чистоту поверхности в результате интенсивного износа режущей кромки резца.

Влияние режимов резания на прочность сцепления покрытия с основанием

Как уже указывалось, при резании возникают пластическая деформация, наклеп, нагрев, внутренние остаточные напряжения в поверхностном слое обрабатываемых изделий. В результате

этого уменьшаются силы связи как между частицами, образующими слой, так и между поверхностью детали и покрытием.

Специальными исследованиями, например В. И. Драгунович, доказано, что токарная обработка покрытия снижает величину молекулярных сил связей примерно на 19—24% [$v = 33 \text{ м/мин}$, $s = 0,1 \div 0,3 \text{ мм/об}$, $t = 0,3 \div 0,5 \text{ мм}$ (обработка в два прохода)].

Снятие поверхностного слоя шлифованием ослабило прочность связи на 25—30% (режимы шлифования: $v_k = 28 \text{ м/сек}$, $v_d = 8 \text{ м/мин}$, $s = 7 \text{ мм/об}$, охлаждение эмульсией).

Анодно-механическая обработка также уменьшает силы связи примерно на 13—19% (режимы обработки: напряжение 30 в, сила тока 100—150 а, $v_k = 20 \div 22 \text{ м/сек}$, $v_d = 45 \text{ об/мин}$, электролит — жидкое стекло плотностью 1,30°, круг чугунный).

Изменения сил связей, возникающих при механической обработке, находятся в зависимости от величины и глубины пластической деформации, создаваемой при резании.

Необходимо также учитывать, что режимы резания создают в покрытиях значительные остаточные напряжения. Кроме того, такие же напряжения возникают и в процессе образования покрытий распылением — от нагрева, охлаждения, усадки и пр.

Из сказанного вытекают дополнительные рекомендации по выбору режимов резания напыленных металлов.

Обработка должна осуществляться при минимальной пластической деформации.

При применении более интенсивных режимов механической обработки напыленных покрытий следует использовать способы подготовки поверхности к металлизации, создающие наиболее высокую прочность сцепления слоя и основания.

Влияние механической обработки на пористость покрытий

Способы и режимы механической обработки влияют на степень пористости покрытий и объем впитываемого в поверхностный слой масла. Механическая обработка, пластически деформируя поверхностный слой покрытия, в большей или в меньшей мере уменьшает маслосъемность. Грубая обработка резцом снижает пористость на 15%, чистовая — на 25%, шлифование — на 55%.

Пористость, свойственная напыленным металлам, удлиняет сроки службы изнашивающихся деталей машин. Получение износоустойчивых поверхностей трения с развитыми порами — одно из основных назначений технологии этого вида покрытий.

Высокую пористость можно получить, применяя специально подобранные режимы напыления [12]. Однако чрезмерное увеличение пористости также нежелательно ввиду уменьшения прочности покрытия.

ПРИМЕНЕНИЕ НАПЫЛЕННЫХ ПОКРЫТИЙ

В Советском Союзе и за границей напыление нашло широкое применение при ремонте оборудования заводов и фабрик, при восстановлении изношенных деталей тракторов и автомобилей, сельскохозяйственных и строительно-мелиоративных машин, текстильного оборудования, при исправлении брака при литье и механической обработке, для получения антифрикционных, защитных, жаростойких и других покрытий, для замены цветных металлов и т. д.

МЕТАЛЛИЗАЦИЯ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ И ИЗГОТОВЛЕНИИ ДЕТАЛЕЙ

Применение металлизации при ремонте оборудования заводов

Многолетнее применение металлизации выявило номенклатуру деталей, которые можно восстанавливать данным способом.

1. Главные шпиндели, в том числе и те, рабочие поверхности которых, вращаясь в опорах скольжения, испытывают большие удельные нагрузки или имеют повышенные скорости вращения около 5—8 м/сек, например шпиндели эксцентриковых прессов и токарных автоматов.

2. Валики прокатных станов.

3. Опоры скольжения.

4. Детали гидроприводов.

5. Валы коробок скоростей, приводов и контрприводов.

6. Суппортные клинья.

7. Направляющие станины у суппортов.

8. Опорные шейки ходовых и суппортных винтов.

Всего способом металлизации может быть восстановлено 20—30% изношенных деталей станков.

Стоимость восстановленных деталей колеблется в пределах 10—50% от стоимости новых деталей.

Кроме того, металлизацией могут быть подготовлены втулки различных типов и гайки винтовых передач.

Как видно из приведенной номенклатуры, при металлизации металл приходится наносить на наружные и внутренние цилиндрические и плоские поверхности: валы, шпиндели, оси цапфы,

цилиндры, втулки подшипника, направляющие станин и т. д. Напыление этих поверхностей имеет свои специфические особенности. Наиболее простым является напыление наружных цилиндрических поверхностей.

Ремонт шпинделей станков

На Саратовском подшипниковом заводе у двух торцевшлифовальных станков для шлифования роликов для роликоподшипников вышли из строя шпиндели вследствие износа мест посадок под шарикоподшипники.

Станки очень точные. Число оборотов шпинделя станка 1350 об/мин, допустимое биение 0,005 мм, масса 60 кг, материал сталь 12ХНЗ.

Простой станков был быстро ликвидирован при помощи электрометаллизации обоих шпинделей в течение 2 ч. Восстановление производилось аппаратом ЛК-6а с улучшенной распылительной головкой в следующем порядке.

Подготовка шеек производилась способом «рваной» парезки: шаг — 1 мм, глубина — 0,5 мм.

Напыление производилось при следующем режиме:

Напряжение тока на электродах дуги в в	30
Сила тока в а	70
Давление сжатого воздуха в н/м ²	59·10 ⁴
Число оборотов металзируемого шпинделя в минуту	50—60
Подача металлизатора в мм/об	1,5—1,7
Диаметр воздушного сопла аппарата в мм	6
Расстояние от сопла аппарата до поверхности шейки шпинделя в мм	75
Материал проволоки	Сталь У8

После металлизации шейки шпинделя были прошлифованы алундовым кругом при следующем режиме:

Окружная скорость шлифовального круга в м/сек	25—30
Окружная скорость шпинделя в м/мин	6—8
Глубина шлифования в мм	0,015
Подача (в долях ширины шлифовального круга)	0,2—0,3

Следует отметить, что стальные металлизированные покрытия в условиях прессовых посадок обладают высокими качествами: выдерживают многократные напесовки (до 10 раз); воспринимает сжимающие усилия и предохраняют основной металл шейки от поверхностных повреждений и быстрого износа; допускают многократное снятие напыленного слоя, замену его новым.

Приведем другой пример. На бесцентровшлифовальном станке вышел из строя шпиндель, передняя и задняя шейки которого были цементированы. Шпиндель восстановили металлизацией.

Диаметр шейки уменьшили на 6 мм проточкой, затем на токарном станке нарезали «рваную» резьбу — шаг 1 мм и глубина 0,5 мм при средней окружной скорости шпинделя 12 м/мин.

Шейки были заматаллизованы аппаратом ЭМ-3 при следующем режиме:

Напряжение на электродах дуги в в	30
Сила тока в а	100—120
Давление сжатого воздуха в н/м ²	49·10 ⁴
Расстояние от сопла аппарата до поверхности шеек в мм	100
Скорость вращения шпинделя в м/мин	14
Продольная подача аппарата в мм/об	1,5—2,0

Металлизация проводилась стальной проволокой с содержанием углерода 0,7%. Толщина слоя 8 мм на диаметр, включая припуски на механическую обработку.

После металлизации шпиндель был обработан на шлифовальном станке при следующем режиме: окружная скорость камня — 30 м/сек, глубина шлифования — 0,02 мм, окружная скорость шпинделя — 10 м/мин.

На металлизацию двух шеек было затрачено 3 ч рабочего времени и 4,5 кг проволоки.

Стоимость ремонта составила 10% от стоимости нового шпинделя.

Восстановление плунжера гидравлического пресса

На Московском заводе сухой штукатурки вышел из строя плунжер гидравлического пресса 3000 т.

Плунжер (рис. 74, а) массой 3 т изготовлен из серого чугуна, наружный диаметр 660 мм, высота 2160 мм. В результате абразивного износа поверхности плунжера при его трении о резиновый манжет в местах, прилегающих к манжете, по образующей плунжера образовались бороздки и риски на длине 200 мм на расстоянии 1,5—3 мм одна от другой. Глубина этих рисок от 0,3 до 2,5 мм.

В короткий срок плунжер был восстановлен способом металлизации на месте без демонтажа оборудования. Технологический процесс заключался в следующем: для выведения рисок и бороздок и для придания плунжеру правильной цилиндрической формы необходимо было снять слой металла толщиной 2,5 мм на сторону. Для того чтобы сделать это на месте, было сконструировано приспособление (рис. 74, б), которое состоит из двух разъемных полуколец 1, изготовленных из полосовой стали 30 × 70 мм и сваренных между собой соединительными планками. К внутренней стороне полуколец приварены скобы, удерживающие центрирующие ролики 3. С двух противоположных сторон полуколец имеются пружины, с которыми смонтирован винт 5 перемещения резцедержателя 2. Для предотвращения произвольного переме-

щения приспособления в вертикальной плоскости в нижней части имеются опорные ролики 4. В верхней части приспособления для этой же цели на плунжер был установлен разъемный хомут 7 с прижимными роликами, которые прижимают приспособление к основанию. При помощи этого приспособления была произведена обточка плунжера 6. Скорость вращения приспособления 12 об/мин, глубина резания до 2,5 мм, подача 0,1—0,5 мм/об плунжера.

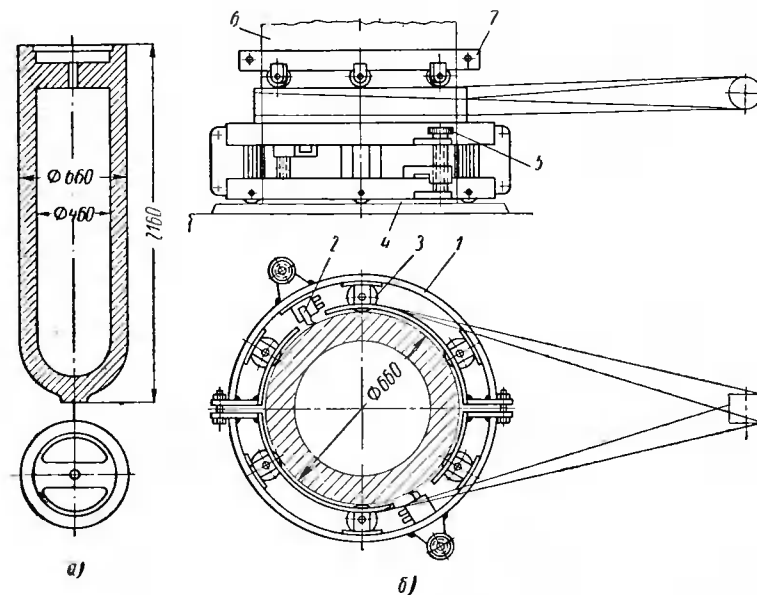


Рис. 74. Приспособление для металлизации плунжера без разборки:
а — плунжер гидропресса; б — приспособление для расточки плунжера

После снятия слоя 2,5 мм на сторону была нарезана резьба глубиной 0,6 мм и шагом 1,5 мм. Так как во время работы плунжер находился в воде, то из пор металла необходимо было удалить влагу в местах, подлежащих металлизации; для этого их подвергли прогреву ацетиленовой горелкой.

После подготовки плунжер был металлизирован цинковой проволокой диаметром 2 мм. Металлизация производилась аппаратом ЭМ-3А на месте, для чего к аппарату по специально проложенному резиновому воздуховоду диаметром 17,5 мм подавался сжатый воздух давлением 49·10⁴—59·10⁴ н/м² в количестве 1 м³/мин. Питание электрическим током аппарата производилось от сварочного трансформатора СТЭ-22, переоборудованного на напряжение 20 в.

Толщина слоя была 4 мм на сторону. Обработка напыленной поверхности производилась торцевой фрезой, посаженной на вал электродвигателя. При вращении плунжера в цилиндре прессы фреза снимала слой цинка (припуск на обработку). Окончательная зачистка и шлифование производилась вручную карборундовой шкуркой на полотне.

Работа была выполнена в течение двух дней. После одного года эксплуатации никаких дефектов на металлизированном плунжере не обнаружено.

Ремонт внутренних поверхностей цилиндров

Напыление металла на внутренние поверхности цилиндров, гильз и т. д. представляет известные трудности, так как напыленный на внутренние стенки металл вследствие усадки иногда отслаивается. Поэтому подготовка к металлизации внутренних поверхностей требует некоторого опыта.

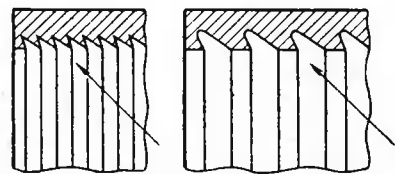


Рис. 75. Схема подготовки внутренних поверхностей к металлизации

При нанесении слоя толщиной не более 0,5 мм поверхность можно готовить с помощью пескочистки крупным кварцевым песком или применить электрическую подготовку. Если толщина покрытия больше 0,5 мм, то в этом случае необходимо применять электроподготовку, а лучше «рваную» резьбу с мелким шагом 0,5 мм и глубиной 0,3—0,4 мм. При нарезке резьбы по краям обязательно необходимо оставлять буртики или протачивать канавки для закрепления напыляемого металла.

Внутренние поверхности готовят следующим образом: деталь протачивается для снятия неровностей, вызванных износом, и обеспечения слоя необходимой толщины. После обработки слой должен быть не менее 0,8—1,0 мм. На обоих концах отверстия делают проточки — ранты по направлению нанесения слоя. Затем готовят внутреннюю поверхность нанесением грубой или речной нарезки (рис. 75). Нарезка препятствует образованию пустот при металлизации и обеспечивает более прочное сцепление. При нанесении первых слоев до заполнения углублений, образованных нарезкой, струю металла из металлизатора направляют по стрелке, указанной на рисунке. После того как эти углубления заполнены, металлизацию ведут обычным способом.

Хорошие результаты иногда дает также металлизация подогретых деталей. В этом случае деталь расширяется при нагреве, а затем при остывании она сжимает нанесенный слой, увеличивая

прочность сцепления. Металлизация внутренних цилиндрических поверхностей представляет большие трудности ввиду специфических особенностей восстанавливаемых деталей.

На рис. 76 представлен один из технологических вариантов ремонта отверстий под подшипники для шпинделей головки специального станка. Никакими другими способами невозможно было восстановить эту дорогостоящую деталь. Эта задача была решена в лаборатории Саратовского института механизации сельского хозяйства (СИМСХ) им. М. И. Калинина.

Все шесть отверстий головки были расточены, а затем подготовлены способом нарезки «рваной» резьбы; так как на токарном станке такую головку оказалось невозможным металлизировать, использовали сверлильный станок. На его шпинделе при помощи специальных приспособлений, показанных на рисунке, был установлен электрометаллизатор типа ЛК-6А со специальной удлиненной головкой. Продольная подача аппарата при нанесении металла на ремонтируемую деталь осуществлялась при помощи перемещения шпинделя сверлильного станка вверх и вниз. Ремонтируемая головка устанавливалась в специально сконструированное приспособление с устройством, обеспечивающим поворот головки вокруг оси каждого отверстия при его металлизации.

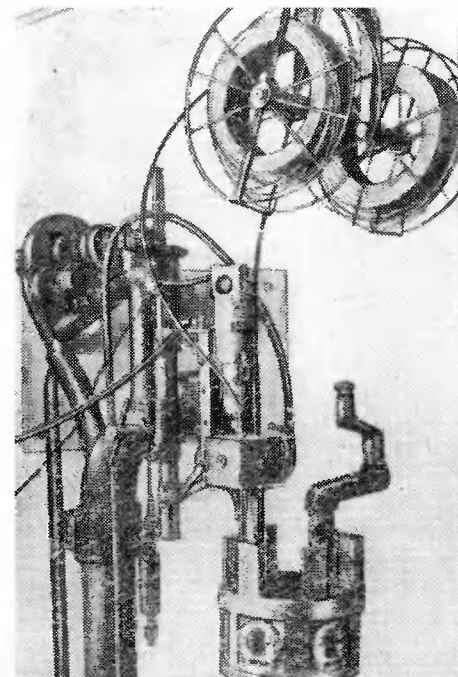


Рис. 76. Установка металлизатора для восстановления внутренних поверхностей головки станка

Напыление производилось проволокой из стали с содержанием углерода 0,3% при расстоянии от покрываемой поверхности до сопла аппарата 40—50 мм; давление сжатого воздуха $59 \cdot 10^4$ н/м², напряжение тока на дуге 25 в. Через каждые 15—20 мин напыления делался перерыв на 5 мин для охлаждения. После металлизации деталь медленно охладили и по истечении двух суток произвели расточку.

Восстановление изношенных или поврежденных плоских поверхностей (станин металлорежущих станков, плоскостей головок блоков и т. д.) способом металлизации затруднено по следующим причинам. При нанесении на поверхность слоя толщиной свыше 0,3 мм покрытие вследствие больших внутренних напряжений стремится оторваться от покрываемого металла и по концам плоских поверхностей при плохой подготовке заворачивается вверх.

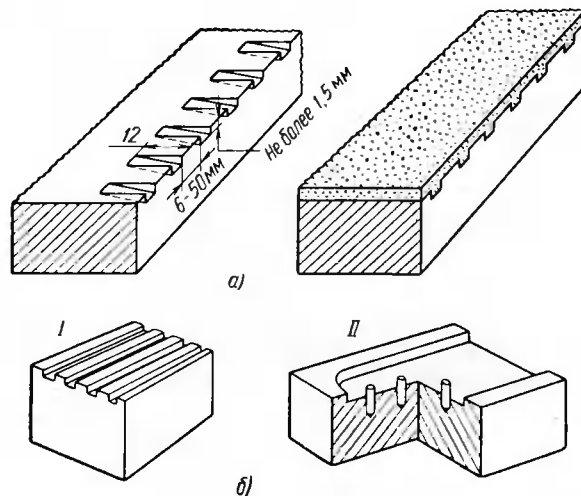


Рис. 77. Подготовка к металлизации:
а — края плоскостей; б — плоских поверхностей

Поэтому подготовку плоских поверхностей к металлизации необходимо проводить особенно тщательно. Подготовка их производят электроискровой обработкой или нарезкой резьбы на строгальных станках. Чтобы избежать скалывания или выкрашивания металлизационного покрытия, на гранях ремонтируемых плоских деталей прострагивают замки (рис. 77, а).

В практике нередко плоские поверхности небольших деталей (если это возможно) готовят на токарных станках нарезанием «рваной» резьбы в форме архимедовой спирали. В особо ответственных случаях на строгальном станке при помощи отрезного резца с закругленным лезвием выполняют параллельные канавки.

Гребешки канавок прокатывают, затем поверхность очищают при помощи пескоструйной обработки. При нарезке канавок общее расположение их должно быть перпендикулярным к направ-

лению усилий, которые будут приложены к детали при ее эксплуатации.

При нанесении покрытия толщиной свыше 0,5 мм на поверхностях нередко делают канавки в форме ласточкина хвоста с шагом 2—3 мм (рис. 77, б, I). Иногда для лучшего закрепления напыленного металла наготавливаемой поверхности устанавливают в шахматном порядке шпильки (рис. 77, б, II), а промежутки между ними засекают зубилом.

Детали с местным износом поверхностей также можно готовить для металлизации с помощью переносных фрезерных или шлифовальных приспособлений. При заделке поверхностей, работающих при небольших нагрузках, напыление их производят цинком, а при заделке поверхностей, работающих на трение (при повышенных нагрузках), напыление производят сталью с содержанием углерода не более 0,10—0,14%.

Металлизацию проводят при скорости подачи проволоки 1,6 м/мин, давлении воздуха $49 \cdot 10^4$ — $59 \cdot 10^4$ н/м², напряжении на электродах 35 в, силе тока 60 а, расстоянии от сопла до обрабатываемой поверхности 60 мм. Иногда при покрытии цинком толщина слоя достигает 8 мм и при покрытии сталью — 4 мм. При металлизации ни в коем случае нельзя давать детали нагреваться. Нужно делать небольшие перерывы при напылении, а покрытие обдувать сжатым воздухом.

Весьма распространен способ нанесения покрытий на плоскости, при котором большие поверхности металлизуют отдельными небольшими участками, площадью приблизительно 50 мм². Сначала напыление производят на одном конце детали, затем, пока остывает участок, уже покрытый металлом, металлизуют другой, а потом снова возвращаются к отметаллизированным участкам после того, как они охладятся. При таком способе покрытия образуется много неровностей, в результате чего увеличивается время на последующую обработку, но качество покрытий улучшается.

Поверхности, покрытые слоем распыленного металла, обрабатываются опиловкой слесарными пилами, обработкой наждачными камнями, и доводка их производится шлифовальными кругами или шабрением.

Рассмотрим типичный пример восстановления плоских деталей металлизацией. В результате износа направляющей станины и подушки задней бабки токарного станка (размеры подушки 350 × 350 × 40 мм, материал — серый чугун) нарушилась соосность передней и задней бабок. Обычно такие дефекты исправлялись поднятием задней бабки и наплавкой слоя латуни на поверхность подушки. Наплавка была заменена металлизацией.

Подготовка поверхности состояла в предварительном обжиге подушки при 350° С. Это было сделано для обезжиривания поверхности. Затем поверхность обрабатывалась на строгальном станке

нанесением рисок с шагом 1 мм и глубиной 0,5 мм. После подготовки поверхность сразу же была заматаллизована стальной малоуглеродистой проволокой (толщина слоя 2 мм) и обработана на фрезерном станке. Перед установкой на станине поверхности бабок пришабривались.

Такой метод восстановления станка потребовал минимальных затрат времени и материалов.

Применение металлизации для изготовления деталей машин

При ремонте машин и станочного оборудования часто необходимо изготавливать различные детали взамен изношенных. В некоторых случаях их можно с успехом изготовить способом электрометаллизации.

В СИМСХ им. М. И. Калинина разработаны способы изготовления стальных втулок и гаек винтовых передач.

Изготовление стальных втулок

Сущность способа изготовления стальных втулок взамен бронзовых заключается в следующем. Из высокоуглеродистой стали изготавливается цилиндрическая оправка 1 (рис. 78), разрезанная

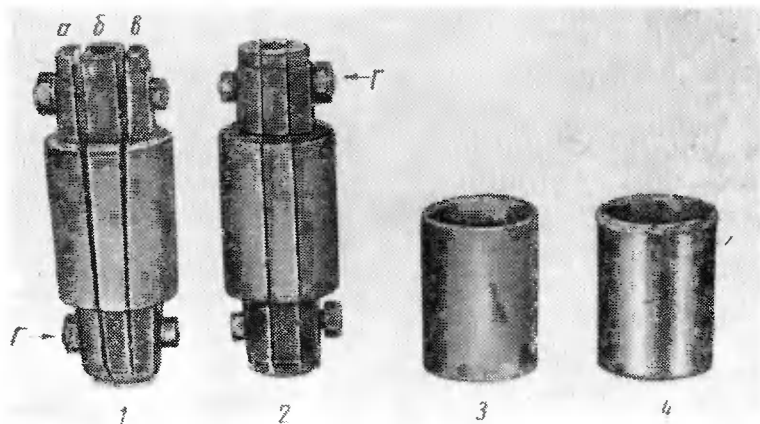


Рис. 78. Изготовление втулок способом напыления:

1 — оправка для изготовления втулок; 2 — оправка после напыления на нее металла; 3 и 4 — пористые стальные втулки, полученные напылением (3 — необработанная, 4 — обработанная)

на три части *а*, *б*, *в*, причем средняя часть оправки *б*, сужаясь, представляет собой клин. Концы разрезной оправки зашлифовывают на квадрат; плоскости разъема трех частей шлифуют и точно

подгоняют одну к другой, а по концам просверливают конусные отверстия, в которые вставляют фиксаторы *г* с нарезкой на конце, предназначенные для навинчивания гайки, чтобы сжать все части оправки.

Изготовленную и собранную указанным способом оправку обрабатывают на станке и шлифуют до размера, соответствующего внутреннему диаметру подлежащей изготовлению втулки (для втулок различных внутренних диаметров изготавливают оправки соответствующих диаметров). Затем оправку устанавливают на токарный станок, на котором производится металлизация. Концы оправки закрывают экранами для защиты от попадания металлической пыли и производят напыление металла до требуемой толщины.

Для металлизации применяют стальную проволоку с содержанием углерода 0,7% и выше. При применении малоуглеродистой стали втулки во время охлаждения дают большую усадку и могут разрушиться на оправке.

Режим металлизации: расстояние от сопла аппарата до поверхности оправки 75—100 мм; напряжение на электродах 30 в; сила тока (при работе на постоянном токе) 30—75 а; давление сжатого воздуха $59 \cdot 10^4$ н/м².

Металлизацию производят до требуемой толщины втулки с припуском 0,3 мм на последующую обработку. Втулку обрабатывают, не снимая с оправки, резцом с пластиной твердого сплава Т15К6 при следующем режиме: скорость резания 16,5 м/мин; подача 0,2 мм/об; глубина резания 0,2 мм. Если поверхность втулки шлифуется, то применяют следующий режим: окружная скорость круга 25—30 м/сек; глубина шлифования 0,015—0,04 мм; подача 5—15 мм/об; окружная скорость детали 10—12 м/мин.

При шлифовании применяется алундовый круг с обильным охлаждением эмульсией. После обработки поверхности втулки с концов фиксаторов отвинчивают гайки, вынимают клин и извлекают составные части оправки. Остается втулка, гладкая внутренняя поверхность которой не требует обработки. Снятую с оправки втулку помещают на 24 ч в машинное масло, подогретое до 75° С.

Такие втулки с успехом заменяют бронзовые, металло-керамические и обладают повышенной износоустойчивостью, так как удерживают в своих порах масла до 10% от общего объема.

При исследовании установлено, что при трении стального вала по стальному металлизированному слою коэффициент трения значительно меньше, чем при трении закаленной стали по оловянистой бронзе.

Способом металлизации можно изготавливать втулки различных диаметров (от 20 до 100 мм).

Детали винтовых передач станков заменяются частично или полностью при всех видах ремонта, так как они в сравнении с другими основными деталями изнашиваются более интенсивно, причем трудоемкость ремонта или изготовления этих передач составляет значительный процент от суммарной трудоемкости ремонта станка.

Инж. Ю. Д. Пашин разработал и внедрил технологию изготовления гаек винтовых передач способом электрометаллизации, сущность которого заключается в следующем: из высокоуглеродистой стали изготавливают оправку 1 (рис. 79) с профилем резьбы

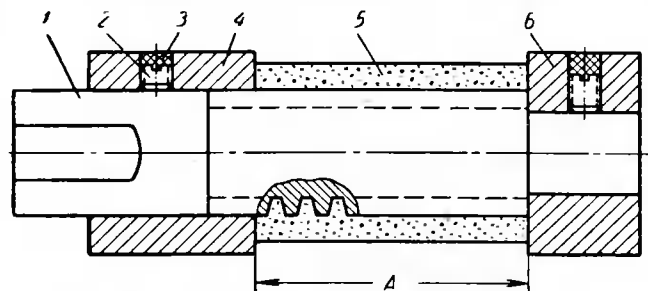


Рис. 79. Изготовление гаек винтовых передач

того винта, для которого при ремонте должна быть изготовлена гайка взамен изношенной, причем резьба по наружному и внутреннему диаметрам должна иметь конусность в пределах допуска (для диаметров 10—50 мм конусность составляет 0,15—0,6 мм). Резьба оправки по наружному и внутреннему диаметрам должна быть полнее резьбы винта, с которым будет сопрягаться гайка, на величину радиального зазора. Оправку закаливают и поверхность резьбы полируют.

Перед металлизацией концы оправки с помощью стальных колец 4 и 6 с хромированной поверхностью защищают от попадания стальной пыли. Затем поверхность резьбы покрывают тонким слоем графитовой смазки и нагревают до 200—250° С.

Для предохранения от смещения кольца закрепляют на оправке фиксатором 2, который перед металлизацией закрывают влажным асбестом 3. Затем оправку устанавливают на токарный станок и нарезанный участок А металлизуют (режим такой же, как и при изготовлении втулок).

Металлизацию ведут до толщины покрытия 5 над наружным диаметром резьбы на 3—6 мм. После металлизации оправку снимают и охлаждают вместе с гайкой в воде, затем освобождают фиксаторы, снимают кольца и извлекают гайку. Срок службы гаек,

изготовленных таким способом, в 1,5—2 раза превышает срок службы гаек, изготовленных из оловянистой бронзы.

Износостойкость винта, работающего в паре с металлизированной гайкой, увеличивается в среднем на 30%.

Стоимость изготовленных способом металлизации втулок и гаек в зависимости от конструкции и размеров на 20—70% ниже стоимости изготовления их существующими способами.

Так, например, стоимость бронзовой гайки винтовой передачи поперечного суппорта токарного станка 1А62 составляет (в коп.):

а) Материал	35
б) Заработная плата	62
Итого	97

Стоимость той же гайки, изготовленной способом электрометаллизации, включая стоимость оправки и сборки, составляет (в коп.):

а) Материал	19
б) Заработная плата	50
Итого	69

Применение металлизации при ремонте деталей двигателей тракторов, автомобилей и сельскохозяйственных машин

При ремонте указанных выше машин особое внимание должно быть уделено самым дорогостоящим деталям — коленчатым валам двигателей тракторов, автомобилей, комбайнов и т. д.

На заводах, а также в лаборатории металлизации СИМСХ им. М. И. Калинина [5] принят следующий технологический процесс восстановления изношенных коленчатых валов способом электрометаллизации.

Процесс начинается с проверки размеров шатунных и коренных шеек, а также состояния центров. Если центры забиты, то их необходимо восстановить. Обычно коленчатые валы выбраковывают по износу шатунных шеек, так как эти шейки изнашиваются быстрее в 2 и даже в 3 раза, чем коренные. Металлизации могут быть подвергнуты коленчатые валы с размерами шеек после последнего ремонтного размера.

После обмера шеек и их обезжиривания коленчатые валы проверяют на магнитном дефектоскопе для выявления усталостных трещин. Если обнаруживаются трещины, коленчатый вал металлизации не подлежит. Далее в центрах токарного станка выверяется радиус кривошипа.

Края масляных отверстий следует раззенковать; это предотвратит образование резкой разграничивающей линии между

подготовленной поверхности шейки и неподготовленным краем отверстия. Такая линия создает трещины в этом месте покрытия. Масляные отверстия необходимо закрыть деревянными или резиновыми пробками, но так, чтобы их можно было вынимать после обработки.

Подготовку поверхности шеек двигателей, а также коленчатых валов комбайнов можно вести пескоструйной обдувкой кварцевым песком или лучше стальной дробью.

За границей при подготовке поверхностей шеек применяют крупнозернистые алюминиевые абразивы или стальные опилки. В практике наших ремонтных заводов принята подготовка поверхности шеек способом парезки «рваной» резьбы при шаге 1 мм и глубине 0,5—0,6 мм.

При обточке или нарезке «рваной» резьбы ни в коем случае нельзя подрезать галтели. Не допускается проточка галтелей или проточка канавок для выхода резца. Во время проточки резец должен быть осторожно введен в работу и выведен таким образом, чтобы резьба выходила на галтели постепенно и сходила на нет.

Скорость резания при нарезке шейки рекомендуется 6—8 м/мин. Резец должен иметь угол резания 90°, передний и задние углы 0°, угол при вершине 50—55°. Если на поверхности шейки образуются большие заусенцы, то их необходимо снять лопаточным резцом. В противном случае при износе металлизационного слоя эти крупные заусенцы могут служить причиной задиоров поверхностей подшипников.

Шейки валов можно готовить также нарезкой круглой резьбы с последующей прикаткой вершин. Шаг нарезки круглой резьбы должен быть 2 мм, ширина резца 1,3 мм, радиус закругления лезвия резца 0,65 мм, глубина нарезки 0,75 мм.

Вершины парезки прикатывают специальной накаткой. В последнее время подготовку шеек коленчатых валов под металлизацию проводят с помощью намотки на них проволоки. Применяют также электроконтактную наплавку (способ ГОСНИТИ) или анодно-механическую обработку.

При металлизации коленчатых валов с предельно изношенными шейками восстанавливать радиус кривошипа предварительной проточкой не представляется возможным, так как дополнительный съем металла приведет к еще большему ослаблению прочности вала. Очищенные и обезжиренные шейки коленчатого вала необходимо подготовить пескоструйкой, обдувкой дробью, намоткой проволоки или способом ГОСНИТИ. После подготовки шейки металлизуют, а радиус кривошипа выверяют уже при обработке нанесенного слоя. Недостатком является то, что напыленный слой получается неравномерным по толщине с различных сторон шеек.

После подготовки шеек тем или иным способом все места, не подлежащие металлизации, защищают от попадания металли-

ческих частиц, накладывая защитные приспособления из жести или картона или применяя быстросъемные экраны в виде хомутов.

При восстановлении валов, особенно в том случае, если необходимо наращивать толстые слои 5—8 мм, следует обратить внимание на подбор проволоки и ее подготовку к металлизации. Надо всегда помнить, что после наращивания покрытие дает значительную усадку; иногда даже по прошествии 20—30 ч усадка напыленного металла все еще продолжается.

Наиболее значительную усадку дают покрытия, нанесенные проволокой из стали с содержанием углерода ниже 0,4%. Усадка покрытий ведет к трещинообразованию на поверхности покрытия и к браку. Во избежание этого при восстановлении коленчатых валов тракторов необходимо применять проволоку из стали У7; для коленчатых валов дизельных тракторов и автомобильных валов — проволоку из стали У8 и У10.

После того как шейки подготовлены, их необходимо немедленно подвергнуть металлизации.

Если по каким-либо причинам шейки невозможно было заметаллизировать сразу после подготовки, их необходимо обернуть чистой бумагой. Перед металлизацией таких шеек после удаления бумаги их следует проконтролировать и обдуть чистым и сухим сжатым воздухом.

Доставленные из холодного помещения и подготовленные для металлизации коленчатые валы можно металлизировать только после того, как они примут температуру окружающего воздуха, но не менее 7° С. Коленчатые валы, подготовленные к металлизации, устанавливают в центра токарного станка, а для металлизации шатунных шеек — в центросмесителе. Электрометаллизатор устанавливают в резцедержателе.

Рекомендуется следующий режим металлизации коленчатых валов, предложенный СИМСХ им. М. И. Калинина:

Расстояние от сопла аппарата до поверхности детали в мм:	
в первые 10 мин	50—60
до полного напыления	75—100
Напряжение на электродах дуги в в	30—35
Сила тока в а	80—100
Давление сжатого воздуха в н/м ²	59·10 ⁴
Диаметр воздушного сопла в мм	4

Для увеличения производительности процесс металлизации осуществляют сразу двумя аппаратами, металлируя одновременно две шейки.

При электрометаллизации шеек коленчатых валов автомобильных двигателей, имеющих небольшую длину шеек, необходимо к аппарату ЭМ-3 или ЭМ-6 изготовлять удлиненное сопло или применять специальный аппарат МЭС-1.

Наращивание шеек при электрометаллизации необходимо вести непрерывно по всей длине шейки до получения требуемого размера с учетом припуска на обработку.

После окончания электрометаллизации шейку вала следует обернуть несколькими слоями шинельного сукна или асбеста для замедления охлаждения. Это резко снижает брак, исключает появление трещин, возникающих при быстром охлаждении покрытий, особенно имеющих значительную толщину.

После металлизации рекомендуется коленчатый вал поместить на 24 ч в ванну с подогретым маслом. Дело в том, что необработанный напыленный слой поглощает значительно большее количество масла и его легче будет потом обрабатывать. После масляной ванны приступают к механической обработке детали.

После металлизации напыленные шейки обрабатываются шлифованием на станках типа ЗН-42. Шлифование напыленного слоя следует проводить при обильном охлаждении эмульсией.

Рекомендуется следующий режим шлифования: скорость вращения круга 25—30 м/сек; скорость вращения коленчатого вала 10—15 м/мин; глубина резания за один продольный ход подачи — 0,015—0,040 мм в зависимости от ширины шлифовального круга; зернистость шлифовального круга 36—46, твердость СМ, материал — алунд. После шлифования шейки полировать не следует.

При шлифовании необходимо точно выдержать радиус кривошипа, соответствующий коленчатому валу двигателя данной марки. Галтели на напыленном покрытии делать не следует, так как при наличии галтелей происходит отслаивание покрытия от торцов щеки коленчатого вала. После шлифования поверхность покрытия должна быть мелкозернистой, без включений и больших раковин, чернот и других дефектов. При монтаже коленчатых валов двигателей необходимо особенно тщательно проводить их укладку.

Стендовую обкатку отремонтированного двигателя, валы которого восстановлены способом металлизации, в первые 2—3 ч надо вести без нагрузки.

В процессе эксплуатации необходимо строго следить за величиной зазора между шейками вала и вкладышами. Зазор должен быть ровным и постоянным; увеличение зазора ведет к усиленному износу шеек вала. Необходимо также следить за чистотой смазочного масла и его равномерной подачей; в противном случае также происходит преждевременный износ шеек коленчатых валов.

При соблюдении указанных выше условий коленчатые валы, восстановленные способом электрометаллизации, работают так же, как и стандартные, и даже несколько лучше.

Восстановление коленчатых валов дизелей тракторов ДТ-54 и С-80

Износ шеек коленчатых валов дизелей принципиально не отличается от износа шеек коленчатых валов карбюраторных двигателей; ремонт же их имеет некоторые особенности, заключающиеся в необходимости обязательного восстановления радиуса кривошипа и ремонтных размеров шеек. По данным Н. П. Погорелова изменение радиуса кривошипа у коленчатых валов дизелей для тракторов при всех прочих равных условиях с коленчатыми валами карбюраторных двигателей увеличивает примерно в 20 раз степень сжатия в дизеле по сравнению со степенью сжатия в карбюраторных двигателях. Невосстановление радиуса кривошипа обязательно приведет к аварии.

Коленчатые валы дизелей ДТ-54 работают в подшипниках, имеющих сменные вкладыши ремонтных размеров из свинцовой бронзы. Поэтому шейки таких валов восстанавливают под ремонтные размеры, соответствующие размерам вкладышей.

Технологический процесс восстановления коленчатых валов тракторных дизелей происходит по следующей схеме: коленчатый вал промывается, просушивается и проходит проверку на магнитном дефектоскопе для выявления усталостных трещин. Коленчатые валы, имеющие усталостные трещины, не подлежат восстановлению.

Коленчатые валы дизелей работают в более тяжелых условиях по сравнению с карбюраторными, и подготовка шеек таких валов способом нарезки «рваной» резьбы исключается (во избежание ослабления коленчатого вала). Подготовку шеек под металлизацию можно осуществлять намоткой проволоки или электроконтактной наплавкой по способу ГОСНИТИ.

При подготовке шеек по первому способу может применяться любая проволока диаметром 0,5—0,7 мм, но обязательно очищенная от окислов и ржавчины. Очистку производят наждачной бумагой или пропускают проволоку через калинсоёмник.

Подготовка шеек коленчатых валов к металлизации способом электроконтактной наплавки осуществляется методом, указанным выше.

Электрод необходимо брать из стали той же марки, которая применяется при металлизации, а именно У8. При подготовке шеек по этому способу на поверхности образуется большое количество окислов; поэтому после подготовки шейки обязательно обдувают кварцевым песком и приступают к металлизации, которая производится так же, как и коленчатых валов карбюраторных двигателей.

Восстановление коленчатых валов дизелей КДМ-46 производится по такой же схеме; однако, так как эти валы имеют маслоотбойную нарезку, которая также подвергается износу, то при

восстановлении ее очищают резцом от влаги и масла, а затем металлизируют по указанному выше режиму и по напыленному слою производят новую нарезку с соблюдением профиля и шага.

Нарезку производят наждачным кругом диаметром 300 мм, установленным в суппортно-шлифовальном приспособлении к любому станку. При помощи этого приспособления и производят нарезку маслоотбойной резьбы глубиной 2 мм, шагом 4 нитки на 1 дюйм.

Восстановление коленчатых валов автомобильных двигателей анодно-механической обработкой

В последнее время рекомендуется [8] восстанавливать коленчатые валы автомобильных двигателей, применяя при подготовке их под металлзацию и обработку напыленных покрытий анодно-механический способ. Ниже дается технологический процесс восстановления коленчатого вала двигателя автомобиля ГАЗ-51.

Коленчатые валы двигателей ГАЗ-51 изготавливаются из стали 45; шатунные и коренные шейки их закаляются токами высокой частоты на глубину 2—2,5 мм до твердости HRC 57—62.

Коленчатые валы, поступившие на восстановление, подвергаются тщательному осмотру, очистке и проверке на магнитном дефектоскопе для выявления усталостных трещин. Затем коленчатый вал обрабатывается на токарно-винторезном станке, оборудованном для анодно-механической обработки, с высотой центров не ниже 250 мм и расстоянием между центрами около 100 мм.

Обдирка коренных шеек коленчатого вала ведется в центрах, а обработка шатунных шеек — в жестких центросместителях.

Подготовка поверхности шеек, металлзация и последующая обработка металлизированных коренных и шатунных шеек производятся без снятия жестких центросместителей. Благодаря этому обеспечивается единая центровка вала и полностью исключается неодинаковая толщина металлизированного слоя после окончательной обработки шеек. Применение центросместителей экономит время на выверке валов при центрировании шатунных шеек.

После того как проделаны все операции, вал проходит анодно-механическую подготовку.

Размер шейки после подготовки должен быть таким, чтобы толщина слоя после окончательной обработки была в пределах 1—1,25 мм для коренных шеек и 1,25—1,75 мм — для шатунных.

Большая толщина слоя на шатунных шейках обуславливается более тяжелыми условиями их работы по сравнению с коренными шейками.

Для коленчатого вала ГАЗ-51 размеры коренных шеек после подготовки должны быть 61,5—62 мм, шатунных 48,5—49 мм. При подготовке на первой коренной шейке оставляют необрабо-

танный поясok шириной 1,5—2 мм, предохраняющий напыленную втулку от осевого смещения при последующей обработке.

Чтобы избежать ослабления вала в опасных сечениях, при подготовке шеек не следует подводить рабочий круг к галтелям ближе чем на 1,5—2 мм.

После анодно-механической подготовки шейки подвергаются пескоструйной обдувке для удаления следов силикатной пленки. Все коренные шейки обдувают песком за один прием и металлизируют за одну установку. Шатунные шейки обдувают песком и металлизируют попарно, так как напыление их требует более продолжительного времени.

Металлизация шеек осуществляется при следующем режиме:

Сила тока в а	70—80
Напряжение на электродах в в	35—40
Расстояние от сопла аппарата до шейки вала в мм	75—100
Давление сжатого воздуха в н/м ²	59 · 10 ⁴ —69 · 10 ⁴
Число оборотов вала в минуту	18—20
Диаметр проволоки в мм	1,3—1,5
Марка проволоки	65Г, У8—У10

Напыление производится с припуском до 2 мм на диаметр.

Окончательная анодно-механическая обработка ведется до нормальных размеров шеек, причем сначала обрабатываются коренные шейки в центрах, а затем шатунные — в центросместителях. Обработка производится без перестановки вала простым переключением тока на режимы обдирки, шлифования и доводки. Характеристика операций дана в табл. 31.

Таблица 31

Режимы операций анодно-механической обработки коленчатых валов двигателей ГАЗ-51

Параметры	Операция		
	Обдирка	Шлифование	Доводка
Напряжение в в	24—26	15—18	6—10
Сила тока в а	150—200	50—70	10—20
Скорость вращения круга в м/сек	18—20	18—20	18—20
Число оборотов в минуту:			
коренной шейки	70	70	70
шатунной шейки	50	50	50
Плотность электролита	1,30	1,30	1,30
Интенсивность подачи электролита в л/мин	12—14	7—9	6—4
Припуск в мм	0,75—0,80	0,15—0,20	0,04—0,05
Машинное время в мин:			
коренной шейки	15	10	5
шатунной шейки	15	10	5

Обработка ведется с допусками на размер 0,02 мм, на овал и конус 0,1—0,02 мм. Для образования галтелей радиусом 2,5 мм кромки чугунного круга перед началом работы заправляют с помощью абразивного бруска на холостом ходу круга. Затем с помощью электродрели и сверла засверливаются масляные отверстия, счищаются остатки напыленного металла с нерабочих частей вала и вал помещается в ванну с маслом для пропитки.

При эксплуатационных испытаниях коленчатых валов автомобилей ГАЗ-51, восстановленных таким способом, при пробеге от 30 тыс. до 60 тыс. км было установлено, что металлизированные коленчатые валы по износостойкости не уступают новым.

Восстановление поршней

Способом металлизации можно восстанавливать как чугунные, так и алюминиевые поршни. Восстановлению подвергаются изношенные поршни, не имеющие трещин, вмятин и отколов, а также сильно изношенных кольцевых канавок.

При ремонте восстанавливается только юбка поршня. Поверхность поясков между кольцевыми канавками восстанавливать нецелесообразно ввиду хрупкости напыленного слоя.

Перед подготовкой поверхностей поршней (особенно чугунных) необходимо удалить масло и влагу, так как, оставаясь в порах металла, они значительно понижают прочность сцепления напыленного слоя с основным металлом. Удаляют масло и влагу из поршней, нагревая их в печах или горелками до температуры 300—350° С.

После тщательного удаления масла и влаги поршень охлаждают и устанавливают на токарном станке (можно монтировать на специальной оправке по два поршня юбками друг к другу). С поверхности поршня резцом срезается тонкий слой металла для лучшего закрепления напыленного слоя. Затем протачивают две кольцевые канавки — первую на расстоянии 2 мм от конца юбки поршня, а вторую — на расстоянии 2 мм от первой. После проточки канавок на поверхности поршня нарезают без охлаждения «рваную» резьбу. Нарезка производится за один проход на глубину 0,3—0,4 мм с шагом 0,5 мм.

Для того чтобы распыляемый металл не попадал в кольцевые канавки, их закрывают специальным экраном из картона или жести. Отверстия под поршневые пальцы закрываются деревянными пробками, края которых должны выступать над поверхностью поршня на толщину слоя плюс 1 мм.

При восстановлении чугунных поршней рекомендуется применять проволоку из малоуглеродистой стали с содержанием углерода 0,10—0,15%. Такая сталь дает сравнительно износостойкие покрытия и легко поддается механической обработке. Проволоку из стали с большим процентом содержания углерода

применять не рекомендуется, так как поверхность поршня в этом случае будет обладать повышенной твердостью и износостойкостью, что приведет к быстрому износу цилиндра. Металлизацию осуществляют при следующем режиме:

Расстояние от сопла до поверхности поршня в мм . . .	50—75
Давление сжатого воздуха н/м ²	59 · 10 ⁴
Напряжение на электродах дуги в в	30
Величина тока в а	60

По окончании металлизации поршень необходимо обернуть чистой тканью или асбестом и охладить, а затем пропитать маслом и обработать на шлифовальном станке.

Технологический процесс восстановления алюминиевых поршней осуществляется по такой же схеме, как и чугунных. Подготавливать их поверхности можно пескоструйной обработкой с применением крупного кварцевого песка и обязательной проточкой замыкающих канавок по концам юбки поршня.

При подготовке можно также применять способ нарезки «рваной» резьбы. Алюминиевые поршни рекомендуется металлизировать цинковой проволокой.

После металлизации поршни, восстановленные цинком, обрабатывают резцом с малой подачей (0,03—0,05 мм/об), а затем шлифуют. После шлифования поверхность поршня должна быть гладкой, без забоин и царапин; допускаются в одном-двух местах на поверхности темные пятна и поры. В остальном поршень должен удовлетворять обычным техническим условиям.

Применение металлизации для восстановления деталей, имеющих трещины

Металлизация цинком с успехом применяется при ремонте деталей, имеющих трещины, которые получаются при замерзании воды в двигателях, при авариях и по другим причинам.

Детали с трещинами готовят пескоструйной очисткой поверхности около трещины на расстоянии около 40 мм в каждую сторону.

В более ответственных случаях можно произвести подрубку краев трещины в форме ласточкина хвоста с последующей обдувкой кварцевым песком. Хорошие результаты дает расшлифовка на трещине при помощи переносного приспособления прямоугольного канала шириной около 6 мм вдоль всей трещины. Стороны канала, если это возможно, слегка подрезают внутрь в виде ласточкина хвоста.

Трещины значительной длины готовят под металлизацию способом «сшивания» (рис. 80). Вдоль всей их длины на определенном расстоянии высверливают отверстия диаметром 5—6 мм, нарезают в них резьбу и ввинчивают предварительно

парезанную проволоку. Концы проволоки срубают и сошлифовывают, а затем всю трещину подвергают пескоструйной обработке; ширина зачищенной плоскости металла песком должна быть не менее 50 мм на каждую сторону от трещины. В разошедшихся трещинах, а также трещинах длиной более 100 мм рекомендуется сначала сделать с помощью электросварки в нескольких местах прихватки на расстоянии около 150 мм друг от друга.

При сварке применяется медный электрод диаметром 4 мм с однослойной оберткой белой жстью, покрытой меловой обмазкой. Сварка производится при напряжении тока в электродах

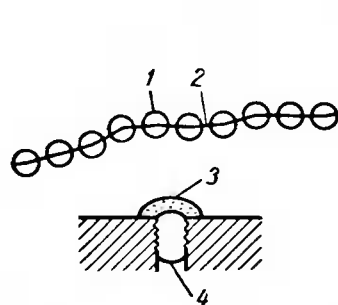


Рис. 80. Схема заделки трещин методом сшивания:

1 — отверстие; 2 — трещина; 3 — слой металла; 4 — нарезанная проволока

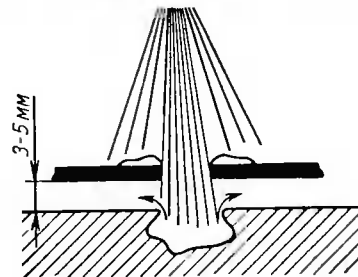


Рис. 81. Заделка раковин с помощью трафарета

28—30 в, силе тока 170—180 а (при постоянном токе). После сварки прилегающие к трещине поверхности зачищаются пескоструйной обработкой. Ширина обработанной полосы металла с каждой стороны трещины должна быть не менее 50 мм.

Нередко приходится восстанавливать детали, имеющие сквозные проломы или пробойны. В этом случае выломанную часть стенки ставят на место, а на границах ее соединения с деталью засверливают отверстия, в которых нарезают резьбу и ввертывают заподлицо с поверхностью шурупы с коническими головками. Затем поверхность обрабатывают пескоструйным аппаратом и металлизуют цинком.

Если деталь работает под большим давлением, то отломанную часть стенки приваривают электросваркой по всему периметру, а затем обрабатывают песком и металлизуют цинком.

Так же как и при устранении дефектов литья, применяют цинк и проволоку из малоуглеродистой стали. При металлизации цинком рекомендуется наносить его слоем толщиной, равной ширине трещины. Для экономии цинка применяют двухслойные покрытия. На подготовленную поверхность накладывают слой цинка толщиной 0,1 мм, а на него наносят слой стальной проволоки

с содержанием углерода 0,1%. После того как трещина покрыта цинком, ее необходимо смочить 2—3 раза водой.

Литые детали машин часто выбраковываются из-за наличия раковин и пористости. Металлизация напылением позволяет быстро и надежно ликвидировать эти дефекты.

Наружные раковины предварительно готовят подрубкой краев с «поднутрением» и пескоструйной очисткой. Металлизация производится различными металлами в зависимости от материала детали через трафарет, отверстие в котором имеет форму раковины. Трафарет делается из листовой стали и устанавливается над раковинной на некотором расстоянии для того, чтобы напыляемый металл не мог закрепить его на детали (рис. 81). После металлизации излишний металл удаляется путем опиловки или любым другим способом, кроме обрубки.

Пористость в литых деталях устраняется путем пескоструйной зачистки дефектных мест и металлизации их слоем цинка толщиной около 0,1 мм. После металлизации целесообразно смочить оцинкованное место водой.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТАЛЛИЗАЦИИ ДЛЯ ЗАЩИТЫ МЕТАЛЛОВ ОТ КОРРОЗИИ

Для защиты металлов от коррозии разработаны и получили широкое распространение многочисленные виды лакокрасочных, полимерных, гальванических, горячих и термодиффузионных металлопокрытий, эмалирование, гуммирование, защитные смазки и составы, ингибиторы коррозии и др.

В ряде случаев для защиты от коррозии изделий и конструкций из углеродистых сталей, чугуна и других металлов успешно может быть использован метод металлизации распылением. Этот метод применим для защиты металлоизделий и конструкций, эксплуатируемых как в условиях атмосферных воздействий, в газовых средах при высоких температурах, в пресной и морской воде, в различных органических жидкостях — бензине, керосине, спирте, так и в разнообразных растворах солей, кислот и других химических средах.

Области применения антикоррозионных металлизационных покрытий определяются характерными особенностями металлизационного распыления:

1) в отличие от гальванического и горячего методов металлопокрытий, применимых для металлизационных изделий небольших размеров, портативные ручные металлизационные аппараты позволяют наносить любые металлы, в том числе и алюминий, на вновь изготавливаемые и восстанавливаемые изделия крупных размеров и любых конфигураций, на сварные конструкции, на узлы в собранном виде непосредственно на строительных площадках, на месте установки, эксплуатации и ремонта металлических конструкций, сооружений и оборудования;

2) нет необходимости в предварительном или последующем нагреве металлизированных изделий;

3) данным способом можно наносить как анодные (цинковые и алюминиевые) покрытия, обеспечивающие более надежную и длительную по сравнению с лакокрасочными покрытиями электрохимическую защиту поверхности углеродистых сталей и чугуна, так и покрытия из катодных металлов — свинца, меди, нержавеющей стали, защищающие от коррозии металл основания лишь при непроницаемости их для агрессивных сред. Эта непроницаемость может быть достигнута как с помощью различных видов дополнительной обработки, так и нанесением слоев надлежащей толщины. Так, например, металлизационные покрытия из нержавеющей стали при толщине их 0,6 мм и выше становятся уже водонепроницаемыми.

Следует учесть, что пористость и шероховатость металлизационного слоя делают его прекрасным грунтом для дополнительно нанесенных лакокрасочных и других покрытий. Положительным качеством является также пористость металлизационных слоев при одновременном использовании их как антикоррозионных, так и антифрикционных покрытий.

В связи с этим в ряде случаев для защиты от коррозии металлоконструкций и изделий в конкретных условиях их работы металлизация распылением является наиболее надежным и экономичным способом.

Однако, несмотря на коррозионную стойкость и долговечность металлизационных противокоррозионных покрытий, они не нашли еще достаточно широкого применения.

Защитные свойства антикоррозионных покрытий из напыленных металлов

Как известно, способность металлов сопротивляться коррозии в значительной степени зависит от их положения в электрохимическом ряду напряжений. Так, например, при контакте железа с цинком в морской воде цинк (анод) разрушается и тем самым предохраняет от коррозии железо (катод).

Если же в паре с железом находится металл с более высоким, чем железо, потенциалом, например никель ($-0,23$), то железо ($-0,44$) подвергается интенсивному разрушению. При этом чем большая разность потенциалов между двумя металлами, тем энергичнее происходит разрушение.

Следует отметить, что скорость коррозии зависит не только от начальной разности потенциалов, но главным образом от той, которая длительно устанавливается в результате поляризации электродов и изменения их потенциалов.

На практике происходят значительные изменения величин электродных потенциалов, и бывают случаи, когда электродный потенциал меняет свой знак.

Проведенными в ЦНИИТМАШе исследованиями установлены электрохимические свойства и защитная способность различных металлизационных покрытий (табл. 32).

Таблица 32

Изменение электродных потенциалов напыленных металлов по отношению к исходному

Распыливаемый металл	Электродный потенциал металлизационных покрытий по отношению к потенциалу исходного металла	Тип покрытия по отношению к железу
Цинк	Мало изменяется	Анодное — электродный потенциал отрицательнее потенциала железа
Алюминий	Становится значительно более отрицательным	Анодное
Свинец	Мало изменяется	Катодное — электродный потенциал положительнее потенциала железа
Бронза	То же	Катодное
Нержавеющая сталь	Значительно снижается (на 0,4—0,5 в); переходит в область отрицательных значений	То же

Большое влияние на скорость коррозии металлов оказывает также изменение концентрации ионов водорода в растворе — величина pH. С понижением pH на катодных участках вместо ионизации кислорода вследствие уменьшения потенциала разряда ионов водорода может начаться выделение газообразного водорода, изменяются свойства образующихся продуктов коррозии и т. д.

При металлизации напылением для защиты от коррозии стальных конструкций наносятся преимущественно анодные покрытия. При использовании катодных покрытий обязательно должен быть полностью устранен доступ электролита к основному металлу. В противном случае коррозия основания в электролите может оказаться более интенсивной, чем если бы оно совсем не было покрыто слоем катодного металла.

Для получения непроницаемых для электролита катодных покрытий приходится при применении металлизации распылением наносить их практически толщиной 0,5—1,0 мм и выше, хотя непроницаемость покрытий для воды под давлением в 10^4 н/см² может быть достигнута для свинца уже при толщине 0,2 мм, а для нержавеющей стали — при толщине больше 0,6 мм. Но

в некоторых случаях нанесение толстых покрытий оказывается нецелесообразным, так как приводит к ослаблению прочности сцепления покрытия с основанием или ввиду явной экономической невыгодности.

В производственных условиях для повышения плотности катодных покрытий рекомендуется применять дополнительную обработку их крацевкой, пропиткой лаками, химическим уплотнением растворами различных солей.

Для защиты стальных конструкций и изделий наибольшее распространение получили в промышленности анодные покрытия — цинк и алюминий, а из катодных — свинец и нержавеющая сталь.

Цинковые покрытия коррозионноустойчивы в условиях воздействия атмосферы, морской и речной воды.

В незагрязненном воздухе слой цинка толщиной 0,1 мм может защитить сталь от коррозии в течение 30—40 лет. В морской атмосфере для этой цели требуются покрытия толщиной 0,2 мм и более.

В воде, особенно слабощелочной, при нормальной температуре цинк хорошо защищает сталь от коррозии, так как с течением времени защитные свойства цинкового покрытия повышаются. Цинк, как алюминий и кадмий, является по отношению к железу анодным покрытием, создающим катодную защиту. Но разрушение этого покрытия в электролите происходит недолго, так как цинк покрывается плотным слоем окиси карбоната или гидроокиси цинка. Продукты коррозии быстро заполняют поры покрытия, тем самым полностью прекращая доступ кислорода к основному металлу, а следовательно, и электрохимическое корродирование. Таким образом, пористость цинковых, а также алюминиевых и кадмиевых покрытий мало влияет на эффективность защиты стали.

С повышением температуры воды устойчивость цинка резко падает и при 55—65° С достигает минимального значения. При дальнейшем повышении температуры стойкость цинка начинает повышаться и при 100° С оказывается мало отличной от его стойкости при нормальной температуре. Это явление связано с изменением свойств продуктов коррозии цинка: при низких и высоких температурах цинк покрывается плотными, прочно пристающими к нему продуктами коррозии. В интервале же температур 55—65° С слой окислов становится рыхлым и легко отстает от поверхности цинка.

Неудовлетворительна коррозионная стойкость цинка в промышленной атмосфере, загрязненной окислами серы, хлора и парами соляной кислоты, образующими с цинком гигроскопические соединения. В этих условиях поверхность цинка корродирует с заметной скоростью. Быстро растворяется цинк также под действием воды торфяных болот.

Цинковые покрытия эффективны в средах с $pH = 6 \div 11$. В щелочных же растворах с pH выше 12 и кислотах цинк неустойчив.

Соединения цинка имеют токсическое действие, поэтому в пищевой промышленности цинк применяется лишь в условиях, в которых он практически не корродирует.

Для антикоррозионных защитных цинковых покрытий используются проволока из цинка марки Ц1, Ц2 (99,9% цинка) диаметром 1,5 и 2 мм и цинковая пыль.

Алюминиевые металлизационные покрытия коррозионностойки как в обычных атмосферных условиях, так и в атмосфере, содержащей сернистые газы; в атмосфере паров и газов при высоких температурах, в горячей и мягкой воде, в аммиачных растворах и многих кислотах, особенно окислительных. Защита стальных конструкций алюминием в окислительных средах обусловлена главным образом закупоркой пор покрытия пленкой из окиси алюминия.

В щелочных растворах и растворах, содержащих хлористые соединения, окисная пленка на алюминии растворяется, и он быстро корродирует. Значительно снижается коррозионная стойкость алюминиевых покрытий в сильно загрязненной воздушной среде промышленного города и в условиях жаркого морского климата.

По зарубежным данным в этих условиях высокую коррозионную стойкость обеспечивают металлизационные покрытия псевдосплавом алюминий — цинк, образующимся на защищаемой поверхности при одновременном напылении на нее цинка и алюминия в соотношении примерно 1 : 1 (по массе). Положительный защитный эффект от данного покрытия объясняют быстрым заполнением пор в нанесенном покрытии плотным слоем продуктов коррозии цинка и алюминия. Объем продуктов коррозии значительно превосходит объем металлов, из которых они образовались.

Контакт алюминия с цинком безопасен, так как электродный потенциал цинка отрицательнее потенциала алюминия и, следовательно, цинк, растворяясь, электрохимически защищает алюминий.

Хорошо ведут себя в обычных атмосферных условиях и алюминиевые металлизационные покрытия с подслоем цинка. Но в кислых растворах и при воздействии сернистых соединений эти комбинированные покрытия нестойки в первую очередь из-за коррозии цинка. Многое зависит в этом случае от степени пористости верхнего металлизационного слоя.

В качестве материала для защитных антикоррозионных алюминиевых покрытий применяется алюминиевая проволока (табл. 33).

Кадмиевые покрытия в воде и на воздухе являются анодными по отношению к железу вследствие большей склонности последнего

Алюминиевая проволока, применяемая для напыления

Наименование	Диаметр в мм	ГОСТ	Материал проволоки	
			Марка	ГОСТ
Неотожженная марки АТ	1,5; 2	6132—63	А1 (99,5% А1) А2 (99,0% А1)	4004—64
Сварочная	1,5 2; 2,5; 3,0	7871—63	АД1 (99,3% А1)	4784—65

к пассивированию, хотя нормальный электродный потенциал кадмия и положительнее потенциала железа.

В морской воде и в щелочных растворах кадмий заметно устойчивее цинка в связи с образованием на кадмий, в отличие от цинка, нерастворимой защитной пленки продуктов коррозии. В городской же и промышленной атмосфере кадмий по коррозионной устойчивости уступает цинку.

В связи с высокой стоимостью кадмия и токсичностью выделяемых при его распылении ядовитых газов кадмий редко применяется в практике металлизационных защитных покрытий.

Свинцовые покрытия издавна, наряду с цинковыми, применяются для защиты от коррозии металлоизделий, подвергающихся воздействию атмосферы, воды и целого ряда агрессивных растворов.

Свинец устойчив в сильно загрязненном воздухе промышленных городов, в жесткой воде, в 85%-ной серной кислоте при комнатной температуре, в сернистой и фосфорной кислотах. Разрушающе действуют на свинец дистиллированная, болотная вода и мягкие воды. Быстро растворяется свинец в азотной кислоте и в серной кислоте свыше 85% концентрации. Свинцовые покрытия в известной степени подвержены коррозии с образованием сернистого свинца при воздействии сернистой нефти. По данным ЦНИИТМАШа весьма устойчивыми оказались свинцовые покрытия при испытании в газовой влажной камере с 0,1% сернистого газа, а также при испытаниях в течение 2,5 лет в агрессивной атмосфере дымовых газов в паровозном депо.

Свинцовые металлизационные покрытия толщиной до 1,5—2 мм могут применяться в химических производствах для покрытия аккумуляторных ящиков, сернокислотных чанов, стали, подвергаемой действию сероводорода, резервуаров для кислотной очистки нефтепродуктов, внутренних поверхностей различных коробов, фильтр-прессов красильных производств, различных воздуходувок и др.

Для нанесения покрытий используется проволока из свинца марки СЗ по ГОСТу 3778—56.

Практически свинец в антикоррозионных покрытиях в большинстве случаев заменяется различными футеровочными материалами, покрытиями из синтетических смол, резины и т. д.

Покрытия из нержавеющей стали марки Х18Н9 используют как катодные покрытия, надежно защищающие основной металл лишь при относительно большой толщине слоя (не менее 1—1,5 см). Такие покрытия в практике металлизации наносят как при изготовлении машин, так и при их ремонте на шейки валов водяных турбин, насосов, гребных валов и др., работающих с водяной смазкой. На Эвминской ГЭС (Северо-Осетинская АССР) в 1956 г. на шейке вала гидротурбины длиной 980 мм, диаметром 410 мм, металлизированной нержавеющей сталью, образовались трещины. Вал был восстановлен ВНИИАВТОГЕНОм за 86 ч нанесением на него нового металлизационного покрытия.

При небольших толщинах слой покрытия из нержавеющей стали в большинстве из испытывавшихся агрессивных сред по данным ЦНИИТМАШа оказывается нестойким в связи с пористостью пленки, а также изменением состава стали в процессе металлизации.

Пористость и способы уплотнения покрытий

Пористость металлизационных пленок в ряде случаев препятствует использованию их в качестве антикоррозионных покрытий.

Устранение или уменьшение пористости может быть достигнуто как механическим уплотнением металлизационных покрытий, так и химическим уплотнением, пропиткой лаками, красками, различными полимерами, повышением толщины, а также оплавлением нанесенного слоя.

Механические способы уплотнения значительно повышают плотность напыленного металла. К ним относятся шлифование, полирование, крацовка. Ввиду значительной трудоемкости шлифования и полирования применение их для целей уплотнения металлизационных покрытий ограничивается в отдельных случаях лишь деталями небольших размеров. Более широкое распространение имеет обработка металлизированных поверхностей крацовкой с помощью мягких металлических щеток. Наиболее целесообразно применять крацовку для уплотнения свинцовых покрытий. При толщине слоя свинца 0,8—1,0 мм рекомендуется, помимо паружной обработки, подвергать покрытие также промежуточной крацовке после нанесения слоя толщиной 0,5 мм.

Хорошие результаты получаются при обкатке покрытий роликами и при дробеструйной обработке.

Химические способы уплотнения заключаются в смачивании металлизационного покрытия после его нанесения растворами

веществ, указанных в табл. 34, с последующим просушиванием покрытия на воздухе. В результате взаимодействия соответствующих реагентов с напыленным металлом образуются нерастворимые окислы, заполняющие поры.

Таблица 34

Химические способы уплотнения

Металл покрытия	Реагенты	Получаемое соединение
Цинк	3%-ный раствор хлористого натрия; вода	Окись цинка
Алюминий	Едкий калий, угольный ангидрид, уксусная кислота, кремнекислый натрий, раствор углекислого натрия с бурой	Гидроокись алюминия, переходящая в окись
Свинец	Серная кислота	Пленка основного сернокислого свинца
Медь	10%-ный раствор двухромовокислого никеля	Пассивирующая пленка окиси меди

При орошении цинковых покрытий 3%-ным водным раствором поваренной соли во избежание появления белых прожилок, характерных для хлорокиси цинка, излишек раствора необходимо удалять струей воды.

При пропитке алюминиевых покрытий водным раствором безводного углекислого натрия с бурой на 1 л теплой воды берется 56 г углекислого натрия и 20 г буры. Пропитка ведется сразу же после металлизации.

Уплотнение пропиткой лаками, красками, различными полимерными составами — наиболее простой и доступный способ устранения пористости и повышения срока службы металлизационных покрытий. Поверхность последних в силу своей шероховатости и пористости является прекрасным грунтом для лакокрасочных покрытий.

Зарубежной практикой установлено, что конструкции, рассчитанные на срок службы более 20 лет, целесообразно непосредственно после металлизации для предохранения от коррозии окрашивать по чистой и сухой поверхности. Коррозия алюминия и цинка под слоем краски протекает значительно медленнее, а длительность службы краски на покрытиях в среднем удваивается (по американским данным даже утраивается), так как цинковое покрытие вместе с окраской препятствует образованию ржавчины, которая, набухая, могла бы оторвать защитный слой краски.

Металлизированные поверхности, работающие в морской воде, для предупреждения обрастания мхами, моллюсками, ракушками рекомендуется окрашивать антисептическими красками на нейтральной основе (глицерофталлиевыми, виниловыми или на основе хроматов цинка и пластмасс). Краски на битумной основе для данной цели непригодны, так как они облегчают закрепление моллюсков.

Срок службы металлизационных покрытий по литературным данным повышается в среднем в 2—3 раза при уплотнении напыленного слоя термопластами винильного ряда или хлоркаучуками. Имеется указание, что стойкость металлического корпуса судна, металлизированного цинком с толщиной слоя 0,2—0,25 мм с последующим двухслойным окрашиванием, повысилась даже в 5 раз, а после двух лет эксплуатации в тропических водах корпус судна не оброс моллюсками.

Стальные гидротехнические сооружения, защищенные цинком с двухслойной покраской, после 6—7 лет эксплуатации в проточной речной воде показали высокую коррозионную стойкость.

Хорошую защиту для железа в кислых растворах при повышенной температуре (при воздействии елового экстракта и закрепительного раствора, представляющего сложную композицию с кислотной реакцией) дали покрытия из алюминия и бакелитового лака. Для слабокислых и слабощелочных растворов при повышенной температуре оказались стойкими покрытия из алюминия и лака этиноль. В атмосферных условиях были испытаны и дали хорошие результаты алюминиевые краски, нанесенные на алюминиевую пленку.

Цинковые и алюминиевые покрытия, эксплуатируемые в промышленной атмосфере, загрязненной сернистыми газами, целесообразно покрывать эмалями типа ХСЭ-25 в 2—3 слоя, растворенным в бензоле кузбасслаком марки Б (каменноугольный) в 1—2 слоя и др. Нанесение на цинковое покрытие цинково-хроматной грунтовки обеспечивает поверхностную потравку (пассивирование) цинкового покрытия и значительно увеличивает срок его службы.

По данным голландских специалистов алюминиевые покрытия с пропиткой, в состав последнего слоя которой введен хромат цинка, служат от 15 до 30 лет.

В США цинковые и алюминиевые покрытия пропитывают виниловыми смолами (сополимер хлорвинила с винилиденхлоридом), в Англии — хроматом цинка с алкидной смолой или хлоркаучуком. Алюминиевые покрытия пропитываются также взвесью алюминиевой пудры в силиконовой смоле, сохнущей на воздухе. На алюминиевые покрытия, предназначенные для работы в низкомолекулярных жирных кислотах — уксусной и муравьиной, рекомендуется наносить бакелитовый лак без наполнителей или с наполнителем. В качестве наполнителя могут

служить, в частности, диабазовая мука или окиси алюминия (30% по массе).

Цинковые покрытия, наносимые на стальные поверхности нефтеперегонной аппаратуры, работающие в среде паров бензина, сероводорода и др., образуются или пропитываются перхлорвиниловым лаком 4-кратным окунанием.

Свинцовые покрытия обрабатываются 5%-ным раствором белого озокерита в парафиновом масле. Для ускорения процесса сушки изделие после каждой обмазки или окунания подогревают до 50° С. Толщина пленки за четыре окунания 0,1 мм.

Восстановить лакокрасочное покрытие по металлизационному слою значительно проще, чем производить повторную окраску неметаллизированной поверхности. Требуется лишь предварительно удалить с поверхности изделия слой старой краски обдувкой сжатым воздухом. Предварительной химической обработки при этом не требуется. Если же стальные конструкции только окрашивать, то краска при плохой подготовке поверхности быстро разрушается из-за отрыва ее от основной поверхности вследствие коррозии.

Следует избегать применять краски на основе солей металлов, чтобы устранить возможность возникновения электрохимических явлений.

Уплотнение нанесением термопластичных порошковых материалов по металлизационному слою является разновидностью лакокрасочных покрытий. Для защиты стальных конструкций от коррозии могут быть применены различные порошковые термопластичные материалы, наносимые распылением или другими способами. Наиболее распространенным для этой цели является полиэтилен низкого давления, который обладает рядом ценных свойств: он негигроскопичен, водостоек, стоек к кислотам и щелочным средам средней концентрации, сохраняет свою эластичность при низких температурах. ВНИИАВТОГЕНОМ для предохранения покрытий от старения в условиях воздействия на них ультрафиолетовых лучей рекомендуется состав 93,7—93,8% полиэтилена, 3% алкилфенольной смолы, 3% синего моностироля с добавкой 0,2—0,3% сажи.

Для тех же целей могут быть применены:

- 1) искусственные и природные асфальты и битумы;
- 2) эпоксидные смолы, эбонит и др.

Уплотнение увеличением толщины металлизационного покрытия — один из реальных способов снижения его пористости.

Так, например, покрытие из нержавеющей стали при толщине 0,6 мм и больше делается непроницаемым, а проницаемость цинкового покрытия при увеличении его толщины от 0,2 до 0,4 мм уменьшается в 10 раз. Необходимо помнить, что при значительном увеличении толщины слоя в покрытиях из тугоплавких металлов —

меди, нержавеющей стали — появляются внутренние напряжения, ослабляющие силу сцепления между покрытием и основой.

Оплавление поверхности металлизационного слоя также может способствовать устранению его пористости.

Выбор защитных металлизационных покрытий

Атмосферная коррозия — электрохимический процесс, протекающий при наличии на поверхности металла пленки влаги.

Скорость коррозии зависит в первую очередь от структурной неоднородности металла и продолжительности воздействия на него влаги. Эта продолжительность, в частности, зависит от температуры и влажности воздуха.

Особенно подвержены атмосферной коррозии железнодорожные мосты. Глубина коррозии отдельных участков пролетных строений мостов достигает 0,1—0,2 мм в год, а в особо неблагоприятных условиях доходит и до 0,4 мм.

Значительной коррозии подвержены также различные металлические конструкции, работающие на открытом воздухе: электромачты, кронштейны опор контактных линий, стальные конструкции электростанций, ограждения плотин, копры шахт, судовые постройки, шасси подвижного состава, различные резервуары и т. д.

В соответствии с зарубежными и отечественными данными перечисленные объекты могут быть с успехом и надежно защищены от коррозии металлизацией напылением.

В этом отношении представляют интерес испытания, проведенные в Англии в различных атмосферных условиях на коррозионную стойкость металлизационных покрытий алюминием и цинком.

В течение 7 лет в Англии около 2000 образцов испытывались в очень загазованной атмосфере, содержащей значительные количества серы и сернистой кислоты; в атмосфере, периодически загрязняемой солями, попадающими в нее из большой химической лаборатории; в сельской местности; в морской атмосфере умеренного климата и в зоне морского влажного жаркого климата. Во всех случаях, кроме испытаний в жаркой влажной морской атмосфере, хорошую стойкость показали образцы, покрытые алюминием. Образцы, покрытые цинком, показали также хорошую стойкость, за исключением образцов, испытанных в атмосфере, загрязненной серой и сернистой кислотой: за 6 лет испытаний большая часть покрытий из цинка растворилась. Наилучшие результаты во всех испытанных средах, по сравнению с нанесением чистого цинка и чистого алюминия, показали комбинированные покрытия цинком и алюминием в соотношении по весу 1 : 1.

В табл. 35 приводятся рекомендуемые материалы и толщины металлизационных покрытий для защиты стальных конструкций от атмосферной коррозии в различных климатических условиях.

Материалы для защитных покрытий

Таблица 35

Коррозионная среда — атмосфера	Материал покрытия	Толщина покрытия в мм
Не содержащая сернистые газы (в зонах с влажным, умеренно влажным и сухим климатом)	Цинк	0,08—0,1
С невысокой влажностью — сухой воздух при комнатной температуре	Цинк Алюминий	0,1 0,1—0,15
Загрязненная дымовыми газами, со следами сернистого газа и др.	Цинк Цинк + окраска	0,2 0,1
Содержащая сернистые газы	Алюминий Алюминий + окраска	0,2 0,12
С повышенной влажностью и меняющейся температурой	Цинк и алюминий в пропорции 1:1 (по массе)	0,1—0,15
Жаркого морского климата	Цинк и алюминий в пропорции 1:1 (по массе) Цинк	0,15—0,2 0,2

Для получения алюминиецинкового покрытия следует применять проволоку из сплава цинка с алюминием. Для той же цели можно воспользоваться станочным металлизационным аппаратом ЭМ-6, через который при одной и той же скорости подачи одновременно пропускаются две проволоки, например алюминиевая диаметром 2,0 мм и цинковая того же диаметра, что соответствует весовому соотношению 70% цинка и 30% алюминия.

Коррозия металлов от пресной и морской воды происходит в результате образования на поверхности металлов микроскопических короткозамкнутых гальванических элементов, возникших вследствие неоднородности металла или окружающей среды.

Скорость коррозии железа в электролите зависит от находящихся в растворе солей и их концентрации, присутствия окислителей, температуры и многих других факторов.

Из металлизационных покрытий для защиты от коррозии в водных средах наибольшее распространение получил цинк. В некоторых случаях для защиты основного металла не только от коррозии, но и от износа могут быть применены толстослойные (1,5—2,0 мм) покрытия из нержавеющей хромоникелевой стали.

При работе металлоизделий в воде, нагретой до 55—65°С, тонкий слой цинка как защитное покрытие непригоден, так как в этом интервале температур он становится катодом по отношению к стали.

Алюминиевые покрытия неустойчивы к действию соленой воды и для защиты стали от действия морской воды применяться не могут.

В табл. 36 приводятся (по данным отечественного и зарубежного опыта) рекомендации состава металлизационных покрытий для защиты стали от действия пресной и морской воды и некоторых других электролитов.

Таблица 36

Рекомендуемые материалы для защитных покрытий

Коррозионная среда	Температура	Материал покрытия	Толщина слоя металлопокрытия в мм
Пресная вода	Нормальная	Цинк Цинк + окраска	0,1—0,2 0,1
То же	Выше 50°С	Алюминий	0,15—0,25
»	—	Нержавеющая сталь марки Х18Н9	1,5—2,0
Водяной пар	—	Алюминий	0,20—0,30
Морская вода	—	Цинк	0,20—0,25
То же	—	Цинк + окраска	0,15—0,20
»	—	Нержавеющая сталь марки Х18Н9 + пропитка	1,5—2,0
Сульфанол (мыльный порошок)	Нормальная	Цинк	0,15—0,20
То же	Выше 50°С	Алюминий	0,20—0,25
Слабый раствор серной и соляной кислот	—	Алюминий + пропитка	0,2—0,25
Сернистый нефтепродукт	80—200°С	Алюминий + пропитка	0,3

В спирте, бензине, толуоле, различных нефтепродуктах, глицерине и других органических жидкостях, не являющихся проводниками электрического тока, при отсутствии в них примесей свободной воды случаи коррозии металлов очень редки. Эти случаи, в частности, могут иметь место при понижении температуры нефтепродуктов и выделении из них в связи с этим на поверхности металла (котла, цистерн) мельчайших капелек истинно растворенной в них воды. Как известно, растворимость воды в нефтепродуктах очень небольшая; например, в керосине она составляет тысячные, максимум сотые доли процента.

Основной причиной коррозии стальных нефтяных и бензиновых цистерн, стационарных нефтехранилищ, нефтеналивных судов и др. является наличие примесей воды и электролитов в нефтепродуктах.

Нефтепродукты, подвергающиеся самоокислению, например крекинг-бензины, могут в соответствующих условиях стать

агрессивными. Наибольшей коррозии подвергаются участки металла в зоне раздела двух фаз — воды и жидкого топлива, а также жидкого топлива и воздуха.

Для защиты металлов от действия нефтепродуктов применяются цинковые покрытия толщиной 0,08—0,1 мм.

Области применения защитных металлизационных покрытий

Защита от коррозии стальных закладных и соединительных деталей в крупнопанельных зданиях

Стальные сварные стыковые соединения в крупнопанельных и сборных железобетонных конструкциях после сборки домов недоступны для осмотра и ремонта.

Между тем в процессе монтажа (при приварке соединительных планок к закладным деталям) и эксплуатации зданий возникают осадочные и знакопеременные температурные деформации. При недостаточно тщательной заделке сварных соединений наблюдаются неплотное прилегание цементно-песчаного раствора к металлическим связям и образование в нем пор, щелей, трещин. При наличии на стали ржавых пятен добавка в бетон или цементный раствор нитрита натрия или других растворимых добавок также вызывает интенсивный процесс язвенной коррозии стали.

Под действием кислорода воздуха и влаги, равномерно проникающих к поверхности металлических деталей через неплотные швы между панелями, а также вследствие конденсации мигрирующих в толще стены водяных паров при разной температуре внутри и снаружи здания, под неплотно прилегающим бетоном в наружных стенах крупнопанельных зданий развивается интенсивная язвенная коррозия стальных соединений. По данным десятилетних испытаний, проведенных Институтом физической химии Академии наук СССР, незащищенная сталь толщиной 2 мм, находившаяся в контакте с различными строительными материалами в атмосферных условиях Москвы, имела сквозные язвенные проржавления. Таким образом, при неблагоприятных обстоятельствах скорость развития коррозии незащищенной стали достигает до 0,2 мм в год, что представляет уже значительную опасность для прочности зданий.

Перед строителями возникла задача изыскать защитные покрытия, отличающиеся высокой долговечностью, сравнимой со сроками службы капитальных зданий.

Такие покрытия не должны разрушаться и терять защитные свойства как с наружной, так и тыльной стороны деталей при их соединении электросваркой, а также должны допускать возможность нанесения их в две стадии: на закладную деталь перед ее закладкой в стеновую панель и на сварное соединение после монтажа панелей.

Этим требованиям по данным Института физической химии АН СССР в наибольшей мере отвечают цинковые покрытия, нанесенные методом металлизации распылением (табл. 37). Там, где незащищенная листовая сталь толщиной 2 мм имела после 10 лет испытаний сквозные язвенные проржавления, сталь, покрытая цинком, полностью сохранилась и не подверглась коррозионному разрушению. Это объясняется тем, что защитный слой цинка изолирует стальную поверхность от окружающей среды, а при повреждении его (трещина, царапина) и наличии в нем пор защищает металл, как протектор, электрохимически: образуется гальваническая пара, в которой цинк является анодом, а сталь — катодом. При работе такой пары сталь — катод остается невредимым, а разрушению (растворению в прилегающем слое электролита) подвергается цинк — анод.

На основании проведенных испытаний было установлено, что:

1) скорость коррозии цинка в щели под цементно-песчаным раствором в промышленной атмосфере составляет около 2—3 мм/год, т. е. примерно в 2 раза ниже, чем скорость коррозии незащищенного цинка;

2) цинковые покрытия как плотные (горячие), так и пористые (металлизационные) при нормальном твердении бетона сохраняют свой блеск и почти не разрушаются, а при пропаривании бетона (температура твердения около 80° С) хотя и тускнеют, но также почти не уменьшаются в толщине;

3) для надежной защиты от коррозии все стальные соединения необходимо покрыть цинком толщиной не менее 200 мкм. После приварки стальных связей вновь образованный сварной шов и места, поврежденные при сварке, после удаления сварочного шлака должны быть подвергнуты металлизации слоем цинка толщиной 200 мкм или, что еще лучше, таким же слоем цинка с алюминием (50% цинка + 50% алюминия);

4) при дополнительном нанесении на металлизированную поверхность методом газопламенного напыления слоя полиэтлена толщиной 100 мкм толщина слоя цинка может быть уменьшена до 100 мкм.

Перечисленные цинковые, цинково-алюминиевые и комбинированные цинково-полиэтиленовые покрытия по расчетам должны обеспечить защиту от коррозии стальных соединений на весь расчетный период эксплуатации зданий (не менее 80 лет). В соответствии с этими выводами Госстроем СССР утверждены временные указания по антикоррозионной защите стальных закладных деталей и сварных соединений в крупнопанельных зданиях.

К преимуществам оцинкования закладных деталей для нужд крупнопанельного жилищного строительства методом металлизации распылением относятся:

1) возможность получить более толстые защитные слои цинка, чем при горячем и термодиффузионных методах; так, при горячем

Результаты испытаний строительных блоков в промышленной атмосфере

Защитные покрытия	Глубина язв в мм		Среднее уменьшение толщины листа в мм		Характер коррозионного разрушения на поверхности	
	Открытая поверхность	Закрытая поверхность без раствора и на растворе	Открытая поверхность	Закрытая поверхность без раствора и на растворе	Открытой	Закрытой без раствора и на растворе
Углеродистая сталь Ст. 3 листовая 1,7 мм						
Без защитного покрытия с добавкой замедлителя коррозии к цементному раствору	350—700	1200—1700	150—300	50—200	Вся поверхность грубо шероховатая	Сквозные язвы на листах толщиной 1,7 мм
Металлизационный цинк	30—40	Нет	0—50*	0—20*	Цинк полностью разрушился	Следов ржавчины нет. Равномерная коррозия цинкового покрытия
Кузбаслак	100—300	100—300	—	Нет	Лак разрушился на 80% поверхности	Лак сохранился на 90% поверхности. В местах разрушения — названная коррозия
Масляная краска на железном сурине	200—500	1200	200—300	200—300	Вся краска разрушилась. Образцы покрыты толстым слоем продуктов коррозии	

* Уменьшение толщины цинкового покрытия.

Продолжение табл. 37

Защитные покрытия	Глубина язв в мм		Среднее уменьшение толщины листа в мм		Характер коррозионного разрушения на поверхности	
	Открытая поверхность	Закрытая поверхность без раствора и на растворе	Открытая поверхность	Закрытая поверхность без раствора и на растворе	Открытой	Закрытой без раствора и на растворе
Эмаль ХСЭ-25**	200—400	200—300	200	0	Эмаль отслаивается по всей поверхности	Эмаль отслаивается на отдельных участках
Алюминиевые сплавы В95 и Д16						
Планированные неаодированные	10—30	—	Нет	—	Равномерная коррозия на 30—40% поверхности	Не исследовался
Планированные анодированные	30—50	—	Нет	—	10—15 очагов на 1 см ²	То же
Алюминий технический листовой 2 мм						
Без защитного покрытия с добавкой ингибиторов к раствору	50—100	200—400 без раствора, 20—50 на растворе	Нет	20	10—30 очагов на 1 см ²	Без раствора 25—50 очагов на см ² . На растворе вся поверхность матовая, слегка програвленная

** Лакокрасочные покрытия перед испытаниями не имели никаких повреждений. При наличии повреждений глубина язв будет такая же, как на стали без защиты.

покрытии слой цинка может иметь толщину максимумом 50—60 мм, при термодиффузионном — еще меньше; толщина же цинковых покрытий, нанесенных методом металлизации распылением, практически ничем не ограничена;

2) большая производительность по сравнению с гальваническим методом;

3) возможность осуществить дополнительную защиту мест сварки непосредственно на месте в процессе монтажа зданий.

Однако при запаривании панелей в автоклаве при температуре 170—180° С металлизационный слой цинка разрушается, а попытки защитить его от разрушения лакокрасочными и органосиликатными покрытиями оказались неудачными.

Хорошие результаты получены лишь при опыте газопламенного напыления на оцинкованную поверхность 0,2 мм слоя стекла и окислов алюминия инж. А. Маевским. В связи с пористостью и шероховатостью металлизационного покрытия в капилляры его свободно проникают расплавленные частицы аморфной массы стекла или окиси алюминия, образуя на поверхности металла беспористое покрытие. Такое комбинированное покрытие прочно, непроницаемо для жидкостей и газов, нерастворимо в кислотах и одновременно надежно предохраняет металл от атмосферной коррозии. Заслуживают внимания ведущиеся опыты нанесения защитных покрытий из силикатных эмалей.

Указаниями Госстроя СССР для защиты закладных деталей в панелях автоклавного твердения рекомендуется применять горячее оцинкование либо металлизацию цинком с последующим напылением слоя стекла или окислов алюминия.

Подслой из цинка или алюминия вследствие своей шероховатости и пористости является хорошей основой и для антикоррозионных смазок, мастик и других материалов. Даже постепенное растрескивание этих покрытий при их старении не влечет за собой образования очагов коррозии. Металлизационное покрытие обеспечивает хорошее сцепление с бетоном.

Напыление цинка должно быть произведено на поверхность после обработки пескоструйным аппаратом не позднее, чем через 2 ч, так как даже в сухом воздухе чистая поверхность стали покрывается слоем окислов. Оптимальный режим металлизации для получения качественного цинкового покрытия: давление воздуха $5 \cdot 10^4$ — $6 \cdot 10^4$ н/м², напряжение тока (постоянного или переменного) 20 в, расстояние от сопла до металлизированной поверхности 50—80 мм.

Перед закладкой в конструкцию панелей стальные закладные детали и соединительные связи (планки и анкерные стержни) металлизуют цинком в стационарных условиях, причем анкерные стержни при применении тяжелого бетона покрывают цинком лишь на участке примыкания к закладной детали длиной 40—50 мм. Нелицевая сторона закладных деталей покрывается слоем

цинка на всю проектную толщину, а лицевая сторона, к которой приваривается соединительная связь, покрывается слоем цинка лишь толщиной 50 мм.

Вследствие выкипания цинка во время сварки в зоне до 1 мм от корня шва происходит нарушение слоя цинкового покрытия, а на участках, удаленных от шва на большее расстояние, — утонение покрытия за счет уплотнения сравнительно рыхлой структуры напыленного слоя цинка.

В связи с этим сварной шов и прилегающие к нему места цинкового покрытия, поврежденные при сварке, металлизуют дополнительно цинком (толщина слоя 0,1—0,2 мм).

Попытки металлизации мест сварки деталей, оцинкованных горячим способом, дают отрицательные результаты. При нанесении цинка на гладкую поверхность без дополнительной пескоструйной очистки не достигается достаточного сцепления.

Изготовление и металлизация закладных деталей могут производиться в порядке кооперации на предприятиях местной и машиностроительной промышленности или на специальных металлизационных участках, состоящих из отделений подготовки и металлизации (общей площадью 70—80 м²), на предприятиях, изготавливающих железобетонные изделия.

Отделение подготовки поверхности под металлизацию следует оснастить пескоструйным аппаратом с угловыми вращающимися соплами для механизированной обработки деталей.

Аппарат должен равномерно очищать детали, придавать их поверхности необходимую шероховатость и резко увеличивать производительность труда по сравнению с обычно применяемыми аппаратами.

Металлизация закладных деталей производится в металлизационных кабинах при помощи станочных металлизационных аппаратов. Приварка оцинкованных стальных пластин к оцинкованным закладным деталям осуществляется на месте строительных и монтажных работ без зачистки цинка с поверхности.

Глубина цинкового покрытия на различных расстояниях от сварного шва проверяется магнитным толщиномером ИТП-1.

Как показала проверка, сварка оцинкованных деталей на открытом воздухе может производиться без особых предосторожностей. В этом случае концентрация окиси цинка на рабочем месте оказывается ниже допустимой по санитарным нормам. Сварка же оцинкованных деталей в закрытых помещениях допустима лишь при условии установки усиленной вентиляции.

Предварительно перед металлизацией производится тщательная очистка напыляемых мест от шлаковых образований и других загрязнений с помощью металлической щетки, насаженной на пневмотурбинку, которая включается в комплект передвижной металлизационной установки, разработанной НИИОМПТ Госстроя СССР (научно-исследовательский институт организации

и механизации технической помощи), а также проверка качества шва с исправлением выявленных дефектов.

Для удовлетворительного сцепления нового слоя цинка со старым и с поверхностью сварного шва, а также для получения однородного защитного покрытия металлизацию шва необходимо производить не позднее 2 ч после его очистки от шлака.

При мокрой погоде или при отрицательной температуре воздуха поверхность закладных деталей непосредственно перед нанесением покрытия просушивают и подогревают в течение около 2 мин горячим воздухом, пламенем газовой горелки или газового металлизационного аппарата.

Нанесение покрытий может производиться электродуговыми аппаратами, а также порошковыми аппаратами типа УПН-6, работающими на воздушно-газовом пламени. При применении этих аппаратов используются баллоны с горючими газами. Питание сжатым воздухом осуществляется от малогабаритного лакокрасочного компрессора типа 0-16, 0-38.

Для выполнения работ по сварке и металлизации соединений крупных панелей целесообразно создавать комплексные сварочно-металлизационные бригады.

Последующая защита стальных элементов сварных соединений крупнопанельных зданий производится бетонированием их цементно-песчаным раствором слоем толщиной не менее 20 мм.

В случае применения горячего или гальванического цинкового покрытия закладных деталей последующая защита сварных швов может производиться газопламенным напылением порошкового цинка с помощью установки УПН-6 с предварительным прогревом покрываемой поверхности.

Защита от коррозии строительных конструкций и гидротехнических сооружений

Для защиты от коррозии металлоконструкций, железнодорожных и шоссе мостов, различных гидротехнических сооружений, судов и т. д. за рубежом широкое применение нашла металлизация напылением.

Проведенные в СССР и других странах испытания стойкости покрытий, полученных на стальных конструкциях напылением цинка, свинца и алюминия, к воздействию воздуха и воды показали, что:

1) в атмосферных условиях сельской и городской местности для защиты от коррозии стали следует применять покрытия из цинка, алюминия, а также в комбинациях их с лаками и красками;

2) в особо агрессивных условиях атмосферы (большое количество дымовых газов, сернистых соединений) успешно могут быть использованы свинцовые покрытия; однако эффективность

последних зависит в основном от отсутствия пористости покрытий и способности их образовывать устойчивые продукты коррозии;

3) в промышленной атмосфере, содержащей сернистые газы; при воздействии повышенных температур; в присутствии сернистого газа, сероводорода; в условиях хранения сернистой нефти и бензина; для защиты внутренней поверхности вулканизационных котлов могут применяться алюминиевые покрытия с повышенной толщиной пленки;

4) в нейтральных и слабокислых растворах при повышенных температурах рекомендуется применять алюминиевые покрытия с последующим нанесением бакелитового или другого лака (например, для покрытия красильных аппаратов, отстойников, судов для хранения запасных растворов и пр.). Для более повышенных концентраций серной кислоты можно применять свинцовые покрытия с толщиной слоя 0,5—0,8 мм;

5) при постоянном воздействии морской воды наилучшая защита обеспечивается применением цинковых покрытий. Эти покрытия, как показали произведенные в Польше испытания стального катера, покрытого цинком, одновременно препятствуют и образованию моллюсками. Наблюдения над токсическим действием цинкового покрытия на микроорганизмы показали, что только по истечении 1 года на корпусе катера были обнаружены небольшие скопления растительных организмов.

Многолетние испытания качества металлизационных покрытий в промышленных, приморских и сельских районах позволяют сделать вывод, что срок службы цинковых и алюминиевых покрытий прямо пропорционален их толщине. Применение металлизационных покрытий обеспечивает долговременную защиту металлических сооружений, работающих как в атмосферных условиях, так и в водных средах. Тем самым исключается необходимость частых возобновлений покрытий, что, помимо больших затрат труда и материалов, связано также в ряде случаев с прекращением эксплуатации объектов на длительный срок.

Экономический расчет, приводимый Ц. Ковальским [27], показывает, что хотя стоимость цинкового покрытия толщиной 0,2 мм почти в 2,5 раза выше стоимости лакокрасочного покрытия (в связи с необходимостью тщательного опескоструивания, большой затраты труда и материалов при металлизации распылением), применение металлизационного покрытия является значительно более выгодным. Если учесть, что лакокрасочные покрытия необходимо обновлять или устранять их повреждения примерно раз в 3 года, а на это обновление требуется столько же средств, сколько затрачивается при первоначальном нанесении, то общая стоимость лакокрасочных покрытий по истечении 15 лет превысит стоимость металлизационного покрытия (включая и проводимые примерно раз в пять лет очистку его и исправление дефектных мест) примерно в 2 раза.

Применение металлизационных покрытий для защиты стальных гидросооружений

Сооружение, место, год	Длина в м	Покры- тая по- верх- ность в м ²	Напы- ленный металл	Тол- щина слоя в мм	Поверхностное покрытие
<i>Мосты</i>					
В Сев. Уэллсе, Англия, 1938—1940	174	—	Цинк	0,15	Грунтовка и по- крытие из свин- цового сурика
Юбилейный, в Барроу и Фэнесс, Англия, 1953—1954	374	1500	Цинк	0,05	Грунтовка — хро- мовокислый цинк + лакокрас- очное покрытие
Через Авон Дрофдже близ Бристоля, Ан- глия, 1956	305	1000	Цинк	0,1	—
Линкольна в Пельха- ме, Англия, 1957	—	3000	Алюми- ний	0,1	Цинк, толщина слоя 0,1 мм
Одезунд через Малый Бельт, Дания, 1952—1955	15 000		Цинк	0,15	Грунтовка — хро- мовокислый цинк + лакокрас- очное покрытие
Близ Мюнстера, Гер- мания, 1935	—	—	Алюми- ний	0,15	Цинк, толщина слоя 0,15 мм
Железнодорожный на реке Чучва, Польша, 1957—1958		1600	Цинк	0,2	—
Железнодорожный впа- дук в Белостоке, Польша	—	3100	Алюми- ний	0,3	—
Железнодорожный впа- дук в Канзас-сити, США, 1952	—	2250	Алюми- ний	0,15— 0,25	—
<i>Шлюзы, плотины</i>					
Ворота шлюзов, в Сан- Дени близ Парижа, Франция, 1922	—	92	Цинк	0,2	—

Впервые металлизация напылением была применена во Франции в Сан-Дени близ Парижа в 1922 г. для защиты ворот шлюзов. В Швейцарии в 1936—1938 гг. цинковые покрытия толщиной 0,2 мм с последующим битумным или хлоркаучуковым покрытием были нанесены на стальные конструкции ряда электростанций, плотины, щиты, крупные резервуары, напорные трубопроводы и другие объекты, а английские источники сообщают о защите цинковыми и алюминиевыми покрытиями многих мостов, напорных трубопроводов и электростанций. Во Франции и Германии многие железнодорожные мосты защищены алюминиевыми покрытиями от действия воды, дыма и сажи.

В табл. 38 приведены примеры стальных гидросооружений, защищенных металлизацией напылением.

Фирма Bristol Metal Spraying and Welding Limited широко применяет металлизацию цинком стальных балок весом в десятки тонн, являющихся частью металлических конструкций, возводимых над морем для нефтяных буровых вышек.

Эта же компания наравне с другими использует металлизацию для защиты стальных конструкций мостов и других сооружений. Фирма указывает, что процесс напыления цинком таких сооружений был выбран после долгого и тщательного исследования всех имеющихся в настоящее время способов защиты от коррозии. Так, например, стальной резервуар диаметром 10 м и высотой 6 м, эксплуатировавшийся в течение 18 месяцев без защитного покрытия, был сильно разрушен. После очистки поверхность резервуара была металлизирована цинком слоем 0,15 мм. Этот резервуар через 16 лет эксплуатации не имел коррозионных повреждений.

По американским данным цинковое покрытие толщиной 0,13 мм в атмосферных условиях (горячий и сухой воздух) сохраняется 20 лет. Защищенные алюминиевым покрытием очистительная установка на газовом заводе в г. Кент после 10 лет эксплуатации, металлическое сооружение с открытой крышей после 25 лет и емкостные резервуары в г. Гранвич после 30 лет эксплуатации не имели коррозионных разрушений.

Особенно широко металлизация напылением применяется в Швейцарии, Голландии, Финляндии для защиты от коррозии металлических конструкций, работающих в атмосфере, насыщенной промышленными газами. Опоры таких конструкций, траверсы для изоляторов, кронштейны опор контактных линий и железнодорожных мостов, покрытые слоем цинка толщиной 0,12—0,17 мм, после 25—30 лет эксплуатации находятся в хорошем состоянии.

Металлические узлы и стальные конструкции электростанций, подвергающиеся атмосферной коррозии, плотины и их защитные устройства, крупные сборные резервуары и др., защищенные металлизацией цинком, после 15 лет эксплуатации также находятся в хорошем состоянии.

Сооружение, место, год	Длина в м	Покры- тая по- верх- ность в м²	Напы- ленный металл	Тол- щина слоя в мм	Поверхностное покрытие
Дамба в Париже, 1930	—	160	Цинк	0,2— 0,3	—
Ворота шлюзов на Рейне у Страсбурга, Франция, 1936	—	4000	Цинк	0,2	—
Плотина на р. Саар, близ Саарбрюкена, Германия	—	55	Алюми- ний или цинк	0,05 0,15	—
Судоприемник у Магдебурга, Германия, 1935	—	—	Алюми- ний	0,05	Цинк (толщина слоя 0,15 мм) + поверхностно- битумное покрытие
Плотины на Висле и Одере, Польша, 1956—1958	—	3×7500	Цинк	0,3	—
Приспособление для регулирования течения р. Буг, Польша	—	8000	Цинк	0,2	—
Плотины, щиты, шлюзы, Швейцария, 1936—1938	—	—	Цинк	0,2	Битумное или хлоркаучуковое покрытие
Ворота шлюзов на Панамском канале, 1946	—	—	Цинк	0,15	—
<i>Напорные трубопроводы</i>					
Напорный трубопровод, стальные обкладки больших туннелей, электростанции Клуни и Питлочри, Шотландия, Англия, 1948—1949	—	5400	Цинк	0,1	—
Напорный трубопровод, для охлаждающей воды, электростанция близ Манчестра, Англия, 1950	—	—	Цинк	0,15	Грунтовки из хромовокислого цинка + битумное покрытие

Сооружение, место, год	Длина в м	Покры- тая по- верх- ность в м²	Напы- ленный металл	Тол- щина слоя в мм	Поверхностное покрытие
Внутренние стенки водяного котла, электростанция Роджерстон, Англия, 1957	—	400	Цинк	0,075	—
Напорные трубопроводы, электростанция Глан-Аффрик, Шотландия, 1954	—	8000	Цинк + алю- миний	0,075 +0,075	Грунтовка из хромовокислого цинка + битум- ное покрытие
Электростанция во французских Альпах, Франция, 1938	—	5000	Цинк	0,4	Битумное покрытие
Напорный трубопровод, внутренние стенки резервуара в туннеле, электростанция на р. Сул, Франция, 1938	—	—	Цинк	0,4	Хлоркаучуковое покрытие
Напорные трубопроводы, резервуары, стальные конструкции, электростанция Пангани, Танганьяка (Африка), 1950—1951	—	4000	Алю- миний	0,15— 0,25	—

В СССР металлизация как защитное средство от атмосферной коррозии применяется при изготовлении мачт высоковольтных линий передач, кранового оборудования, подкрановых путей, ферм и др.

Применение металлизации напылением в судостроении

В зарубежном судостроении процесс металлизации напылением получил применение при постройке морских и речных судов (буксирных траулеров, танкеров и др.).

Целый ряд судостроительных фирм ввели у себя металлизацию как неперменный процесс обработки металлоконструкций, и он предусмотрен при конструировании всех судов.

Зарубежные фирмы Cook, Welton and Gemmel, Messer и др. металлизуют цинком палубное оборудование судов, например

фундаментные плиты лебедок, вентиляторы, стальные корпуса вентилялей, главные инжекторные клапаны, радарные мачты, вспомогательные механизмы машинного отделения и т. д. Металлизация дает возможность применять в судостроении соединения легких сплавов со сталью. Стальные комигсы в местах их соединения с алюминиевыми конструкциями покрывают слоем алюминия и затем сваривают.

Стальные баржи с успехом металлизуются цинком до сборки.

Корпусы ряда кораблей, покрытые цинком, за 10 лет эксплуатации потребовали перекраски только один раз при полной сохранности цинкового покрытия.

Под действием плавающего льда, соленой воды и жидкости, выделяющейся при обработке рыбы, полы в трюмах для рыбы глубоководных траулеров непрерывно подвергаются сильному коррозионному воздействию. Для защиты от коррозии полы в таких траулерах металлизуются цинком толщиной 0,2—0,25 мм. За последние 12 лет напыление цинком было произведено более чем на 100 судах. Через 5 лет после напыления потребовали ремонта только несколько траулеров.

Защита от коррозии металлических резервуаров для хранения жидкого топлива

Заливные трюмы судов и другие емкости под светлые нефтепродукты, глицерин, спирт и др. за рубежом покрывают цинком. По литературным данным толщина цинкового покрытия за три года эксплуатации емкостей уменьшается лишь на 0,025 мм. В СССР цинковые металлизационные покрытия толщиной 0,09—0,1 мм успешно используются для защиты от коррозии внутренних поверхностей автомобильных и железнодорожных цистерн, а также стационарных емкостей для хранения жидкого топлива. Этим одновременно обеспечивается предохранение жидкого топлива от загрязнения продуктами коррозии металла.

Для улучшения технологии изготовления изделий и экономии рабочих площадей на ряде предприятий металлизации подвергаются уже готовые цистерны. Однако при этом создается ряд неудобств для рабочих, непосредственно металлизующих емкости, а также исключается возможность механизировать и автоматизировать процесс металлизации. Поэтому на некоторых передовых предприятиях введена технология подетальной металлизации цистерн в разобранном виде, при которой предварительная пескоструйная обработка и последующая металлизация производятся на конвейере раздельно: обечаек с приваренными к ним ребрами жесткости, днищ, горловин, крышек, труб и других частей цистерн. При этой технологии пескоструйные и металлизированные камеры герметически изолированы от других помещений и оборудованы приточно-вытяжной вентиляцией. Сопла

пескоструйных аппаратов установлены неподвижно. При продольном перемещении обечаек вдоль своей оси при одновременном вращении их обеспечивается постепенная очистка всей внутренней поверхности цилиндров песком, поступающим из сопел. В качестве абразивного материала используется металлический песок с размером частиц 1,5—2,5 мм.

Внутри металлизационной камеры на штанге на равном расстоянии друг от друга внутри обечайки установлены три металлизационных аппарата ЭМ-6, которым придается поступательное движение. Скорость движения аппаратов и вращение обечайки рассчитаны так, чтобы при заданной производительности металлизационных аппаратов за один проход нанести весь слой защитного цинкового покрытия проектной толщины, равной 0,1 мм. Один из металлизационных аппаратов предназначен для одновременного оцинкования обечайки и ребра жесткости швеллера или другой балки.

Пескоструйная подготовка днищ и других частей цистерны производится также автоматически в пескоструйных камерах, металлизация же этих деталей производится в другой металлизационной камере при помощи стационарных аппаратов ЭМ-6 и ручных ЭМ-3А и ЭМ-9. Днища и горловина привариваются наружными швами. При этом цинковое покрытие не повреждается. Металлизированные волнорезы прибалчиваются к поверхности цилиндра до приварки днищ.

Расход цинковой проволоки на металлизацию 1 м² внутренней поверхности цистерны при среднем коэффициенте использования металла 0,6 составляет 0,9—1,0 кг.

Вся металлизационная установка, включая подготовку, обслуживается тремя рабочими при плане выпуска цистерн емкостью 10 м³ 5000 шт. в год.

Контроль качества металлизационного покрытия, прочности сцепления его с основанием следует производить заливкой емкости жидким топливом, для перевозки или хранения которого она предназначена. Появление на отдельных участках цинкового покрытия пузырей и вспучивания указывает на:

1) наличие напряжений, возникающих в цинковых покрытиях в результате их усадки; интенсивность отрицательного действия этих напряжений усугубляется неравномерностью нанесенного слоя покрытия;

2) применение цинковой проволоки с большим содержанием примесей;

3) местный перегрев покрытия в процессе его нанесения;

4) нанесение покрытия на плохо подготовленную поверхность. При устранении этих причин и соблюдении технологии металлизации можно избежать образования некачественного покрытия.

Проведение испытаний заливкой емкости водой, содержащей повышенное количество углекислых солей и свободной угле-

кислоты, недопустимо, так как это, в свою очередь, может быть причиной образования пузырей и вспучивания покрытия.

При эксплуатации металлизированных цинком цистерн следует знать, что недопустимо очищать внутреннюю оцинкованную поверхность от загрязнения промывкой горячей водой, так как горячая вода интенсивно растворяет слой нефтепродуктов, непосредственно соприкасающихся с металлом покрытия, и приводит к оголению последнего. Промывку металлизированных цинком цистерн следует производить только водой нормальной температуры.

Применение металлизации при строительстве химических предприятий

Для защиты от коррозионного воздействия сернистых газов, имеющих температуру до 650°C , на одном из предприятий по производству серной кислоты на внутреннюю поверхность крышек уже смонтированных контактных аппаратов был нанесен с помощью электрометаллизатора ЭМ-3А слой алюминия толщиной 0,2 мм. Во избежание короткого замыкания корпуса контактного аппарата с вводимой внутрь его алюминиевой проволокой, находящейся под напряжением, пришлось внести некоторое видоизменение в конструкцию электрометаллизационного аппарата. Была сконструирована и изготовлена для алюминиевой проволоки легко собираемая и разбираемая деревянная катушка; детали ее свободно проходили через штуцер аппарата, внутри которого происходило напыление. Катушка крепилась в легкой металлической конструкции, опирающейся на ось, вокруг которой она легко вращалась.

Для защиты от коррозии внутренних поверхностей металлических хранилищ для стирола на одном из химических предприятий УССР было нанесено цинковое покрытие на площади 1000 м^2 с помощью газометаллизационного аппарата МГИ-1, применение которого в данном случае было более рациональным, чем электродугового.

Производительность газометаллизационного аппарата 2—2,5 $\text{м}^2/\text{ч}$. Оптимальное расстояние от сопла аппарата до металлируемой поверхности 120 мм. При уменьшении расстояния до 90—100 мм происходили перегрев и отслоение покрытия; при расстоянии, большем 120 мм, ухудшалось сцепление напыляемого металла с покрываемой поверхностью, увеличивались его распыливание и содержание окислов в нанесенном слое. Произведенное на заводе усовершенствование конструкции газовой горелки, заключающееся в растачивании отверстий для выхода газа под углом 30° к оси горелки, и применение распределительной пайбы для равномерной подачи газа позволили уменьшить расход газа, ликвидировать разбрызгивание металла и его перегар, а также увеличить срок службы сопла.

Качество нанесенного методом металлизации цинкового покрытия внутренних поверхностей хранилищ стирола производился;

1) систематическим осмотром покрытия невооруженным глазом, а также с помощью лупы с 20-кратным увеличением; при этом особое внимание уделялось выявлению наплывов, пропусков и других дефектов, а также равномерности покрытия;

2) царапанием покрытия острым предметом во взаимно перпендикулярных направлениях; шелушение покрытия и появление заусенцев указывает на неудовлетворительную сцепляемость цинка с поверхностью, на которую он был нанесен;

3) наложением на предварительно обезжиренный спиртом участок оцинкованной поверхности фильтровальной бумаги, смоченной раствором следующего состава: 10 г/л красной кровяной соли и 20 г/л поваренной соли. После выдержки 3—5 мин бумага снимается, промывается водой и просушивается на стекле. В местах расположения пор появляются синие пятна, по числу которых определяют количество пор, приходящихся на единицу площади поверхности.

На одном из строящихся мясожирокомбинатов в начале 1963 г. с помощью газометаллизационного аппарата, работающего на проволоке диаметром 3 мм, произведена металлизация цинком слоем толщиной 0,15 мм предварительно очищенной пескоструйными аппаратами поверхности сушильной башни и отсасывающей трубы на площади 1300 м^2 и металлизация алюминием слоем толщиной 0,2 мм канала горячего воздуха и верхней части трубы газовой печи общей площадью 350 м^2 .

Во всех описанных выше случаях качество металлизационных покрытий было высокое.

На основе произведенного хронометража разработаны нормы времени на производство этих работ. Проведен также ряд опытных работ по нанесению комплексных покрытий: перхлорвинилового покрытия по цинковой основе и бакелитового покрытия по слою напыленного цинка и алюминия.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТАЛЛИЗАЦИИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ АНТИФРИКЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ

Получение антифрикционных материалов для подшипников скольжения осуществляется различными способами, причем для этой цели применяются самые разнообразные металлические и неметаллические материалы.

Одним из прогрессивных способов получения антифрикционных материалов является метод металлизации напылением. Сущность этого способа заключается в напылении на внутреннюю поверхность втулки слоя материала, отличающегося высокими антифрикционными свойствами. Напыление обычных антифрикционных сплавов (например, бронзы) позволяет получить более

качественные результаты, чем покрытие литой бронзы. Это объясняется наличием в покрытии мелких пор, которые способствуют поддержанию непрерывной масляной пленки.

Важным показателем качества антифрикционного сплава является его прирабатываемость. В качестве антифрикционных материалов могут быть использованы покрытия из псевдосплавов. Приоритет на создание антифрикционных псевдосплавов принадлежит Советскому Союзу.

Для получения антифрикционных псевдосплавов можно применить различные методы. Первоначально применялся только способ распыления полиметаллической проволоки, состоящей из двух или трех металлов, располагающихся слоями. Этот способ, дающий хорошие результаты, требует применения специальной полиметаллической проволоки.

Напыление антифрикционных покрытий из полиметаллической проволоки может производиться с помощью обычных электродуговых и газовых аппаратов.

Другой способ получения антифрикционных покрытий из напыленного металла основан на применении двух или трех проволоочных электродуговых аппаратов. В этом случае в аппарат заправляются разнородные проволоки, диаметры и скорости которых подбираются исходя из желательного соотношения компонентов псевдосплавов. По этому способу нельзя получить столь идеально перемешанных частиц в покрытии, как при металлизации с помощью полиметаллической проволоки. Тем не менее этот способ обеспечивает получение вполне удовлетворительных результатов и нашел себе широкое применение в промышленности [13, 14].

Метод металлизации позволяет создавать какие угодно сочетания компонентов в покрытиях. Однако проведенные различными исследователями (А. А. Абиндер, Р. А. Гвириц, Л. В. Красниченко и др.) работы позволили выбрать наилучшие псевдосплавы (табл. 39) для различных условий работы.

Работами инж. В. Ф. Пихельсон (Ростовский-на-Дону институт сельхозмашиностроения) установлено, что медно-стальные напыленные псевдосплавы, содержащие 10—30% меди, легко прирабатываются и работают в условиях высоких нагрузок весьма спокойно при невысокой температуре и низком коэффициенте трения. Удельная нагрузка не должна превышать $294 \cdot 10^4$ н/м². Недостатком медно-стальных псевдосплавов является трудность их механической обработки и, в частности, шлифовки из-за наличия окислов, нитридов, вызывающих повышенную твердость. Для улучшения свойств медно-стального псевдосплавов предлагается производить его термическую обработку (отжиг и нормализацию), что приводит к получению более равновесного состояния слоя, изменению формы частиц окислов и снижению твердости. Износостойкость нормализованного напыленного

Свойства напыленных антифрикционных псевдосплавов при различных скоростях скольжения v в м/сек

Параметры	Псевдосплавы			
	АЖ50	МС25	МС25 термообработанный	АС50
Предельная нагрузка в н: $v=1$ $v=4$	105 110	105 140	200 220	180 200
Коэффициент трения при давлении в н/м ² : $490 \cdot 10^4$ $v=1$ $v=4$ $980 \cdot 10^4$ $v=1$ $v=4$ $1962 \cdot 10^4$ $v=1$ $v=4$	0,0049 0,0061 0,0045 0,0053 — —	0,0044 0,0044 0,0037 0,0042 — —	0,0033 0,0045 0,0033 0,0033 — —	— — — — 0,0041 0,0041
Масса впитываемого масла в % к массе псевдосплавов	10—14	—	—	5,2

Примечание. Состав псевдосплавов: АЖ50 — алюминий-железистый (Al = 48 ÷ 50%; Fe = 50 ÷ 52%); МС25 — медно-свинцовый (Cu = 70 ÷ 75%; Pb = 25 ÷ 30%); АС50 — алюминий-свинцовый (Al = 48 ÷ 50%; Pb = 50 ÷ 52%).

медно-стального псевдосплавов и сопряженной с ним шейки вала выше, чем у бронзовых обычных подшипников, работающих в тех же условиях. Рекомендуемый режим термообработки — нормализация при температуре 930° С с выдержкой в течение 2 ч.

Металл наносится на внутреннюю поверхность втулок слоем толщиной от 0,05 до 6 мм в зависимости от диаметра детали.

При напылении антифрикционного псевдосплавов на наружную поверхность цилиндрических деталей допускается значительно большая толщина слоя (до 12 мм).

При работе трехпроволочной головкой МТГ для нанесения антифрикционных псевдосплавов на подшипники, втулки и т. п. рекомендуется режим, указанный в табл. 40.

Подготовка поверхности втулки перед металлизацией может производиться различными способами (например, нарезкой «рваной» резьбы). Однако в некоторых случаях, в особенности при

Режимы нанесения антифрикционных псевдосплавов

Состав псевдосплавов		Диаметр проволоки в мм	Скорость подачи проволоки в м/мин	Напряжение в е	Величина силы тока на каждой фазе в а	Проводимость в кг/ч
Материал	Содержание в %					
Сталь	75	2,0	1,0—2,0	20—40	50—125	4,0—8,0
Медь	25	2,0	0,6—1,2		75—150	
Сталь	75	2,0	1,0—2,0	20—40	75—150	4,0—8,0
Латунь	25	2,0	0,6—1,2		60—110	
Алюминий	50	2,0	1,0—2,0	20—40	40—90	2,0—4,0
Свинец	50	2,0	0,5—1,0		15—30	
Алюминий	30	2,0	1—1,2	20—40	90—110	3,0—3,6
Сталь	70	2,0	1,3—1,6		40—60	
Алюминий	50	2,0	1—1,2	20—40	90—110	2,0—2,4
Сталь	50	2,0	0,7—0,85		50—80	

металлизации разрезных втулок с углом охвата до 3,14 рад, целесообразнее использовать упомянутый выше способ напыления подслоя из молибдена. В зависимости от состояния и характера поверхности для сплошного покрытия из молибдена требуется разная толщина слоя. При металлизации чугунных втулок целесообразно перед напылением молибдена произвести пескоструйную очистку поверхности с тем, чтобы по возможности удалить графитные включения. Песок должен быть кварцевый или стальной, мелкозернистый. Для сплошного покрытия чугунной поверхности после пескоструйной очистки требуется напылить слой молибдена толщиной 0,07—0,1 мм, а шлифованной поверхности 0,1—0,15 мм.

Весьма интересные результаты получаются при применении так называемых «обращенных» подшипниковых пар. По этому методу антифрикционный сплав наносится посредством металлизации на поверхность шейки вала, а втулка изготовляется из закаленной стали со шлифованной поверхностью. При этом достигается увеличение срока службы подшипниковой пары на 30—35%.

Обработку втулок и шеек валов с металлизированной антифрикционными псевдосплавами поверхностью можно производить обычными способами на токарных, фрезерных, шлифовальных и других станках.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТАЛЛИЗАЦИИ ДЛЯ НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЙ НА НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

Металлизация поверхности изделий из древесины, бумаги, картона, пластмасс, гипса, бетона и т. п. позволяет придать им поверхностные металлические свойства (например, электропроводность). Такие покрытия могут быть также с большим эффектом использованы как декоративные.

Напыление металлического слоя на поверхность изделий из неметаллических материалов производится в основном теми же способами, что и металлических деталей.

Выбор метода подготовки поверхности изделий из неметаллических материалов производится с учетом твердости этих материалов. Например, ткань, бумага, картон, фанера и тому подобные материалы могут вообще никак не подготавливаться, конечно, в том случае, если поверхность достаточно чиста и суха.

В некоторых случаях можно рекомендовать производить подготовку поверхности деталей из древесины зачисткой ее крупной стеклянной шкуркой в двух перпендикулярных направлениях с последующей тщательной обдувкой поверхности струей сухого сжатого воздуха.

Следует иметь в виду, что лучшие результаты получаются при металлизации изделий из пористых материалов. В некоторых

Потери при металлизации различных материалов в %

Материал основания	Металл покрытия			
	Цинк	Алюминий	Сталь	Латунь
Сталь	23,1	18,7	24,0	22,0
Чугун	22,3	18,1	25,1	21,3
Фанера	29,0	31,0	98,0	93,9
Картон	29,0	34,0	98,9	94,9

случаях производить металлизацию бумаги, картона, тканей и тому подобных материалов вообще нельзя (например, проклеенного картона с блестящей поверхностью; изделий, окрашенных масляными или клеевыми красками, пропитанных маслом и т. п.).

Детали из материалов относительно высокой твердости (из пластмасс, цемента и т. п.) должны подвергаться пескоструйной очистке.

При формовке гипсовых изделий формы обычно смазываются смесью из парафина с керосином. В результате на поверхности гипсовых изделий образуются жирные пятна, препятствующие хорошему сцеплению слоя и основания при металлизации изделий. Целесообразнее всего полностью отказаться от всякой смазки форм, а если это невозможно, применить мыльные эмульсии или, что еще лучше, порошок талька, которым следует протирать внутреннюю поверхность формы.

Для удаления жирных пятен рекомендуется произвести очистку поверхностей чистым бензином с последующей тщательной сушкой изделия.

Наиболее качественные результаты получаются при металлизации изделий, выполненных из высокопрочного гипса, замешанного на 0,2—0,3%-ном растворе столярного клея. Изделия из гипса перед металлизацией должны быть тщательно просушены. Содержание влаги не должно превышать 5—6%.

Почти все сказанное выше относительно металлизации гипсовых изделий относится и к металлизации цемента и бетона. Если поверхность бетонного изделия была заглажена, необходимо подвергнуть ее пескоструйной очистке мелким кварцевым, горным песком. Влажность цементных изделий должна быть не более 5—6%.

Основным требованием, предъявляемым к металлируемым изделиям из древесины, является ее минимальная влажность. Удовлетворительные результаты получаются при содержании влаги не более 18%. Очень плохо металлизуется смолистая древесина.

В процессе металлизации происходит незначительное нагревание поверхности, что приводит к выступанию смолы из пор дерева. В этом случае никакого сцепления слоя и основания не получается.

Исследования в области металлизации неметаллических материалов, проведенные в МТИ, а также практика применения металлизированных неметаллических материалов показали, что наложение тугоплавких металлов на поверхность тканей, бумаги, картона, гипса и других материалов невозможно в силу чрезвычайно больших потерь и низкого качества покрытия. В табл. 41 приводятся уточненные данные о потерях металла при металлизации различных материалов разными металлами.

Из табл. 41 видно, что материалы, могущие гореть, нельзя металлизировать непосредственно тугоплавкими металлами. Необходимо сначала наложить подслои из какого-нибудь легкоплавкого металла (например, олова, свинца или цинка), а затем уже металлизировать тугоплавким металлом. Сказанное относится и к гипсовым изделиям, которые также необходимо предварительно металлизировать легкоплавким металлом.

Особый интерес представляет металлизация тканей. Ткани с покрытием из металла приобретают особые свойства, позволяющие применять их для различных целей. Они электропроводны, обладают высокой теплостойкостью, хорошо отражают тепловые лучи и не пропускают ультрафиолетовое излучение.

В одежде из металлизированной ткани можно вести работы в горячих термических и металлургических печах при температуре до 600—650° С без опасности получить ожоги. Рукавицы из металлизированной ткани позволяют брать в руки раскаленный металл.

Весьма интересны области применения этих тканей для создания электрообогреваемой одежды. Пропуская через поверхность металлизированной ткани электрический ток, можно подогревать одежду и, следовательно, избежать применения тяжелых и толстых меховых одежд.

При металлизации тканей имеется определенная специфика. Как известно, ткань состоит из двух систем нитей — основы и утка, переплетающихся друг с другом определенным образом. Нити соединены не жестко и могут перемещаться относительно друг друга. Закрепление металлических частиц на текстильных нитях происходит облепанием нити частицей распыленного металла (в момент ее деформации), а также проникновением металла между волокнами, образующими нить.

Микрофотография среза металлизированной хлопчатобумажной нити представлена на рис. 82.

Иногда имеет место частичная деструкция волокон под влиянием высокой температуры металлической частицы и в некоторых случаях даже пережигание волокон или их разрыв.

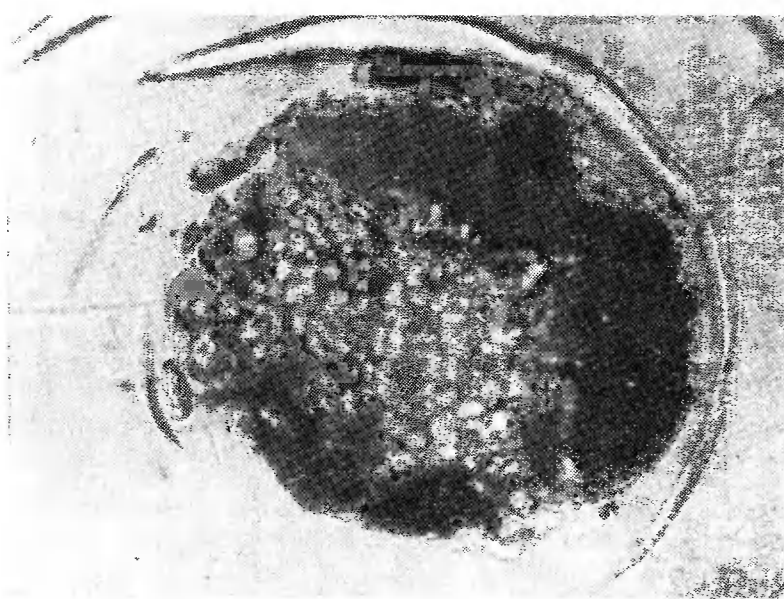


Рис. 82. Срез металлизированной хлопчатобумажной нити $\times 150$

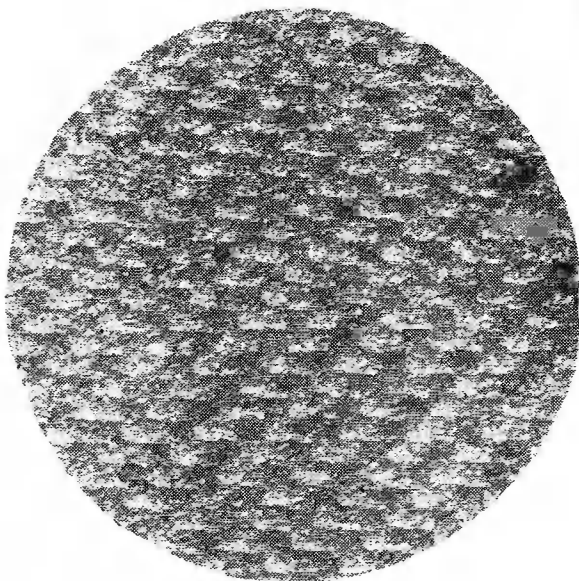


Рис. 83. Поверхность металлизированной капроновой ткани $\times 10$

Синтетические волокна некоторых видов (капрон) плавятся от тепла, принесенного металлическими частицами. В результате происходит смачивание расплавленным полимерным материалом затвердевших частиц металла и возникает адгезия. Указанные обстоятельства приводят к изменению прочности нитей. Общий вид металлизированной поверхности ткани показан на рис. 83.

При малых толщинах металлического слоя, осевшего на поверхности нитей, получается довольно резкое уменьшение проч-

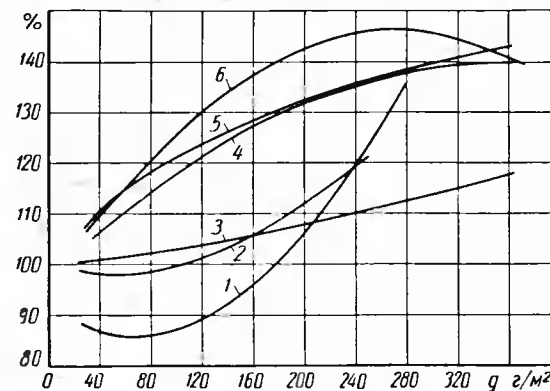


Рис. 84. Зависимость прочности металлизированной бязи от количества напыленного металла в % от первоначальной величины:

1 — алюминий; 2 — цинк; 3 — олово; легкоплавкие сплавы с температурой плавления:
4 — 152° C; 5 — 100° C; 6 — 68° C

ностных характеристик нитей, так как тепловые воздействия на волокна успевают произойти, а упрочнение нитей металлом еще не имеет места (толщина слоя еще недостаточна и слой несплошной). Затем по мере утолщения слоя металла происходит постепенное упрочнение нити, а следовательно, и ткани (рис. 84).

В случае напыления на ткань легкоплавких металлов, частицы которых достигают металлизированной поверхности при низкой температуре, повреждения волокон не происходит. Поэтому отдельные упавшие на нити частицы металла скрепляют волокна друг с другом и, уменьшая скольжение волокон, увеличивают общую прочность тканей.

Зависимость средней разрывной нагрузки и среднего разрывного удлинения металлизированной ткани от температуры частиц перед ударом при условии напыления 90 г металла на 1 м² поверхности показана на рис. 85. С увеличением температуры частиц прочность тканей уменьшается. Из этого следует, что для металлизации тканей совершенно нецелесообразно применять тугоплавкие металлы, температура частиц которых достаточно высока. Чтобы получить высокие механические свойства, следует

использовать легкоплавкие металлы, частицы которых имеют низкую температуру.

При металлизации тканей имеет весьма существенное значение равномерность покрытия, так как металл наносится, как правило, тонкими слоями и поэтому даже незначительное отклонение в толщине слоя может привести к нежелательному результату.

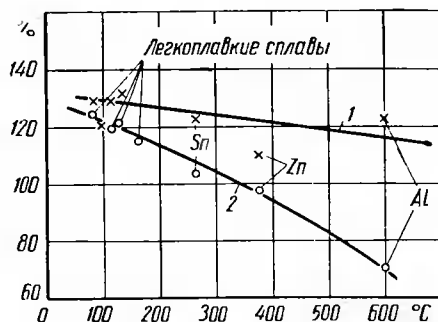


Рис. 85. Зависимость средней разрывной нагрузки и среднего разрывного удлинения металлизированной ткани от температуры частиц в % от первоначальной величины:

1 — среднее разрывное удлинение; 2 — средняя разрывная нагрузка

Для получения слоя, равномерного по толщине, необходимо правильно сочетать скорость перемещения аппарата вдоль поверхности ткани и расстояние между соплом аппарата и поверхностью ткани с факторами режима напыления (производительностью аппарата, давлением сжатого воздуха, напряжением на электродах и диаметром воздушного сопла, т. е. факторами, влияющими на коэффициент равномерности пылеобразования).

Для наиболее равномерного покрытия необходимо выполнить условие, выражаемое уравнением (6).

Толщина металлизированной ткани не является простой суммой толщин самой ткани и металлического слоя, наложенного на него; часть металла проникает между нитями основы и утка.

Измерение толщины металлизированной ткани с помощью обычного текстильного микрометра также не дает правильных результатов, так как под влиянием нагрузки ткань несколько деформируется и степень этой деформации будет различной при различной толщине слоя металла, напыленного на ткань.

Для объективного суждения о количестве напыленного металла наиболее подходит весовой метод, позволяющий установить вес металла, напыленного на 1 м² поверхности ткани.

Коэффициент использования металла растет с увеличением толщины слоя, что объясняется частичным закрытием просветов между нитями, образующими ткань, а также тем, что первые частицы ложатся непосредственно на ткань, а последующие слои — на подслои из ранее осевших частиц. Коэффициент использования увеличивается сначала быстро, а потом медленнее. Это легко объяснить тем, что по мере увеличения толщины слоя поверхность металлизированной ткани становится все более близкой по своим свойствам к металлической.

Существенное влияние на коэффициент использования оказывают плотность ткани и диаметр нитей, т. е. величина просветов между нитями. Минимум потерь был бы достигнут тогда, когда средний поперечник частиц был бы равен или больше величины просвета. Однако известно, что величина потерь металла с увеличением размеров частиц возрастает (при металлизации любых поверхностей). Таким образом, потери являются сложной функцией многих переменных.

Общее уравнение, показывающее зависимость коэффициента использования от производительности аппарата, среднего размера частиц и величины просвета между нитями тканей, имеет вид

$$\epsilon = \frac{100 K_F}{0,823 G} \left\{ G - \frac{G}{100} [a_1 d_{cp}^2 - b_1 d_{cp} + c_1] \right\},$$

где G — производительность аппарата в г/ч;

d_{cp} — средний размер частиц металла в мм;

a_1, b_1, c_1 — опытные константы, зависящие от свойств ткани и расплавляемого металла (при металлизации хлопчатобумажной бязи цинком $a_1 = 1646,1$; $b_1 = 579,6$; $c_1 = 82,3$);

K_F — коэффициент перекрытия, равный отношению площади, покрываемой нитями основы и утка к номинальной площади ткани.

Для того чтобы уменьшить потери при металлизации тканей, в особенности редких, целесообразно располагать их в несколько слоев. Тогда частицы металла, прошедшие через просветы между нитями основы и утка первого слоя, будут оседать на поверхность нижележащего слоя ткани.

В процессе металлизации жесткость ткани увеличивается, а драпируемость уменьшается в тем большей степени, чем выше толщина слоя металла.

Поскольку напыленные металлы обладают низкими вязкостью и пластичностью, металлизация тканей приводит к увеличению сминаемости.

Усадка ткани после стирки в результате металлизации изменяется. С увеличением количества напыленного металла усадка сначала возрастает, а потом падает. В процессе стирки часть на-

пыленного металла отделяется от ткани и теряется. При малых толщинах слоя эти потери особенно велики. Так, при напылении на бязь 44 г цинка на 1 м² теряется 70—73% металла, а при осаждении 243 г/м² только 10—18%. Следовательно, прочность сцепления частиц с тканью меньше, чем частиц между собой (при значительных толщинах слоя превалирует связь между частицами, а при покрытиях малой толщины — связь между частицами играет меньшую роль, но зато большее значение приобретает сцепление между частицами и нитями ткани).

Водопоглощаемость и намокаемость тканей после металлизации уменьшаются, а водоупорность увеличивается в тем большей степени, чем большее количество металла напыливается на ткань.

Воздухопроницаемость ткани после металлизации несколько падает.

ЛИТЕРАТУРА

1. Акимов Г. В., Кларк Г. Б. и Кошелев Г. Г. Коррозия металлических конструкций в местах соприкосновения с другими строительными материалами. «Промышленное строительство», 1961, № 2.
2. Алексеев С. Н. Антикоррозийная защита стальных закладных и соединительных деталей в крупнопанельных зданиях. М., Стройиздат, 1962.
3. Бахвалов Г. Т. и Турковская А. В. Коррозия и защита металлов. М., Металлургиздат, 1959.
4. Болховитинова Е. Н. Влияние дробеструйного наклепа на свойства стальных деталей. М., Машгиз, 1953.
5. Вадивасов Д. Г. Восстановление деталей металлизацией. Саратов, Кн. изд-во, 1956.
6. Вадивасов Д. Г. Исследования влияния условий процесса электрометаллизации на свойства металлических покрытий. Саратов, Кн. изд-во, 1958 (Труды СИМСХ им. М. И. Каланина, Вып. 15).
7. Власов А. П. и Савинков К. П. Высокочастотная металлизация. М., Машгиз, 1960.
8. Казанцев А. С. Анодно-механическое шлифование металлов в ремонтном производстве. М.—Л., Машгиз, 1955.
9. Катц Н. В. Металлизация тканей. М., Ростехиздат, 1962.
10. Катц Н. В. и Линник Е. М. Электрометаллизация. М., Сельхозгиз, 1953.
11. Кларк Г. Б., Кошелев Г. Г. и Берукскис Г. К. Коррозия металлов в контакте со строительными материалами. «Промышленное строительство», 1963, № 6.
12. Кочура С. Т. Некоторые свойства подшипников из пористого материала, работающих с капиллярной смазкой, 1958 (Труды МТИ. Т. XIX).
13. Красниченко Л. В. Современная технология металлизации распылением. М., Трудрезервиздат, 1958.
14. Красниченко Л. В. и Тихонов А. А. Антифрикционные покрытия, полученные методом электрометаллизации, 1954 (Труды РПСХМ. Вып. 6).
15. Красниченко Л. В. и Шпржецкий М. Н. К вопросу образования металлизационных слоев. М., 1955 (Ж. Т. Ф. Вып. 5).
16. Крюк Р. Металлизация распылением. Пер. с чеш. М., Профиздат, 1956.
17. Крупин А. Ф. и Бойков Г. П. Охлаждение частиц в конусе распыла при электрометаллизации распылением. Известия Томского политехнического института им. С. М. Кирова. Т. 85, 1957.
18. Лившиц Л. Г. и Поляченко А. В. Восстановление тракторных деталей. М., Сельхозиздат, 1962.
19. Морозов М. Е. Механизм воздействия сжатого воздуха на распыление металла в газовом металлизационном аппарате. М., Машгиз, 1960 (Труды ВНИИАВТОГЕНА. Вып. 6).
20. Томашев Н. Д. Теория коррозии и защиты металлов. Изд. АН СССР, 1960.

21. Т р о и ц к и й А. Ф. Основы металлизации распылением. Ташкент, Госиздат Узбекской ССР, 1960.
22. Эксплуатация металлизационных аппаратов. М., Машиз, 1959 (Труды ВНИИАВТОГЕНА. Вып. 16).
23. Cochetier. Les revetements metalliques de protection. — «Corrosion et Anticorrosion». 1958, v. 3, N 12.
24. K o w a l s k i T. Anticorrosionsschutz der Stahlhydroeinrichtungen mit zink bedeckungen ausgearbeitet von Flammenstänbungmethoden. — «Werkstoffe und Korrosion». 1959, 10, 6.
25. M a n s f o r d. The Zinc and Aluminium metillized protective coatings. — «Corrosion Technology». 1956, N 10, v. 3.
26. M a n s f o r d, S m i t, Ross. «Stahlschutz gegen Korrosion durch «Zink und Aluminiumzerstreung. «Werkstoffe und korrosion». 1958, 8, 12.
27. Houre. Metal spraying for steel and iron protective purposes. — «Metal Finishing». 1956, 5, N 57.

СОДЕРЖАНИЕ

П р е д и с л о в и е	3
Введение	5
Процесс металлизации напылением и свойства покрытий	13
Электродуговая металлизация	14
Высокочастотная металлизация	27
Газовая металлизация	29
Тигельная металлизация	32
Свойства покрытий, нанесенных металлизацией	37
Строение напыленного металла	37
Образование покрытий на поверхности детали и прочность их сцепления с основанием	39
Прочность напыленных покрытий при растяжении	46
Прочность напыленных покрытий при сжатии	47
Твердость и износостойкость напыленных покрытий	47
Плотность напыленных покрытий	54
Электропроводность напыленных металлов	57
Удельная теплоемкость и теплопроводность напыленных металлов	57
Аппаратура для нанесения покрытий	59
Аппаратура для нанесения газопламенных покрытий	59
Аппаратура для нанесения покрытий газoeлектрическими способами напыления	79
Технологические процессы нанесения покрытий напылением	98
Предварительная подготовка деталей	98
Напыление покрытий	113
Применение напыленных покрытий	136
Металлизация при восстановлении и изготовлении деталей	136
Применение металлизации для защиты металлов от коррозии	157
Применение металлизации для получения антифрикционных покрытий	185
Применение металлизации для нанесения покрытий на неметаллические материалы	189
Литература	197