

12. Поверхностная закалка стали

В последние годы наряду с традиционными способами термического упрочнения поверхности и нанесения защитных покрытий все большее применение находят технологические процессы, основанные на использовании концентрированных потоков энергии. Речь идет, в первую очередь, о плазменной, лазерной, электронно-лучевой обработке, высокоскоростном индукционном нагреве.

12.1 Обработка ТВЧ

Для получения большой твердости в поверхностном слое детали с сохранением вязкой сердцевины, что обеспечивает износостойчивость и одновременно высокую динамическую прочность, применяют поверхностную закалку или химико-термическую обработку.

Поверхностная закалка выгодно отличается от ХТО значительно меньшей продолжительностью процесса.

Из всех видов поверхностной закалки можно выделить наиболее широко применяемый метод нагревом электротоком высокой частоты, так называемую *индукционную* или *высокочастотную* закалку (закалка ТВЧ).

Как ранее отмечалось, температура закалки стали назначается в соответствии с диаграммой состояния железоуглеродистых сплавов. Однако такое назначение верно только при медленном, печном нагреве, при котором превращения протекают без значительного перенагрева. При скоростном нагреве температуры закалки должны быть более высокими.

Сущность любого способа поверхностной закалки состоит в том, что поверхностные слои детали быстро нагреваются выше критических точек и создается резкий градиент температур по сечению (**слайд**). Если нагрев прервать и провести быстрое охлаждение, о слой металла, нагретый выше A_{c3} (I), получит полную закалку; слой, нагретый между A_{c1} и A_{c3} (II) – неполную закалку, а сердцевина (III) или вовсе не нагреется, или нагреется только ниже A_{c1} и закалки не получит.

Сущность закалки ТВЧ состоит в том, что электрический ток, проходя по детали как по проводнику, встречает сопротивление, в результате чего деталь нагревается. Изменяя силу тока, можно получить любое количество тепла и, следовательно, любую температуру и любую скорость нагрева.

Характерной особенностью закалки ТВЧ является нагрев с очень большой скоростью, в сотни и тысячи раз превышающей скорость нагрева в печи от внешнего источника тепла. Для нагрева электротоком в настоящее время пользуются преимущественно токами высокой частоты.

При нагреве ТВЧ магнитный поток, создаваемый переменным током, проходящим по проводнику, наводит в металле детали, помещенной внутри проводника, вихревые токи, которые нагревают деталь.

Как известно, обычный переменный ток в городской сети имеет частоту 50 Гц и относится к токам низкой частоты (промышленная частота). Переменный ток с частотой выше 50 Гц относится к токам высокой частоты.

Ток высокой частоты для индукционного нагрева металла получают от специального машинного генератора (частота от 500 до 15000 Гц, для сравнения обычный переменный ток в городской сети имеет частоту 50 Гц).

Распределение переменного тока по сечению проводника неравномерно. Плотность тока на поверхности больше, чем в сердцевине. Практически считают, что ток идет по поверхностному слою, глубина которого зависит от частоты (**формула, слайд**).

Из уравнения видно, что чем больше частота, тем меньше глубина проникновения тока.

Основной особенностью закалки ТВЧ является создание для каждой детали индуктора соответствующей формы и очертаний. Индуктор изготавливают в виде петли или витка из трубок красной меди (**слайд, а**); внутри индуктора помещают нагреваемую деталь (**слайд, б**), затем нагретую часть детали перемещают из индуктора в душирующее устройство (спрейер), где деталь закаливается (**слайд, в**).

Преимущества высокочастотного нагрева:

- высокая производительность;
- отсутствие выгорания углерода и других элементов, а также отсутствие заметного окисления и образования окалины, в связи с кратковременностью процесса (в отличие от объемной закалки).
- минимальное коробление;
- возможность точной регулировки глубины закаленного слоя;
- возможность автоматизации процесса ТО.

Для закалки ТВЧ применяют обычные углеродистые стали с содержанием углерода 0,4 % и выше. Легированные стали применять, как правило, не следует, т.к. глубокая прокаливаемость, которая достигается легированием, здесь совершенно не нужна.

Недостаток метода индукционного нагрева состоит в том, что для отдельных единичных деталей его применять нельзя, т.к. стоимость индуктора и подбор режимов в этом случае слишком удорожает процесс. Второй недостаток - значительная стоимость всей установки, что нивелируется в условиях массового и серийного производства.

Данный метод очень удобен, т.к. установку можно поместить в любом цехе по ходу потока производства, что дает дополнительную экономию во времени, в производственных площадях и в транспортных средствах.

12.2 Лазерная обработка

Лазерная обработка поверхностных слоев металлов и сплавов относится к локальным методам термической обработки. В этой связи лазерный луч как источник нагрева при термической обработке материалов имеет черты, свойственные всем другим высококонцентрированным источникам, а также и свои особенности и преимущества:

- высокая концентрация подводимой энергии и локальность воздействия позволяют производить обработку только поверхностного участка материала без нагрева остального объема и нарушения его структуры и свойств;

- высокая концентрация подводимой энергии позволяет провести нагрев и охлаждение обрабатываемого объема материала с большими скоростями при очень малом времени воздействия;
- возможность обработки на воздухе, легкость автоматизации процессов определяют высокую технологичность лазерного луча.

Основными параметрами лазерного луча, изменяемыми в процессе обработки, являются ток луча I , ускоряющее напряжение U , рабочее расстояние (расстояние от центра фокусирующей системы до поверхности детали) l , скорость перемещения лазерного луча V .

12.3 Электронно-лучевая обработка

В настоящей работе в качестве технологии поверхностного упрочнения исследуемых материалов использовали метод вневакуумной электронно-лучевой обработки. Обработку выполняли на ускорителе электронов типа ЭЛВ-6, разработанном в Институте ядерной физики СО РАН (г. Новосибирск) (слайд).

По сравнению с традиционными источниками энергии электронный луч отличается рядом особенностей и преимуществ [60-62]:

- наибольший термический КПД нагрева (75% по сравнению с 15% для лазерного нагрева);
- высокая концентрация энергии в луче (до $5 \cdot 10^8$ Вт/см²) позволяет получать минимальную зону термического влияния и большую глубину проплавления по отношению к пятну нагрева;
- возможность плавного регулирования параметров электронно-лучевой обработки позволяет получать широкий интервал режимов - от термической обработки до резки;
- наименьшие энергозатраты среди существующих способов поверхностного термического упрочнения;
- малый объем расплавляемого или нагреваемого металла и кратковременность теплового воздействия обеспечивают незначительные термические деформации деталей.

Сдерживающим фактором в развитии и распространении электронно-лучевой обработки материалов является наличие вакуумной камеры. Вакуумная камера ограничивает размеры обрабатываемых деталей. Кроме того, в камере необходимо размещать поворотные манипуляторы для пространственного перемещения изделий.

Технология вневакуумной электронно-лучевой обработки, предложенная в Институте ядерной физики СО РАН, лишена таких недостатков. Энергия ускоренных электронов при осуществлении вневакуумной обработки на ускорителе ЭЛВ-6 достаточна для обеспечения малого рассеяния электронов на молекулах воздуха. В условиях обработки при атмосферном давлении на расстоянии ≥ 10 см от выпускного устройства необходим пучок электронов с энергией выше 1 МэВ.

Параметрами электронного луча, изменяемыми в процессе обработки, являются ток луча I , ускоряющее напряжение U , рабочее расстояние

(расстояние от центра фокусирующей системы до поверхности детали) l ,
скорость перемещения электронного луча V .