

## ЛЕКЦИЯ-18

### ЭЛЕКТРОИСКРОВАЯ, ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКАЯ И ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА

#### Электроискровое упрочнение поверхностей

Электроискровому упрочнению поддаются все черные металлы. Механизм процесса отличается значительной сложностью, представляя собой совокупность эрозионного, термического и термохимического процессов и контактного переноса материала.

Для упрочняющих электродов применяют твердые сплавы, составляющими которых являются карбиды титана и вольфрама и кобальт, феррохром, хром-марганец, хром, алюминий, белый чугун, сталь Ст. 3 и графит. Различают три режима: мягкий, средний и грубый (жесткий). Ужесточение режимов повышает производительность, но понижает твердость и чистоту поверхности. Переход от мягкого режима к жесткому может понизить твердость поверхностного слоя на 20%; тем не менее она остается более *HRC 50*.

Верхний белый слой упрочненной поверхности состоит из аустенита и мартенсита, нитридов железа и карбидов легирующих элементов. Белый слой образуется и в том случае, если электрод изготовлен из алюминия или меди. Подслой представляет собой структуру типа мартенсита и троостита, а иногда и сорбита.

Упрочнение деталей, не оказывая влияния на ударную вязкость, снижает сопротивление усталости в связи со значительными остаточными напряжениями растяжения в упрочненном слое и увеличением шероховатости поверхности. Имеется положительный опыт упрочнения режущего и штампового инструмента, в промышленных масштабах.

Слой толщиной около 0,1 мм на деталях из конструкционной углеродистой стали или чугуна недостаточно прочен. Для повышения прочности предложен комбинированный искродуговой метод, названный термоискровым. Сущность метода состоит в том, что нанесенный электроискровым способом с помощью твердосплавного электрода слой подвергается кратковременному воздействию электрической дуги, получаемой на той же установке при отключенной электрической емкости. При второй операции под белым слоем образуется слой толщиной (1,5...2) мм и твердостью, снижающейся от *HV 1000* до *HV 500*. Шероховатость поверхности после комбинированного упрочнения примерно такая же, как после обычной наплавки. Метод применяют для упрочнения работающих в абразивной среде деталей прессов при изготовлении кирпича, деталей шнеков цементных заводов, машин керамического производства и т.д.

Электроискровому упрочнению подвергают рабочие детали дорожных, строительных и землеройных машин, работающих в абразивной среде; лопатки дробеструйных аппаратов; детали механизмов литейных цехов. Электроискровое упрочнение получило также применение для вос-

становления и упрочнения посадочных мест в неподвижных сопряжениях и скользящих посадках.

Электроискровое упрочнение не требует предварительного нагрева деталей и последующей их термообработки; не вызывает коробления. Упрочненный слой имеет высокую износостойкость, а при достаточной глубине и соответствующем подборе электродов – высокую жаростойкость. Наклеп позволяет исключить неблагоприятное влияние электроискрового упрочнения на сопротивление усталости.

### **Электромеханическая обработка (ЭМО)**

Сущность ЭМО заключается в том, что на обрабатываемую деформирующим инструментом поверхность одновременно воздействует давление инструмента и тепло, возникающее в результате прохождения тока между инструментом и деталью. Это вызывает упрочнение как за счет повышения физико-механических свойств поверхностного слоя, так и улучшения параметров микрорельефа самой поверхности. При этом инструментом может служить неподвижно закрепленная пластина с тороидальной рабочей поверхностью или вращающийся ролик. Наиболее распространен способ электромеханического упрочнения вращающимися роликами, так как их стойкость намного выше, чем плоских пластин. Деформирующий ролик обычно изготавливается из быстрорежущей стали Р6М6 твердостью *HRC* 62...64 и шероховатостью  $Ra = (0,1...0,4)$  мкм.

ЭМО цилиндрических деталей осуществляется на токарных станках, силовой установкой при этом является сварочный трансформатор переменного тока ТСД-1000, который позволяет плавно изменять силу тока  $I$  от 0 до 800 А при рабочем напряжении (1,5...2) В. При этом сила тока и вторичное напряжение регулируется в зависимости от площади контакта, исходной шероховатости и требований к качеству поверхностного слоя. Обрабатываемая деталь вращается с окружной скоростью  $V$ , м/с, а инструмент совершает поступательное движение вдоль обрабатываемой детали ( $S$  – подача ролика, мм/об;  $i$  – число ходов). Давление сглаживания  $P$ , Н настраивается маховичком поперечного суппорта станка.

Тепловыделение при ЭМО происходит вследствие трения инструмента об обрабатываемую деталь, прохождения через нее электрического тока и деформации металла в поверхностном слое. В результате такого комбинированного воздействия структура в поверхностном слое представляет собой измельченный мартенсит. За счет выделения карбидной фазы поверхностный слой на глубине (0,2...0,25) мм несколько обезуглероживается. Количество карбидных включений и их дисперсность с увеличением усилий обкатки возрастает, а максимальная величина степени наклепа при этом не превышает (15...16)%. Прочность поверхностного слоя повышается за счет увеличения плотности дислокаций и более равномерного их распределения, увеличения протяженности границ субзерен, создания дислокационных барьеров, образования вторичных фаз, что уменьшает размеры мартенситных игл в закаленной структуре.

## Термомеханическая обработка (ТМО)

Термомеханическая обработка обеспечивает значительное повышение механических свойств стальных деталей в результате воздействия на них пластической деформации при температурах существования аустенита с последующими закалкой и низкотемпературным отпуском. При этом увеличивается прочность и сохраняется достаточно высокая пластичность. Для практики важно и то, что упрочнение в ходе ТМО может быть совмещено с формоизменением заготовок.

Существует несколько вариантов объемной или только поверхностной ТМО. При низкотемпературной ТМО деформация происходит в области переохлажденного аустенита. Низкотемпературная ТМО состоит из деформации, закалки и низкотемпературного отпуска, в результате чего устраняется повышенная хрупкость. Чаще всего этот способ используется для упрочнения деталей из легированных сталей, которые обладают повышенной устойчивостью переохлажденного аустенита. Так как при этом степень деформации достигает (50...90)%, а рекристаллизация не происходит, то имеет место большее упрочнение, чем при высокотемпературной термомеханической обработке, однако пластичность несколько ниже.

Наиболее перспективной является высокотемпературная термомеханическая обработка (ВТМО). Она выполняется при нагреве металла заготовки до температуры существования аустенита, после чего выполняется ее пластическая деформация и немедленная закалка с тем, чтобы не рекристаллизовался деформированный аустенит. После этого производится низкотемпературный отпуск ВТМО, заключающийся в гомогенизации твердого раствора при температуре 1200 С и пластическом деформировании на (25...30)% после предварительного охлаждения до (1100...1000) С. Это позволяет значительно увеличить прочность деталей даже при температурах до 900 С.

Упрочняющее воздействие ВТМО объясняется улучшением структуры и физико-механических характеристик металла, образованием текстуры дислокаций. Степень упрочнения зависит как от способа и режима самой ВТМО, так и от рационального ее сочетания с ППД или химико-термическими упрочняющими операциями. Так, при обычной закалке на поверхности образцов возникают растягивающие напряжения, величина которых зависит от химического состава стали, например, у образцов из сталей 60С2А, 40Х и 45, они составляют соответственно до 500; 80 и 100 МПа. Объемная закалка с нагревом ТВЧ при охлаждении водой создает еще более высокий уровень осевых остаточных растягивающих напряжений на поверхности образцов (700...750 МПа).

Проведение ВТМО значительно изменяет характер остаточных напряжений. При этом и величина и знак остаточных напряжений зависят от степени обжата предшествующей закалке. Характер зависимостей в основном одинаков для всех исследованных сталей. ВТМО почти во всех случаях приводит к изменению знака остаточных напряжений на поверх-

ности. Это относится как к осевым, так и к тангенциальным остаточным напряжениям.

### **Упрочнение поверхностей лучом лазера**

При воздействии лазерного луча на металлическую поверхность она быстро нагревается до высокой температуры и при прекращении облучения сразу же охлаждается. Получается своеобразная закалка поверхности. Такую закалку лазерным лучом можно использовать для обработки стальных и чугуновых деталей с целью повышения их износостойкости.

Лазерное упрочнение поверхностей позволяет выборочно изменять свойства различных участков деталей машин и инструментов, в результате чего можно получать более прочные износ- и коррозионностойкие поверхности. Оно имеет ряд особенностей, выгодно отличающихся от других методов и способов упрочнения: локальность процесса упрочнения, возможность обработки труднодоступных мест, получения заданной шероховатости поверхности, возможность получения на поверхности детали слоя с заданными свойствами; возможность автоматизации процесса и др. Кроме того, этим способом можно не только упрочнять поверхностный слой обрабатываемых деталей. Использование лазерных установок модели «Квант-1б» для упрочнения отсечных кромок плунжеров топливных насосов, обкатных роликов и кулачков распределительных валов двигателей внутреннего сгорания позволяет значительно увеличить износостойкость и продлить их долговечность.

Лазерному упрочнению подвергаются многие детали, испытывающие значительные контактные нагрузки. После такого упрочнения значительно повышаются контактная износостойкость и прочность кромок клапанных тарелок, рабочих поверхностей напорных золотников топливной аппаратуры, головки штоков и седел выхлопных клапанов, рабочих поверхностей измерительного инструмента и др. Обработка рабочей поверхности золотника конусного уплотнения трубопроводной арматуры высокого давления на лазерной установке СЛС 10-1 позволила получить упрочненные зоны по контактной окружности золотника. Упрочненная зона представляет собой совокупность пятен фокусирования лазерного луча с шагом 0,75 и шириной 0,6 мм. Такое упрочнение приводит к росту стойкости клапанного соединения более чем в 3 раза.

Большой эффект от использования этого способа достигается при упрочнении пуансонов и матриц штампов, стойкость которых зависит от твердости и состояния поверхности их рабочих элементов. Лазерное упрочнение этих элементов осуществляется после их окончательной механической обработки, причем плотность мощности лазерного излучения не должна превышать критического значения, когда наблюдается оплавление поверхностного слоя обрабатываемого материала.

Лазерное упрочнение с высокой эффективностью используется для обработки шеек и галтелей коленчатых валов, боковых сторон кольцевых выточек поршней двигателей внутреннего сгорания, зубьев и торцевых

поверхностей косозубых зубчатых колес и др. Лазерное упрочнение позволяет получить стабильно однородный упрочненный слой, что практически недостижимо при других методах обработки. При этом глубина упрочнения зависящая от материала и режимов обработки, достигает (1...2) мм. Лазерному упрочнению можно подвергать, чугуны направляющие станин станков. Такое упрочнение позволяет довести их твердость до HRC 60.

В ряде случаев при лазерном упрочнении деталей на их поверхность наносят легирующие элементы. При этом необходимо, чтобы температура на поверхности немного превышала температуру плавления легирующего элемента. В процессе оплавления металла происходит его интенсивное перемешивание с легирующими элементами, размещенными на обрабатываемой поверхности. Глубина легирования определяется мощностью луча, его диаметром и скоростью сканирования. При легировании, например, углеродистой стали кобальтом глубина слоя достигает 1,2 мм, при этом износостойкость деталей увеличивается в (3...4) раза.

Для повышения эффективности лазерной обработки применяется чернение обрабатываемых поверхностей, например, химическое травление для увеличения поглощательной способности металла, что позволяет проводить процесс при меньшей энергии излучения. Снижение энергии лазерных импульсов увеличивает частоту их следования, а значит и производительность обработки. Для повышения стабильности параметров упрочнения, снижения вероятности обезуглероживания поверхностного слоя и улучшения внешнего вида деталей лазерную обработку рекомендуется вести в среде аргона.

Перспективным является сочетание лазерной обработки с ППД. При этом повышаются физико-механические параметры и улучшается микро-рельеф поверхности.