**Применение технологии диффузионной металлизации из среды легкоплавких жидкометаллических растворов**

Контактное лицо: Шашерина Светлана Александровна

E-mail: [svetlana111@inbox.ru](mailto:svetlana111@inbox.ru)

Тел. +79184489766

Соколов Александр Григорьевич

E-mail: [sag-51@bk.ru](mailto:sag-51@bk.ru)

Тел. +79094499871

## Научно-производственная фирма ООО «Биметалл Плюс» предлагает услуги по диффузионной металлизации (поверхностному легированию) и термической обработке в инертной среде деталей и инструмента, изготовленных из сталей, твердых сплавов и чугунов. Диффузионная металлизация, приводящая к образованию на поверхности изделий диффузионных покрытий, обеспечивает повышение работоспособности (прочности, надежности и долговечности) деталей машин в парах трения, снижение потерь на трение, защиту от агрессивного, коррозионного воздействия рабочей среды и контактируемых материалов. Диффузионная металлизация стального и твердосплавного режущего и штампового инструмента обеспечивает повышение его стойкости, качества и производительности процесса обработки.

Нанесение покрытий осуществляется по разработанной технологии – диффузионной металлизации из среды легкоплавких жидкометаллических растворов. Достоинствами данной технологии, по сравнению с другими методами металлизации, являются, прежде всего:

- простота как технологических операций, так и технологического оборудования;

- возможность формирования на поверхности изделий как однокомпонентных, так и многокомпонентных покрытий;

- за счет изменения режимов металлизации управлять составом, структурой и свойствами покрытий;

- возможность наносить покрытия на тонкостенные изделия самой сложной конфигурации;

- возможность совмещать металлизацию с Т.О, что позволяет сократить как длительность технологического процесса, так и материальные и энергетические затраты.

- данная технология может быть применена практически для всех конструкционных, инструментальных сталей, сталей с особыми физико-химическими свойствами, а также и для твердых сплавов типа ВК, ТК, ТТК.

## Предлагаемые услуги

1. ***Нанесение покрытия на базе титана и карбида титана***

В результате диффузионного титанирования возможно получение 3-х типов диффузионных покрытий. 1-й тип покрытий формируется на базе соединений титана и железа, данные покрытия обладают высокой коррозионной стойкостью в среде электролитов. 2-й тип покрытий содержит карбид титана и титановую связку, такие покрытия имеют высокую твердость (микротвердость от 17000 до 23000 МПа) и, соответственно, механическую и коррозионно-механическую износостойкость при отсутствии хрупкости. 3-й тип покрытий состоит из карбида титана их микротвердость достигает 30000МПа. Данные покрытия могут использоваться для повышения работоспособности как деталей машин, так и инструмента. Так, износостойкость стального режущего инструмента, в зависимости от обрабатываемого материала, повышается от 3 до 12 раз. Особенно эффективен данный вид покрытий для неперетачиваемого или частично перетачиваемого инструмента.

Титановые покрытия являются и хорошей защитой инструмента от коррозионного воздействия рабочей среды, в частности, паров кислот, выделяющихся при вулканизации резин. Так, период стойкости пресс-форм с титановыми покрытиями, по сравнению с хромированными, увеличился в 2,5 раза.

1. ***Нанесение никель-медных покрытий***

Никель-медные покрытия придают поверхностным слоям изделий износостойкость, при этом наблюдается значительное, более чем в 2 раза, снижение коэффициента сухого трения, повышается теплопроводность, коррозионная стойкость, стойкость к коррозионному растрескиванию и другие свойства. Вследствие этого никель-медные покрытия обеспечивают стальным изделиям рост работоспособности в условиях износа и воздействия агрессивной рабочей среды (скорость коррозии снижается в 100 раз, стойкость к сероводородному растрескиванию увеличивается в 30-35 раз, снижается скорость роста трещины в 1,5 раза, увеличивается вязкость разрушения на 5-15 %, снижается адгезионное схватывание между инструментом и обрабатываемым материалом, в 8-12 раз увеличивается теплоотвод, характеристики прочности возрастают на 5-10 % и т.д.). Никель-медные покрытия повышают стойкость материала пресс-форм к образованию трещин разгара.

При нанесении никель-медных покрытий на режущий инструмент из инструментальной стали повышается стойкость инструмента, увеличиваются производительность процесса резания и чистота обработки. Никель-медные покрытия снижают температуру в зоне резания более чем на 200о С.

Нанесение никель-медных покрытий на твердосплавные пластины типа ВК, ТК, ТТК способствует снижению их хрупкости, обеспечивает значительное увеличение качества обработки изделий при резании (исключение наростообразования на резцах), улучшает паяемость и увеличивает прочность паяных соединений твердосплавной пластины со стержнем резца.

Уникальность никель-медных покрытий заключается в том, что, несмотря на исходно низкую твердость, они обладают высокой стойкостью к износу, которая возникает вследствие интенсивного деформационного упрочнения покрытия, протекающего в процессе эксплуатации изделия, избирательного переноса атомов меди в зону контакта и восстановления разрушенных микрообъёмов в результате трибоокислительных процессов (реализации эффекта безызносности).

3. *Никель-хромовые покрытия*

Никель-хромовые покрытия, так же как никель-медные покрытия, повышают вязкость поверхностных слоев изделий, коррозионную стойкость в среде электролитов и расплавах металлов, стойкость к эрозионному разрушению от воздействия потоков металлических расплавов, жаростойкость, стойкость к коррозионному растрескиванию. Никель-хромовые покрытия наиболее эффективны для повышения стойкости пресс-форм для литья под давлением. Так, стойкость пресс-форм, применяемых для литья под давлением алюминиевых сплавов, по сравнению с непокрытыми пресс-формами, повышается более чем в 4 раза.

## 2. Потенциальные потребители

Потенциальными потребителями продукции проекта могут стать предприятия различных отраслей промышленности.

* *Машиностроение, инструментальная промышленность*

Для повышения стойкости режущего, штампового инструмента, пресс-форм для литья под давлением, а так же улучшения качества обрабатываемого изделия. Например:

1. Резец – двухкомпонентное диффузионное покрытие снижает температуру на режущей кромке резца на 200-250о С, увеличивает период стойкости режущего инструмента в 3-4 раза, уменьшает шероховатость обрабатываемой поверхности в 3-4 раза за счет исключения наростообразования на резце. Твердосплавные пластины RNUM-250600, изготовленные из сплава Т15К6, с диффузионным никель-медным покрытием.

Проведение сравнительных испытаний показало, что пластины с никель-медным диффузионным покрытием при чистовой обработке железнодорожных колес, изготовленных из стали 65Г, обеспечивает повышение стойкости режущих пластин в 2,1 раза. При этом параметр шероховатости обработанной покрытием поверхности Ra снижается в 1,76 раза. (Акт ООО «СП Седин-Шисс», г. Краснодар, от 26 сентября 2011 г.)

Проведение сравнительных испытаний показало, что пилки с диффузионным титановым покрытие м из стали 50ХФА имеют значительное увеличение длины пропила по шиферу в 2,5-3 раза и стеклотекстолиту в 2 раза по сравнению с пилками без покрытия из стали 50ХФА. (Акт завода «РЕБИР» от 19 марта 1993 г.)

В результате проведения сравнительных стендовых испытаний ручных ножовочных полотен установлено, что полотна с титановыми диффузионными покрытиями обладают большей стойкостью даже по сравнению с полотнами, изготовленными из быстрорежущих сталей. После 10 пропилов потеря производительности процесса распиловки при применении полотен с титановыми диффузионными покрытиями снизилась на 32%, полотен фирмы «Сандвик» на 72%, Французских полотен на 151%, полотен из стали Х6ВФ на 184%. Полотна из стали У10 полностью потеряли режущие свойства после 5 резов (Акт ООО «Балтийский метизноинструментальный завод», г. Санкт-Петербург, от 16 июня 2002 г.

2) Пресс-форма для литья под давлением - применение данной технологии приводит к повышению стойкости материала пресс-форм к трещинам разгара, увеличивается стойкость к эрозионному изнашиванию пресс-формы, исключается налипание литейного сплава на рабочие поверхности пресс-форм. Количество запрессовок увеличивается в 4 раза.

Проведены сравнительные испытания по оценке стойкости пресс-форм для вулканизации резиновых изделий из СКФ резин. Доказано, что после хромирования период стойкости пресс-форм до переполировки составил 300 запрессовок, пресс-форм с диффузионным титановым покрытием до переполировки 760 запрессовок. Увеличение периода стойкости пресс-форм с титановым покрытием по сравнению с хромированными составило 2,5 раза. После 560 запрессовок на внутренней формообразующей поверхности хромированной пресс-формы произошло отслаивание покрытия, что привело к полному выходу пресс-формы из строя. Пресс-формы с титановыми покрытиями выдержали без растрескивания 2530 запрессовок. (Акт ООО «Балтийский метизноинструментальный завод», г. Санкт-Петербург, от 16 июня 2002 г.)

Проведены сравнительные испытания по оценке стойкости пресс-форм, применяемых для получения отливок из сплава АЛ6 (алюминий, 4,5 – 6,0% кремний, 2-3% медь) предназначенных для получения отливок корпусов бензонасосов автомобиля «Волга» изготовленных из стали 4Х5МФ. Доказано, что диффузионные никель - хромовые покрытия обеспечивают повышение стойкости материала пресс-форм к трещинам разгара в 4,7 раза. Помимо этого никель - хромовые покрытия обеспечивают пресс-формам высокую стойкость к эрозионному изнашиванию и исключают налипание литейного сплава на пресс-форму. (Акт ООО «Балтийский метизноинструментальный завод», г. Санкт-Петербург, от 20 марта 2003 г.)

В частности:

1. Диффузионные титановые покрытия, наносимые на неперетачиваемый или частично перетачиваемый режущий инструмент, обеспечивают повышение периода его стойкости, в зависимости от свойств обрабатываемого материала, от 2,5 до 10 раз, при этом одновременно возрастает производительность процесса обработки и ее качество. Наибольший эффект от диффузионного титанирования достигается при обработке сплавов и материалов, содержащих твердые фазы – дисперсионно упрочненные материалы, сплавы, слоистые и волокнистые стеклопластики.
2. Высокая коррозионная стойкость диффузионных титановых покрытий обеспечивает повышение периода стойкости пресс-форм, применяемых для вулканизации фторкаучуков, по сравнению с хромированием в 2,5 раза.
3. Никель-хромовые покрытия обеспечивают повышение стойкости материала пресс-форм к эрозионному изнашиванию.
4. Нанесение никель-медных покрытий на режущий инструмент за счет высокой теплопроводности данного покрытия обеспечивает снижение температуры режущей кромки инструмента вследствие отвода тепла от нее. Это повышает стойкость инструмента, исключает или уменьшает налипание обрабатываемого материала на инструмент (адгезионное схватывание) и позволяет форсировать режимы резания, т.е. повысить производительность процесса обработки. Помимо этого, никель-медные покрытия обладают меньшим химическим сродством с обрабатываемыми материалами, например, со сталью, что также уменьшает вероятность наростообразования на инструменте. Отсюда следует, что наибольший эффект никель-медные покрытия дают при их нанесении на режущий инструмент, применяемый при механической обработке мягких материалов – малоуглеродистая, аустенитная сталь, алюминиевые, титановые сплавы, т.е. там, где наблюдается интенсивный нагрев инструмента и адгезионное схватывание его с обрабатываемым материалом.

Кроме того, высокая вязкость никель-медных покрытий, снижающая склонность инструментальной стали к хрупкому разрушению, положительно сказывается на работоспособности инструмента, испытывающего ударные нагрузки, за счет прерывистого резания. Поэтому никель-медные покрытия наиболее эффективны при нанесении их на фрезы (прерывистое резание), являющиеся частично перетачиваемым инструментом.

* *Нефтедобывающая и нефтеперерабатывающая промышленность*

Для обработки деталей и инструмента с целью упрочнения, а также защиты его от коррозионного растрескивания в сероводородсодержащих средах. В результате обработки работоспособность изделий и инструментов увеличивается в 5 и более раз, как следствие, снижается аварийность работ, повышается их производительность и т.д.

Например, для роликовых ножей, применяемых для перфорации (разрезания) труб скважин, диффузионное покрытие повышает производительность процесса резания в 4-7 раза, режимы нагружения в 3 раза, стойкость (длительность эксплуатации) увеличивается более чем в 4-7 раз. Для данного инструмента эффективно использовать двухкомпонентные никельсодержащие покрытия системы никель-медь, никель-хром. При этом, для режущего инструмента, испытывающего высокие контактные напряжения, а также воздействие сероводородсодержащей среды, рационально использовать самоупрочняющие никель-медные покрытия.

Проведение сравнительных испытаний показали, что режущий накатной ролик с диффузионным никель-медным покрытием увеличивает производительность гидромеханических скважинных перфораторов типа ПГМЩ-146, повышает скорость резания и стойкость режущего инструмента в 2…3 раза, а так же выдерживает более жесткие режимы нагружения (до 30 т.), чем ролик стандартного исполнения (до 10 т.). (Акт ООО «Екатеринодар Бизнесс», г. Краснодар от 21 марта 2006 г. и акт ООО «Екатеринодар Бизнесс», г. Краснодар от 16 мая 2006 г.)

Для изделий, которые испытывают воздействие агрессивной среды и значительные механические нагрузки, для защиты их от коррозионного растрескивания эффективно использовать покрытия системы никель-хром.

В случае присутствия абразивного износа, например, для форсунок, применяемых для размыва скважин, а также для элементов оборудования, работающих на трение, эффективным является покрытие на базе карбида титана.

* *Автомобильная промышленность и производство технологического оборудования*

Для повышения износостойкости пар трения, устранения вероятности схватывания поверхностей при сухом трении, снижения коэффициента трения. Например, главная пара редуктора дифференциала. Обработка обеспечивает повышение стойкости пары, снижает энергетические потери, то есть повышает КПД, уменьшаются шумы в передаче, исключается вероятность адгезионного схватывания при сухом трении, уменьшается риск аварийного разрушения главной пары, так же исключается разрушение от действия контактных напряжений, что позволяет увеличить нагруженность пары. Это относится и к другим зубчатым передачам и другим парам трения.

В настоящее время проводятся исследования покрытий на базе карбида титана на чугуны, что позволит применять данную технологию для повышения износостойкости цилиндров и поршневых колец, а также износостойкость пар трения в кулачковом приводе клапанов. Имеющиеся результаты показывают перспективность использования данного вида покрытия в перечисленных узлах и парах трения. Покрытия на базе карбида титана, нанесенные на цилиндры и поршневые кольца, исключают не только механический износ этих пар трения, но и их коррозионное разрушение.

* *Медицина, Сельское хозяйство, Пищевая промышленность, Легкая промышленность, Химическая промышленность, Энергетика, Авиакосмический комплекс, Судостроение, ВПК и др.*

## 3. Описание технологии

Технологический процесс диффузионной металлизации из среды легкоплавких жидкометаллических растворов основан на явлении селективного переноса элементов покрытия, растворенных в легкоплавком расплаве, на поверхность изделия с последующим диффузионным взаимодействием элементов покрытия с основным материалом изделия. Легкоплавкий расплав в данной технологии выполняет функцию промежуточной транспортной среды и сам не диффундирует в объем насыщаемого металла.

Технология нанесения покрытий проста и заключается в изотермической выдержке изделия в среде легкоплавкого растворов металлов, образующих на изделиях диффузионное покрытие.

Для проведения процесса диффузионной металлизации в среде легкоплавких жидкометаллических растворов нами разработана технологическая линия, которая позволяет минимизировать длительность технологического процесса, его материало и энергозатратность.

Технологическая линия включает установку для проведения диффузионной металлизации и термической обработки покрываемого материала и установку для очистки покрытых изделий от следов технологической среды, в которой одновременно осуществляется окончательная термическая обработка материала изделия и сбор технологической среды (транспортного расплава) для его повторного использования.

## 

## 4. Сравнительный анализ с другими видами покрытий

Аналогами предлагаемого метода являются технологии обеспечивающие получение покрытий методами осаждения из паров, осаждением из плазмы, магнетронным распылением, осаждением на подложку из коллоидных растворов, химическим и физическим осаждением и др.

В целом, недостатками данных технологий являются:

* сложность их реализации;
* невозможность совмещения их с термической обработкой, что удлиняет технологический цикл, а так же предъявляет дополнительные требования к составу упрочняемых сталей, что, соответственно, ограничивает область применения данных технологий;
* невысокая совместимость покрытия с материалом покрываемого изделия;
* невозможность использования других технологий формирования покрытий для последующего их наноструктурирования, так как интенсивное пластическое деформирование покрытия может осуществляться только на диффузионные покрытия, в связи с тем, что все остальные методы нанесения металлических покрытий имеют адгезионное схватывание между покрытием и покрываемым материалом и при поверхностном упрочнении будет наблюдаться отслаивание покрытия.

Остановимся подробнее на особенностях отдельных способов покрытий.

I. Методы химического осаждения покрытий ( CVD)

Покрытия, полученные данными методами, могут быть сформированы на базе карбидов, нитридов, боридов тугоплавких металлов, обладающих очень высокой твердостью. Такие покрытия могут быть однослойными, многослойными, а также содержать переходные слои для лучшей совместимости их с основным материалом инструмента и металлического изделия.

В основе методов химического осаждения покрытий лежат гетерогенные химические реакции в парогазовой среде, окружающей инструмент или металлическое изделие, в результате которых образуются покрытия. Исходными продуктами служат газообразные галогениды, при взаимодействии которых с другими составляющими смесей (водородом, аммиаком, окисью углерода и т.д.) образуются покрытия на базе карбидов, нитридов и оксидов. С помощью данной технологии можно получать на поверхности инструмента или металлического изделия покрытия систем: TiC, TiN, TiCN, TiC – TiCN – TiN, Al2O3, TiC – Al2O3, WC и т.п., обладающие высокой твердостью и износостойкостью.

II. Метод физического осаждения покрытий ( PVD)

Методы физического осаждения покрытий основаны на испарении вещества в вакуумное пространство камеры с подачей реакционного газа. Среди методов физического осаждения покрытий наибольшее распространение получили:

* конденсация веществ из плазменной фазы в вакууме с ионной бомбардировкой (метод КИБ) и его разновидность Jon Bond;
* магнитронно-ионное распыление (метод МИР) и его разновидность – магнитронно-ионное реактивное распыление МИРР;
* ионное плакирование и его разновидность (метод АRE).

Широкие возможности варьирования температуры в зонах нанесения покрытий позволяют использовать методы ФОП в качестве универсальных для нанесения покрытий на режущий инструмент и металлические изделия. Методы ФОП универсальны также и с точки зрения получения гаммы монослойных, многослойных и композиционных покрытий на основе нитридов, карбидов, карбонитридов, оксидов, боридов тугоплавких металлов.

*Недостатки методов ХОП и ФОП*

1. Большая зависимость процесса получения покрытий от конфигурации изделия,
2. Высокая хрупкость покрытий, требующая очень высокой твердости материала основы, вследствие чего данные покрытия наиболее эффективны для повышения износостойкости режущего инструмента, изготовленного из твердых сплавов. Хрупкость покрытий также ограничивает их применение при действии на инструмент или металлическое изделие динамических нагрузок.
3. Низкая теплопроводность, что повышает температуру в зоне резания или в зоне трения пар деталей.
4. Дорогостоящее и технически сложное оборудование.

III. Химико-термическое осаждение покрытий (ХТО)

ХТО заключается в сочетании термического и химического воздействия на инструмент и металлические изделия с целью такого изменения состава, структуры и свойств поверхностного слоя, которое позволяет существенно повысить стойкость этих инструментов в эксплуатации. При ХТО инструментов и металлических изделий происходит поверхностное насыщение стали тем или иным элементом путем его диффузии в атомарном состоянии из внешней газовой, твердой или жидкой сред.

Можно выделить 2 типа нанесения ХТО:

* Насыщение неметаллическими элементами внедрения;
* Диффузионная металлизация.

Оба типа методов могут также реализовываться в атомарном состоянии из внешней газовой, твердой или жидкой сред.

Насыщение неметаллическими элементами внедрения

Наиболее распространенными технологиями насыщения неметалическими элементами внедрения являются азотирование, цианирование и нитроцементация. На поверхности инструмента в результате этих обработок создается слой высокой твердости (до 70-71 HRC), высокой износостойкости и теплостойкости, а возникающие в поверхностных слоях в результате насыщения сжимающие напряжения способствуют повышению предела выносливости материала инструмента. Насыщение поверхностных слоев инструмента элементами внедрения также обеспечивает повышение стойкости материала инструмента к адгезионному взаимодействию его с обрабатываемым материалом.

Низкотемпературное цианирование проводится в расплаве цианистых солей натрия и калия при температурах 550 -580о С. Твердость поверхностного слоя составляет 1000-1100 HV (69-70 HRC). Цианированный слой способствует повышению теплостойкости, износостойкости инструмента. Он обеспечивает инструменту и металлическим изделиям большую стойкость к адгезионному схватыванию, более низкий коэффициент трения. Например, цианирование пресс-форм для литья под давлением повышает их стойкость вследствие снижения их растворимости в жидком силумине. Предел выносливости повышается примерно на 10%.

При азотировании теплостойких и полутеплостойких инструментальных сталей образуются сложные нитриды вольфрама и хрома (W, Fe)2N, (Cr, Fe)2N и карбонитридные фазы М23(С, N)6, М3(С, N), что обеспечивает высокую твердость поверхностных слоев азотированных сталей. Так, твердость поверхностных слоев азотированных быстрорежущих сталей достигает 1300-1400 HV, что обеспечивает им высокую износостойкость.

*Недостатки методов азотирования и низкотемпературного цианирования*

1. Повышенная хрупкость
2. Низкая теплопроводность насыщенных слоев.

Повышенная хрупкость поверхностных слоев инструмента и металлических изделий вызывает охрупчивание в целом, что ограничивает применение данных способов ХТО для инструментов и деталей, испытывающих динамические нагрузки. Высокая хрупкость азотированных и нитроцементированных слоев также снижает эффективность применения азотирования и нитроцементации для упрочнения штампов для горячего деформирования и пресс-форм для литья под давлением, что связано с увеличением или, в лучшем случае, нечувствительностью материала этих инструментов к образованию трещин разгара.

Для повышения стойкости инструмента, изготовленного из инструментальных сталей, возможно применение цементации и высокотемпературной нитроцементации. Данные технологии основаны на насыщении поверхности инструмента углеродом или углеродом и азотом при температурах 850-950о С. Более высокие температуры насыщения, чем при азотировании и цианировании, способствуют увеличению содержания в диффузионно-насыщенных слоях карбидных и карбидно-нитридных соединений, вследствие чего происходит повышение износостойкости поверхностных слоев инструмента.

Цементация и высокотемпературная нитроцементация меньше повышают твердость инструмента и металлических изделий, чем азотирование и цианирование, не изменяют его теплостойкость, но создают упрочненный слой большей толщины, что позволяет применять данные виды упрочнения для инструмента и деталей, испытывающих повышенные контактные напряжения. Данные способы упрочнения рационально применять только лишь для штампов холодного деформирования простой формы.

Таким образом, насыщение в процессе проведения химико-термических обработок поверхностных слоев инструмента и металлических изделий неметаллами обеспечивает получение на поверхности твердых износостойких слоев. Однако одновременно с повышением износостойкости наблюдается повышение хрупкости этих слоев, что ограничивает применение данных технологий для повышения стойкости инструмента и металлических изделий, испытывающего динамические нагрузки, циклические нагрузки и термоциклирование, а также их использование для повышения стойкости сложного по форме инструмента и металлического изделия.

Диффузионная металлизация

В настоящее время используются следующие методы металлизации, аналогичные предлагаемому в рамках проекта:

1. Метод диффузионной металлизации в твердой фазе
2. Диффузионная металлизация парофазным методом.
3. Диффузионная металлизация из газовой фазы.
4. Диффузионная металлизация из жидкой фазы.

*Описание недостатков и преимуществ диффузионной металлизации разными методами*

Метод диффузионной металлизации в твердой фазе

При данном методе насыщаемое изделие непосредственно контактирует с диффундирующим элементом, находящимся в твердой фазе. В качестве твердой фазы обычно применяют измельченные металлы или ферросплавы в виде порошка, кусочков и паст. Для устранения спекания и налипания на поверхности изделия частиц диффундирующих элементов в ряде случаев применяют инертные наполнители: окиси алюминия, цинка, шамот, кварцевый песок и др.

Основной недостаток данного метода – приваривание частиц к обрабатываемой поверхности – в ряде случаев можно устранить применением насыщения из компактных слоев, предварительно нанесенных на поверхность напылением или осаждением. Используются низкотемпературное плазменное напыление и гальваническое осаждение.

Диффузионная металлизация парофазным методом

При данном методе перенос диффундирующего элемента осуществляется паровой фазой, образующейся при нагревании металла, содержащего этот элемент. Пары насыщающего элемента адсорбируются на поверхности металла изделия, нагретого до высокой температуры. В результате их взаимодействия образуются химические связи между атомами диффундирующего (насыщающего) элемента и насыщаемого металла. Активация поверхности изделия происходит за счет нагревания (как правило, в вакууме), сублимации поверхностных пленок или предварительного пропускания газа - восстановителя через реакционное пространство.

К недостаткам парофазного метода насыщения, который, как правило, проводится в вакууме, следует отнести его технологическую сложность; необходимость специального оборудования и высоких температур в зоне испарения; большую потерю диффундирующего элемента при испарении.

Диффузионная металлизация из газовой фазы

Метод насыщения из газовой фазы основан на взаимодействии газовой фазы, которая содержит диффундирующий элемент, с поверхностью насыщаемого металла изделия. Это взаимодействие сопровождается химическими реакциями, протекающими как на границе раздела металл – газовая фаза, так и в объеме самой газовой фазы. При этом возможны различные технологические варианты, а именно:

* + реакция взаимодействия газовой фазы, содержащий элемент в виде химического соединения (галогениды металлов: хрома, железа и др.), с поверхностью обрабатываемого металла. В результате этого происходит восстановление и хемосорбция диффундирующего элемента;
  + диффундирующий элемент восстанавливается из газообразного химического соединения и адсорбируется на поверхности обрабатываемого изделия за счет газа восстановителя;
  + диффундирующий элемент адсорбируется на поверхности изделия в атомарном виде за счет термического разложения галогенных соединений.

К недостаткам метода относятся значительный расход насыщающего элемента и реакционных компонентов, технологическая трудность при получении покрытий из ряда металлов, повышенные требования по обеспечению техники безопасности в проведении процесса и др.

Диффузионная металлизация из жидкой фазы

При данном методе насыщения диффундирующий элемент может находиться:

* в расплавленном состоянии – при нанесении покрытия более легкоплавкими металлами (Al, Zn, Pb, Cu, Cd, Sn);
* в химических соединениях – расплавы солей насыщающих металлов в смеси с другими солями;
* в свободном состоянии – в расплавах солей;
* в растворе других, более легкоплавких металлов, которые не могут проникать в твёрдую фазу обрабатываемого материала путём диффузии (Li, Na, Rb, Ca, Si, Pb и т.д.) – мы применяем этот метод, который называется диффузионной металлизацией из среды легкоплавких жидкометаллических растворов.

Преимущества метода диффузионной металлизации из среды легкоплавких жидкометаллических растворов приведены в пункте 5.

В связи широким спектром условий, влияющих на конечные свойства диффузионных покрытий, достаточно сложно провести количественное сравнение характеристик диффузионных покрытий с другими покрытиями. Тем не менее, ниже приведено сравнение различных способов нанесения покрытий, основанное на анализе качественных показателей:

*Таблица №1 - Бальная оценка эффективности методов и способов получения покрытий*

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | возможности управления процессом | | | | | качественные показатели | | | | | технологические параметры | | | | стоимостные параметры | | | | сумма баллов |
| Методы | составом | толщиной | | структура | | пористость | равномерность по толщине | | сцепление с основным материалом | | конфигурация изделия | | массовость производства | | кап. вложения | потери исходных материалов | | |  |
| Химико-термический |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Насыщение неметаллическими элементами внедрения (цианирование, азотирование, нитроцементация) | 3 | 3 | | 2 | 2 | | | 2 | | 3 | | 1 | | 2 | 2 | | 2 | 22 | |
| Диффузионная металлизация из среды легкоплавких жидкомет. растворов | 3 | 3 | | 3 | 3 | | | 3 | | 3 | | 3 | | 3 | 2 | | 3 | 29 | |
| Метод химического осаждения (CVD) |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| из растворов | 1 | 1 | 1 | | 2 | | | 2 | | 1 | | 3 | | 3 | 2 | | 2 | 18 | |
| из газовой фазы | 3 | 1 | 1 | | 2 | | | 1 | | 2 | | 1 | | 2 | 2 | | 2 | 17 | |
| Методы физического осаждения (PVD) | 3 | 2 | 2 | | 3 | | | 1 | | 3 | | 1 | | 1 | 1 | | 2 | 19 | |

Примечание: 1 - низкие, 2 – средние, 3 – высокие показатели.

## 

## 5. Конкурентные преимущества продукции

Помимо основных преимуществ метода диффузионной металлизации из среды легкоплавких жидкометаллических растворов, представленных в таблице №1 пункт 4, можно выделить ряд конкурентных преимуществ метода, действительных относительно большинства других методов нанесения покрытий:

*Основные преимущества метода по сравнению с аналогами:*

1. Формирование покрытий за счет диффузии элементов вглубь покрываемого материала, позволяет получать на поверхности сплавы, имеющие высокую коррозионную стойкость, жаростойкость и высокие механические свойства.
2. Возможность получения покрытий из металлических элементов, имеющих высокую температуру плавления

В данной технологии насыщающий элемент находится в растворенном, а не в расплавленном состоянии, что позволяет получать покрытия, состоящие из металлических элементов, имеющие высокую температуру плавления, значительно превышающую температуру плавления сталей, на которые наносится данное покрытие (например, титаном - температура 16680 С, молибденом и др.) При диффузионном легировании из среды легкоплавких жидкометаллических растворов диффундирующий элемент не доводится до температуры плавления и находится в растворенном состоянии в легкоплавком расплаве, выполняющем функцию доставки диффундирующего элемента покрытия к поверхности изделия. Температуры плавления этих растворов лежат в пределах от 115 до 3200 С,

1. Изменение режимов диффузионной металлизации позволяет в широких пределах менять состав и свойства получаемых покрытий. Существует возможность формирования на поверхности изделий как однокомпонентных, так и многокомпонентных покрытий.

Например, при нанесении титановых покрытий можно получить вязкие, мягкие покрытия, а можно получить покрытия обладающие твердостью до 30000 МПа, которые обладают очень высокой твердостью, износостойкостью, инструментом с этими покрытиями можно обрабатывать изделия из твердого сплава. Разработанные нами многокомпонентные покрытия обеспечивают получение на поверхности изделий слоев сложного состава, что позволяет добиться уникальных свойств, таких как повышение вязкости в поверхностных слоях металла при одновременной высокой их износостойкости и низким коэффициентом трения. Разработанное нами никель-медное покрытие обеспечивает снижение температуры в зоне резания при обработке, а также отсутствие схватывания материала инструмента с обрабатываемым материалом, эти покрытия обеспечивают коррозионную защиту деталей и инструмента в агрессивных сероводородсодержащих средах. Разработанное нами никель–хромовое покрытие обладают высокой эрозионной стойкостью. Повышают разгаростойкость, жаростойкость материала, а также стойкость к коррозионному растрескиванию. Получаемые сложнолегированные поверхностные слои невозможно получить другими методами, особенно на изделиях сложной конфигурации.

1. Высокая совместимость наносимых покрытий с основным материалом, в связи с тем, что они формируются за счет диффузионных процессов, а не просто осаждением.
2. Минимальный расход материалов

При использовании данной технологии, диффундирующие элементы расходуются в минимальных объемах и исключительно на процесс формирования покрытий на изделие, то есть потери элементов отсутствуют. Кроме того, транспортный расплав может использоваться в технологическом процессе многократно.

1. Стабильность получаемых результатов.
2. Возможность наносить покрытия на изделия любой конфигурации.
3. Минимальная длительность технологического процесса

Возможность совмещать металлизацию с термической обработкой изделий позволяет сократить, как длительность технологического процесса, так и материальные и энергетические затраты.

1. Экологичность процесса

Металлизация проводится в вакуумно-герметичном оборудовании, что исключает контакт обслуживающего персонала с парами свинца и других металлов, выделяющимися в процессе металлизации.