

Методы поверхностного упрочнения стали 18 ХГТ

А. Е. Казанцева, С. С. Темлянцева

Омский государственный технический университет, г. Омск

Аннотация Рассмотрены аспекты упрочнения поверхностного слоя низкоуглеродистой стали для повышения поверхностной твердости, износостойкости.

Ключевые слова: упрочнение поверхностных слоев, твердость, износостойкость, ударная вязкость сердцевины, цементация, электроискровая обработка.

Современный этап развития техники предусматривает повышения надежности и долговечности деталей машин, приборов, установок, повышения их качества и эффективности работы, борьба с коррозией и износом деталей машин, а также экономии металлов. Решением этих задач, прежде всего, связано с упрочнением поверхностных слоев изделий.

Изменить свойства поверхности в необходимом направлении можно различными способами. Их условно разделяют на две группы: 1) изменение состава поверхностного слоя металла, обеспечивающего желаемых изменений свойств; 2) нанесение на упрочняемую поверхность покрытий, обеспечивающих возможность формирования в поверхностных слоях определенной структуры, фазового и химического состава, позволяющих улучшить их эксплуатационные свойства.

В первом случае поверхностные слои металла подвергают диффузионной химико-термической обработке (ХТО), в результате в которой в поверхностном слое изделия получается сплав практически любого состава и, следовательно, обеспечение необходимых комплексных свойств повышенную износостойкость, коррозионную стойкость и окалинотойкость поверхностных слоев. Для повышения поверхностной твердости и износостойкости в машиностроении применяют цементацию, азотирование, цианирование, хромирование. Для повышения коррозионной стойкости детали подвергают азотированию, хромированию и силицированию. Для повышения окалинотойкости детали подвергают алитированию, либо борированием или бериллизацией.

Во втором случае применяются методы поверхностного упрочнения с создание функциональных тонких покрытий (пленок) на обрабатываемых деталях. Формируемое на поверхности деталей покрытие, образуется за счет процессов (химических и диффузионных) между структурными элементами материала и парогазовых смесей, либо токопроводящей среды и электрического поля. Структура внутренних слоев материала детали остается неизменной. Покрытия могут формироваться при электролитическом осаждении

(электролитическое хромирование, электролитическое меднение, и др.) и напыление износостойких соединений (плазменное напыление порошковых материалов, детонационное напыление, электродуговое напыление, лазерное напыление). В качестве концентрированных потоков энергии (КПЗ) используются электронно-лучевая обработка, лазерные технологии, ионно-лучевая обработка, электроискровое легирование, ионная имплантация, вакуумно-плазменная, импульсно-плазменная обработка и др. Преимущество этих процессов неоспоримо, так как они позволяют формировать в приповерхностном объеме материала аморфные и нанокристаллические структуры, метастабильные фазы, которые в традиционных технологических процессах невозможно получить.

Существует большое количество деталей, для которых устанавливаются требования, возможно более высокая поверхностная прочность и износостойкость (работа на истирание) и достаточно высокая ударная вязкость. Для таких деталей целесообразно выбрать низкоуглеродистую сталь, повысить содержание углерода в поверхностных слоях, произвести упрочнение поверхностных слоев термической обработкой (закалкой и низким отпускком) и сохраним высокую ударную вязкость сердцевины, присущую низкоуглеродистой стали.

Для оценки влияния различных способов поверхностного упрочнения были выбраны образцы стали 18ХГТ. Изделия из этой стали эксплуатируются в условиях ударных нагрузок и трения. Поэтому поиск путей повышения поверхностной твердости и износостойкости данной стали, путем упрочнения поверхностного слоя является актуальной задачей.

Процесс поверхностного упрочнения низкоуглеродистой стали 18ХГТ путем высокотемпературного насыщения поверхностных слоев углеродом применяется в промышленности достаточно давно. Процесс состоит из трех элементарных стадий: в первой стадии осуществляется выделение диффундирующего углерода в атомарном состоянии благодаря реакциям, протекающим во внешней среде; во второй осуществляется контактирование атомов диффундирующего углерода с поверхностью стали 18ХГТ и проникновение (растворение) их в решетку железа (адсорбция); в третьей осуществляется диффузия атомов насыщающего углерода в глубь металла.

Концентрация углерода в поверхностном слое составляет 0,8–1,0%. При большем содержании углерода слой получается очень хрупким, образуется грубая цементитная сетка. Толщина цементированного слоя составляет около 0,15–2,0 мм. Насыщение поверхностного слоя углеродом производится в твердой среде (в твердом карбюризаторе) и в газообразной среде.

Насыщение поверхностного слоя углеродом производится в твердом карбюризаторе, изделия укладывают в ящик и засыпают древесным углем. При нагреве углерод древесного угля, соединяясь с кислородом воздуха, образует оксид углерода, который, в свою очередь, взаимодействуя с железом, дает атомарный углерод. Этот активный углерод поглощается аустенитом и

диффундирует вглубь изделия. Для ускорения процесса цементации к древесному углю (коксу) добавляют активизаторы: углекислый барий ($BaCO_3$) и кальцинированную соду (Na_2CO_3) в количестве 10–40% от массы угля [1].

Для газовой цементации в качестве карбюризатора используют природный газ, жидкие углеводороды или контролируемые атмосферы. При нагреве образуется атомарный углерод.

Цементацию проводят при 910–930 °С или для ускорения процесса при 1000–1050 °С. С повышением температуры уменьшается время достижения заданной глубины цементации.

После медленного охлаждения цементированный слой с переменной концентрацией углерода состоит из феррита и цементита и характеризуется гаммой структур, типичных для заэвтектоидной, эвтектоидной и доэвтектоидной стали (рис. 1).

После цементации требуемое упрочнение поверхностного слоя изделия достигается закалкой и низким отпуском. Закалка необходима для исправления структуры, измельчению зерна сердцевины и цементированного слоя, получения высокой твердости в цементированном слое и достаточно хорошие механические свойства сердцевины, устранения карбидной сетки в цементированном слое, которая возникает в результате насыщения углеродом у заэвтектоидной стали. В результате твердость поверхности находится в пределах HRC 58-62. Твердость сердцевины составляет HRC 20-40 [1]. Температурные и структурные напряжения, возникающие после закалки, в упрочняемом поверхностном слое образуют напряжения сжатия, и напряжения растяжения в сердцевине изделия. Возникающие остаточные напряжения вызывают деформации, которые снижают прочность изделия в условиях эксплуатации. Окончательная отделочная операция выполняется, для повышения геометрической точности деталей и точности взаимного расположения сопряженных поверхностей.

Электроискровое легирование (ЭИЛ) относится к технологиям упрочнения, основывающимся на взаимодействии материалов с высококонцентрированными потоками энергии и вещества. Образование упрочненного слоя происходит в результате сложных плазмохимических, теплофизических и механотермических процессов, реализуемых на микролокальных участках взаимодействия материала с единичным искровым разрядом [2].

Достоинством электроискрового легирования является низкая энергоемкость процесса, простота выполнения технологической операции, высокая прочность сцепления легированного слоя и материала основы, возможность нанесения на упрочняемую поверхность любых токопроводящих материалов (в том числе тугоплавких материалов и соединений) и экономно расходовать дорогостоящие электродные материалы. Электроискровое легирование, обладает широкими возможностями формирования в поверхностях определенной структуры, фазового и химического состава, позволяет улучшить их эксплуатационные свойства [2].

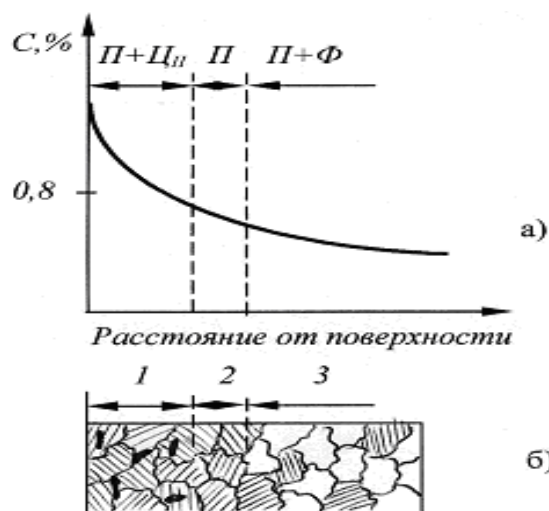


Рисунок 1 - Изменение концентрации углерода по глубине цементированного слоя (а) и схема микроструктуры незакаленного науглероженного слоя (б):

1 – заэвтектоидная; 2 – эвтектоидная; 3 – доэвтектоидная зоны

Электроискровая обработка представляет собой сложный процесс, характеризующийся большим количеством различных факторов и возможностью реализации их при различных режимах. Этот метод, разработан Б. Р. Лазаренко и Н. И. Лазаренко в 1938-1940 г.г., основан на явлении электрической эрозии при искровом разряде материала анода и его полярного массопереноса на катод-деталь [3]. При этом на поверхности обрабатываемой детали формируется поверхностный слой в результате многократного воздействия на деталь электрическими импульсами, и представляет собой ряд хаотически расположенных неровностей, по форме близких к шаровым сегментам.

Фазовый состав и структура покрытия, сформированного при ЭИО, определяются составом и свойствами материалов легирующих электродов и технологическими режимами обработки.

Выбор технологических режимов осуществляется исходя из характеристик оборудования, вида обрабатываемой поверхности, физико-механических, триботехнических и других свойств наплавочного материала и т.д.

Формирование упрочненного поверхностного слоя и покрытия при ЭИО происходит в результате сложных плазмохимических, теплофизических и механотермических процессов, происходящих на локальных участках поверхности обрабатываемой детали под воздействием энергии искрового разряда. При сближении легирующего электрода-анода с обрабатываемой поверхностью детали происходит искровой разряд длительностью $10^{-6} - 10^{-3}$ с. В результате, на поверхностях анода и катода возникают локальные очаги плавления и испарения материала, вызывающие их электрическую эрозию и

взаимный массоперенос. В процессе обработки на поверхности детали формируется тонкое покрытие с определенными физико-механическими свойствами. Параллельно действующее импульсное тепловое воздействие вызывает ряд механотермических процессов, приводящих поверхностные слои электродов в сложнапряженное состояние вплоть до их пластической деформации и хрупкого разрушения. Поскольку электроды при искровом разряде находятся между собой в кинематической связи, то наряду с тепловым воздействием обрабатываемая поверхность детали подвергается ударно-вибрационному воздействию. При каждом контактном взаимодействии электродов образуются и разрушаются микролокальные мостики сварки, вызывающие совместно с механическим ударно-вибрационным воздействием пластическую деформацию модифицируемых поверхностных слоев. Такое энергетическое воздействие с высокой плотностью мощности стимулирует развитие в условиях электроискровой обработки микрометаллургических процессов (термохимических, газодинамических, диффузионных) [2,3,4].

Поверхностный слой, сформированный при ЭИО, представляет собой новую композиционную структуру (рис.2). Верхняя (первая) зона — тонкий слой — по свойствам близкая к покрытиям, образованными газотермическими методами. Под верхним слоем находится белый слой (БС), БС (вторая зона), сформирован из смеси материалов анода и катода, внешне бесструктурный, обладает высокой химической стойкостью и не поддается воздействию стандартных травителей. В зависимости от материала детали и электрода и электрического режима обработки микротвёрдость БС может быть ниже или выше микротвёрдости обрабатываемой поверхности. Далее располагается третья зона — диффузионная, за которой следует зона термического влияния. Диффузионную зону и зону термического влияния часто объединяют под общим названием «термодиффузионная зона» или «переходной слой», который представляет собой область диффузионного проникновения элементов материала электрода и газовой среды в материал детали и термического воздействия искровых разрядов. Его структура отличается от структуры материала обрабатываемой детали строением и зернистостью. С перемещением вглубь данная структура переходит в пятую зону — структуру основного материала [4].

Таким образом, модифицирование и упрочнение поверхностного слоя происходит благодаря следующим процессам:

- осаждение (конденсация) материала анода на поверхности катода;
- диффузия частиц материала анода в поверхностный слой материала катода; образование твердых растворов и химических соединений (оксиды, карбиды, интерметаллиды);
- образование зоны взаимной кристаллизации Me_1 и Me_2 , неравновесных структур, фаз, а также мелкозернистой структуры.

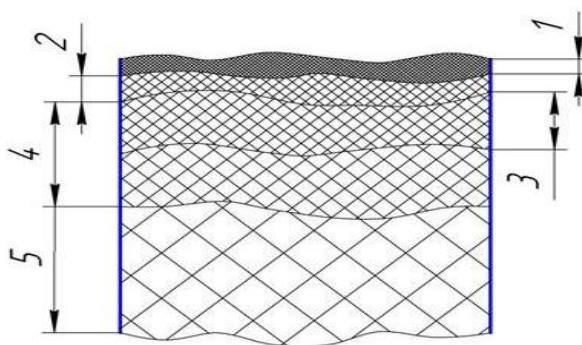


Рисунок 2 - Схематическое расположение зон поверхностного слоя после электроискровой обработки: 1 - зона тонкого слоя; 2 - зона белого слоя; 3 - диффузионная зона; 4 - зона термического влияния, плавно переходящая в 5 - зону основного материала

Поверхность, упрочненная электроискровым легированием, отличается высокой степенью шероховатости и повышенной дефектностью, которые устраняются механической обработкой. В результате верхний слой практически весь удаляется, и рабочая поверхность начинается с конденсированных формирований или диффузионных структур.

Наличие тесной связи между плотностью дефектов кристаллического строения, диффузионно-адгезионной активностью модифицированной структуры и коэффициентом переноса является основой для разработки оригинальных технологий повышения качества упрочнения при ЭИЛ. Степень упрочнения модифицированного слоя прямо пропорциональна прочности материала легирующего электрода. В технологиях электроискрового легирования в качестве легирующих электродов используют различные тугоплавкие композиции на основе металлов IV и VI групп периодической таблицы Менделеева. Наибольшее распространение получили инструментальные твердые сплавы групп ВК, ТК, ТТК и безвольфрамовая металлокерамика. Но с повышением прочности материала анода снижается активность эрозионного процесса, что приводит к уменьшению анодного массового потока [2].

Метод электроискровой обработки является наиболее перспективным методом в области упрочнения поверхностей деталей, при котором формируются тонкие поверхностные модификации, используя потоки частиц высокой плотности энергии при импульсном воздействии на обрабатываемую поверхность, при простоте технологического оборудования и экономичности процесса.

Библиографический список

1. Общее материаловедение и технология конструкционных материалов : учебник / В. С. Кушнер [и др.]; Минобрнауки России, ОмГТУ. – Омск : Изд-во

ОмГТУ, 2014. – 464 с.

2. Казанцева, А. Е., Новиков, А. А. Упрочнение поверхностей низкоуглеродистых сталей методом электроискрового легирования // Теоретический и практический взгляд на современное состояние науки : материалы Международной науч.-техн. конф., 29–30 сент. 2015 г. / Кемерово : ООО «ЗапСибНЦ», 2015. – С. 66–69.

3. Лазаренко, Б. Р., Лазаренко Н. И. Электроискровой способ изменения исходных свойств металлических поверхностей / Б. Р. Лазаренко, Н. И. Лазаренко. – М.: Изд-во АН СССР, 1958. – 177 с.

4. Верхотуров, А. Д. Формирование поверхностного слоя металлов при электроискровом легировании / А. Д. Верхотуров. – Владивосток : Дальнаука, 1995. – 323 с.