

## **Лекция 9. Электрофизические методы нанесения покрытий.**

### **Физические процессы при электроискровом легировании**

Развитие современной техники и машиностроения связано с постоянным повышением требований к эксплуатационным характеристикам материалов. Детали машин работают в условиях интенсивного трения, высоких нагрузок, повышенных температур и воздействия агрессивных сред. В связи с этим особое значение приобретают методы модификации поверхностных слоёв материалов, позволяющие значительно повысить их износостойкость, твёрдость и коррозионную стойкость.

Среди различных способов изменения свойств поверхностного слоя выделяют несколько основных направлений: механические, химические, электрохимические и электрофизические методы. Каждый из этих методов основан на определённых физических или химических процессах и применяется в зависимости от требуемых эксплуатационных характеристик изделий.

Механические методы основаны на физическом воздействии на поверхностный слой материала, например путём пластической деформации или нанесения механических покрытий. Химические методы предполагают изменение состава поверхностного слоя в результате химических реакций. Электрохимические методы связаны с осаждением металлов при прохождении электрического тока через электролит.

Особое место среди перечисленных методов занимают электрофизические методы, которые основаны на использовании электрической энергии высокой плотности. В этих методах воздействие на поверхность осуществляется при помощи электрических разрядов, импульсных токов или высокоэнергетических потоков частиц. Такие процессы сопровождаются локальными тепловыми эффектами и высокими давлениями, что позволяет изменять структуру и свойства поверхностного слоя материала.

Одним из наиболее эффективных методов данной группы является электроискровое легирование. Этот метод широко применяется для упрочнения поверхностей металлических деталей и позволяет получать покрытия с высокой твёрдостью, износостойкостью и прочным сцеплением с основным металлом.

Для более полного понимания особенностей электроискрового легирования необходимо рассмотреть основные виды электрофизических методов обработки поверхности. К таким методам относятся электроискровое легирование, электродуговое упрочнение, плазменное напыление и электронно-лучевая обработка.

Электроискровое легирование является наиболее распространённым методом данной группы. В основе этого процесса лежит перенос материала электрода на поверхность обрабатываемой детали посредством искрового электрического разряда.

Электродуговое упрочнение основано на воздействии электрической дуги на поверхностный слой металла. При этом происходит локальное плавление материала, что приводит к изменению структуры поверхностного слоя и повышению его твёрдости.

Плазменное напыление представляет собой метод нанесения покрытий с использованием высокотемпературной плазменной струи. Частицы порошкового материала расплавляются в плазменной струе и осаждаются на поверхность детали, формируя защитный слой.

Электронно-лучевые методы основаны на воздействии на поверхность металла сфокусированного пучка электронов. Высокая энергия электронного пучка вызывает локальный нагрев материала, что приводит к изменению структуры поверхностного слоя.

После рассмотрения основных электрофизических методов необходимо более подробно остановиться на принципе электроискрового легирования.

Электроискровое легирование представляет собой процесс поверхностного упрочнения металлов, основанный на использовании искрового электрического разряда между электродом и обрабатываемой поверхностью детали. В процессе разряда происходит эрозионное разрушение материала электрода, частицы которого переносятся на поверхность детали и формируют легированный слой.

В данной системе электрод выполняет функцию анода и служит источником легирующего материала. Под действием электрического разряда его поверхность частично разрушается, и мельчайшие частицы материала выбрасываются в межэлектродный промежуток.

Эти частицы затем переносятся на поверхность обрабатываемой детали, которая играет роль катода. При контакте с поверхностью детали частицы закрепляются на ней, формируя тонкий легированный слой.

В результате многократного повторения импульсных разрядов происходит постепенное наращивание упрочнённого слоя. Этот слой обладает значительно более высокими эксплуатационными характеристиками по сравнению с основным металлом.

Механизм электроискрового легирования является сложным и включает несколько взаимосвязанных физических процессов. Одним из первых процессов является электрическая эрозия. В момент возникновения искрового разряда происходит локальное разрушение поверхности электрода. Частицы материала выбрасываются в межэлектродное пространство и становятся источником легирующего материала.

Одновременно с этим происходит тепловое воздействие на поверхность металла. Искровой разряд сопровождается кратковременным, но очень интенсивным нагревом зоны контакта. Температура в этой зоне может достигать нескольких тысяч градусов, что приводит к плавлению и частичному испарению материала.

Следующим этапом является контактный перенос материала. Расплавленные частицы электрода переносятся на поверхность детали и закрепляются на ней. При этом происходит быстрое охлаждение материала, что приводит к формированию мелкокристаллической структуры.

Важную роль играют также термохимические процессы. При высоких температурах и в присутствии активных элементов могут происходить химические реакции, в результате которых образуются новые соединения. Среди таких соединений наиболее распространены карбиды, нитриды и оксиды металлов.

Заключительной стадией процесса является формирование структуры покрытия. Импульсный характер воздействия приводит к интенсивному измельчению структуры металла. В результате образуются твёрдые растворы и новые фазы, обладающие высокой твёрдостью и износостойкостью.

Большое значение для эффективности электроискрового легирования имеет выбор материала электродов. Для получения покрытий с высокими эксплуатационными характеристиками используются электроды из различных материалов.

Наиболее распространёнными являются электроды из твёрдых сплавов, содержащих карбиды титана или вольфрама. Такие материалы обеспечивают формирование покрытий с высокой твёрдостью и устойчивостью к износу.

Кроме того, могут использоваться электроды из различных металлов и сплавов, например алюминия, конструкционных сталей или белого чугуна. В некоторых случаях применяются неметаллические материалы, например графит, который используется как источник углерода.

Структура упрочнённого слоя, формируемого при электроискровом легировании, имеет сложное строение и включает несколько зон. Верхний слой обычно называют «белым слоем». Он характеризуется высокой

твёрдостью и состоит из аустенита, мартенсита, нитридов железа и карбидов легирующих элементов.

Под белым слоем располагается диффузионный подслоя. В этой зоне наблюдается постепенный переход структуры упрочнённого слоя к структуре основного металла. Здесь могут присутствовать такие структуры, как мартенсит, троостит и сорбит.

Ниже располагается основной металл, структура которого остаётся практически неизменной. Общая толщина упрочнённого слоя при электроискровом легировании обычно составляет около 0,1 мм.

Метод электроискрового легирования нашёл широкое применение в различных областях машиностроения. Он используется для упрочнения деталей дорожных и строительных машин, а также для обработки элементов землеройной техники.

Кроме того, данный метод применяется для восстановления изношенных деталей и повышения износостойкости рабочих поверхностей. Особенно эффективно электроискровое легирование используется для обработки кулачков, направляющих, шпоночных пазов, шлицевых соединений, посадочных мест и различных скользящих сопряжений.

Метод электроискрового легирования обладает рядом значительных преимуществ. Одним из главных достоинств является высокая прочность сцепления покрытия с основным металлом. Благодаря локальному плавлению поверхности обеспечивается прочная металлургическая связь между слоями.

Кроме того, получаемые покрытия обладают высокой износостойкостью и жаростойкостью. Метод также позволяет выполнять локальное упрочнение отдельных участков деталей без необходимости обработки всей поверхности изделия.

Ещё одним преимуществом является отсутствие необходимости предварительного нагрева детали. Это позволяет избежать коробления и изменения геометрических размеров изделия.

Однако данный метод имеет и определённые недостатки. К ним относится сложность нанесения покрытий из некоторых материалов, которые невозможно использовать в качестве электродов. Кроме того, толщина упрочнённого слоя при электроискровом легировании обычно ограничена.

Для преодоления этих ограничений применяется комбинированный метод обработки, известный как термоискровое упрочнение. В этом случае слой, полученный методом электроискрового легирования, дополнительно обрабатывается электрической дугой.

В результате такого воздействия формируется дополнительный упрочнённый слой толщиной от 1,5 до 2 мм. Твёрдость получаемого слоя может достигать значений от HV 500 до HV 1000, что значительно повышает эксплуатационные характеристики детали.

Подводя итог рассмотренному материалу, следует отметить, что электрофизические методы нанесения покрытий являются важным направлением современной технологии обработки материалов. Среди них электроискровое легирование занимает особое место благодаря своей эффективности и широким технологическим возможностям.

Использование данного метода позволяет значительно повысить долговечность деталей машин, улучшить их износостойкость и обеспечить надёжную работу оборудования в сложных условиях эксплуатации. Благодаря этим преимуществам электроискровое легирование широко применяется в машиностроении и продолжает активно развиваться как перспективная технология упрочнения поверхностей.