

Химико-термическая обработка металлов с нагревом в электролитной плазме

В.Н. Дураджи, д.т.н., профессор НИТУ «МИСиС»

Введение

Процессы химико-термической обработки (ХТО) благодаря неисчерпаемому разнообразию химически активных сред и богатым возможностям изменения свойств поверхностных слоев являются одним из наиболее эффективных методов повышения долговечности и надежности деталей механизмов и машин. Общим крупным недостатком этих процессов при их традиционном исполнении является большая продолжительность (часы и десятки часов), поэтому одной из основных задач в области ХТО является существенная интенсификация процессов диффузионного насыщения.

В области интенсификации процессов ХТО металлов и сплавов в последние годы проведено много исследований и достигнуты определенные успехи. Видное место среди них занимают работы, в которых используется непосредственное воздействие электрического тока либо на насыщающую среду, либо на насыщаемое изделие, либо на то и другое одновременно, что обуславливает повышение интенсификации процессов насыщения. Эти способы являются одними из наиболее перспективных не только потому, что позволяют сократить продолжительность процесса ХТО, но и благодаря ряду других преимуществ, обеспечивающих их высокую эффективность, а именно: возможность осуществления локальной ХТО без применения защитных покрытий, проведение диффузионного насыщения с последующей закалкой, полной автоматизацией процесса и включением его в единую технологическую линию при изготовлении деталей и другие.

В общем случае способы ХТО поверхности металлов с применением электрического тока по способу выделения электрической энергии можно разделить на две большие группы:

1 – нагрев с внешним источником тепла (искровой, тлеющий, коронный, дуговой разряды, нагрев в электролите и другие);

2 – нагрев с внутренними источниками тепла (индукционный нагрев).

Общим для них является то, что они позволяют осуществить и регулировать нагрев в широком диапазоне скоростей нагрева, и все они позволяют значительно интенсифицировать процессы ХТО. Однако, разница в подводе тепловой энергии существенно отличает их по влиянию на механизм образования диффузионного слоя, его структуру и свойства, а также на факторы, определяющие ускорение процесса диффузионного насыщения. Очевидно, что эти методы, в особенности первая группа, влияют не на отдельные стадии диффузионного насыщения, а на весь их комплекс, так как протекание электрических разрядов между металлическими электродами или металлическим и электролитным электродами при нагреве в электролите видоизменяет состояние насыщающих элементов в окружающей среде (переводит их в возбужденное и ионизированное состояния). Это интенсифицирует химические реакции в пограничной зоне и на поверхности металла, адсорбцию (хемосорбцию), вызывает образование дислокаций в металле и тем самым влияет на процесс диффузии, следует учитывать также ускорение диффузии за счет электропереноса. Кроме того, возможность осуществления скоростного нагрева значительно сокращает продолжительность нагрева до температуры изотермической выдержки, а в некоторых случаях кратковременность процесса позволяет повысить температуру диффузионного насыщения, не нанося ущерба структуре и свойствам внутренней части насыщаемого металла или сплава.

Нагрев в электролитной плазме

Одним из методов является нагрев металлов и сплавов электрическим током в электролите, обеспечивающий быстрый нагрев до заданной температуры. Этот метод основан на особенностях протекания электрического тока большой плотности (несколько ампер на квадратный сантиметр) на границе металл-электролит.

Нагрев металлов в электролитной плазме при анодном процессе в результате благоприятного сочетания

высокой температуры активного электрода, протекания электрических разрядов в парогазовой оболочке между металлическим и электролитным электродами позволяет осуществить ряд процессов локальной ускоренной термической и химико-термической обработки стальных деталей. К этим процессам можно отнести: термическую обработку с последующим охлаждением в том же электролите (т.е. осуществить процесс закалки), азотирование, нитроцементацию, цементацию, вольфраммирование, молибденирование, молибдотитанирование и другие виды комплексного диффузионного насыщения.

Многие детали машин и механизмов, подвергаемые объемной термической и химико-термической обработке, нуждаются в локальном поверхностном упрочнении: закалке или ХТО. Традиционной технологии локальной химико-термической обработки с нагревом в печах с последующей объемной закалкой свойственна не только большая длительность процесса диффузионного насыщения (десятки часов при азотировании или часы при науглероживании и нитроцементации), но и необходимость осуществлять много дополнительных операций (нанесение защитных покрытий, промежуточная механическая обработка другие), что вызывает рост межцеховых перевозок, значительный расход электроэнергии, дополнительных трудовых и других непроизводительных затрат.

Одним из важнейших преимуществ термической и химико-термической обработки с нагревом в электролитной плазме при анодном процессе является возможность проведения локальной обработки без нанесения защитных покрытий на обрабатываемую деталь, что позволяет значительно упростить технологические процессы, а также повысить качество изделий.

В отдельных случаях применение нагрева металлов в электролитной плазме позволяет успешно заменить поверхностную закалку ТВЧ или при нагреве в соляных ваннах, особенно для деталей сложной конфигурации, или в случае упрочнения внутренних поверхностей. Так, например, участки деталей тракторов подвергают закалке с нагревом в соляной ванне. По существующей технологии детали (вилки, рычаги и другие) изготавливают из литой заготовки стали 45Л, осуществляют нагрев в соляной ванне в течение 5-6 минут с последующей закалкой и низкотемпературным отпуском, что позволяет получить твердость 35-40 HRC. При такой технологии обработки наблюдаются мягкие участки и получаемая твердость поверхности детали не обеспечивает требуемого рабочего ресурса. Повышение температуры закалки с целью увеличения твердости приводит к образованию закалочных трещин, что является следствием практически объемного нагрева и последующей закалки всей нагреваемой части детали. При нагреве в электролитной плазме на внутреннюю поверхность отверстий обрабатываемых деталей подается струя электролита с помощью цилиндрического спрейера, служащего катодом. Время обработки отсчитывалось от момента включения электрического тока и составляло 30-35 секунд. Закалка детали осуществ-

лялась той же струей электролита путем отключения тока в цепи. После термообработки детали проходили низкотемпературный отпуск. В результате такой обработки на внутренней поверхности отверстий в рабочей части детали создается упрочненный слой глубиной 1-1,5 мм твердостью 48-55 HRC. Этот процесс позволяет улучшить качество и повысить срок службы не только отдельных деталей, но и целых узлов.

Вид химико-термической обработки в электролитной плазме при анодном процессе определяется составом электролита, и на одной и той же установке можно проводить различные виды химико-термической обработки. Температура химико-термической обработки при азотировании составляет 650-750° С, нитроцементации 820-860° С, науглероживании 850-900° С. Время обработки отсчитывается от момента включения электрического тока в цепи и изменяется в пределах 2-5 минут.

Металлографические исследования показали, что на азотируемых деталях в зависимости от марки стали формируется нитридная зона глубиной 30-60 мкм и зона внутреннего азотирования от 0,1 до 1 мм (рис. 1), на науглероженных и нитроцементованных образцах диффузионная зона составляет 0,3-0,5 мм. Слой распределен

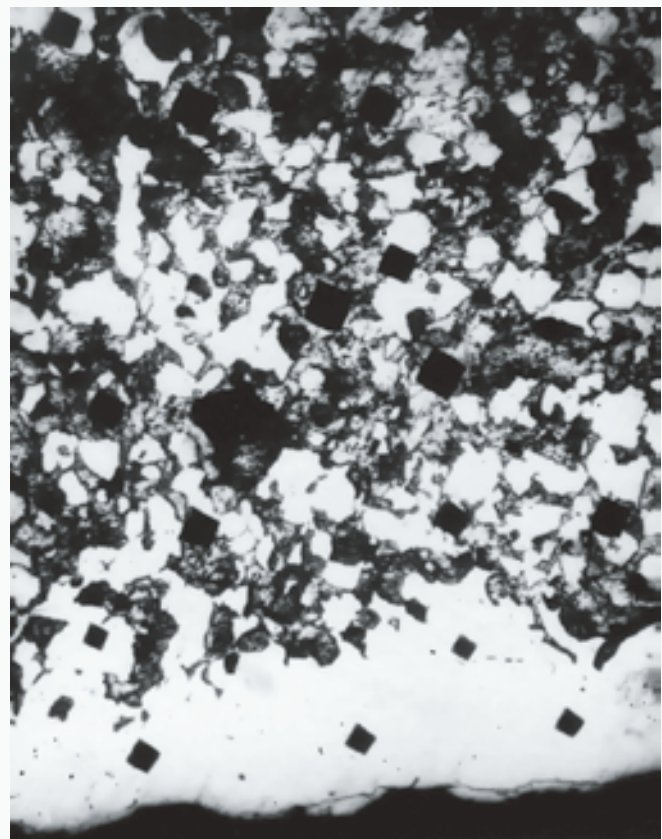


Рис. 1. Микроструктура стали 40X, азотированной в электролитной плазме. х340

по всей нагреваемой поверхности равномерно. Твердость на упрочненных участках после соответствующей химико-термической обработки (азотирования, нитроцементации, цементации), закалки и соответствующего отпуска составляет 54-60 HRC и удовлетворяет техническим требованиям.

Специфическими особенностями нагрева металлов в электролитной плазме являются:

- возможность поверхностной и локальной закалки, при этом можно свободно регулировать степень и глубину закалки;
- возможность высокоскоростного нагрева, сокращающего время термообработки;
- исключение окисления поверхности нагрева детали и повышение качества ее поверхности;
- возможность использования в качестве закалочной среды водного раствора, в котором осуществляется нагрев;
- наличие электроэрозионных явлений, способствующих повышению эффективности нагрева металлов в электролитной плазме;
- возможность местной закалки изделий с такими формами, которые не позволяют осуществить высоко-частотную закалку.

Электроискровое легирование

Другой способ повышения износостойкости деталей – это способ комбинированной обработки деталей пар трения. Вначале осуществляют электроискровое легирование или электрохимическим способом наносят на поверхности детали покрытие из карбидо- или нитрообразующих элементов (Сг, Мо, W и др.) затем осуществляют локальную химико-термическую обработку с нагревом в электролитной плазме. В этом случае элементы обрабатывающих электродов, покрытия, электролита и подложки, вступая при нагреве во взаимодействие, образуют широкую гамму соединений. Прежде всего электроискровое легирование повышает твердость верхних слоев за счет образования в зоне действия разряда соединений между материалом обрабатываемого электрода и электролитического покрытия. Рентгенофазовый анализ показал существование в поверхностных слоях интерметаллидов, окислов, карбидов и нитридов, которые образуются, по-видимому, частично в процессе электроискрового легирования и частично – при нагреве в электролитной плазме. При металлографическом исследовании обнаружили значительное диффузионное проникновение элементов из приповерхностной области в глубину подложки, которое изменяет ее структуру и свойства. Одновременно во время нагрева происходит диффузия элементов покрытия в основу. Об этом свидетельствуют данные микро-рентгеноспектрального анализа. Например, концентрация хрома ниже границы раздела покрытие-основа после нагрева в электролитной плазме значительно возрастает. Такой способ комбинированной обработки способствует более глубокому проникновению элементов электролита (углерода или азота) и элементов покрытия в подложку, что приводит к дополнительному изменению свойств этих слоев (рис. 2).

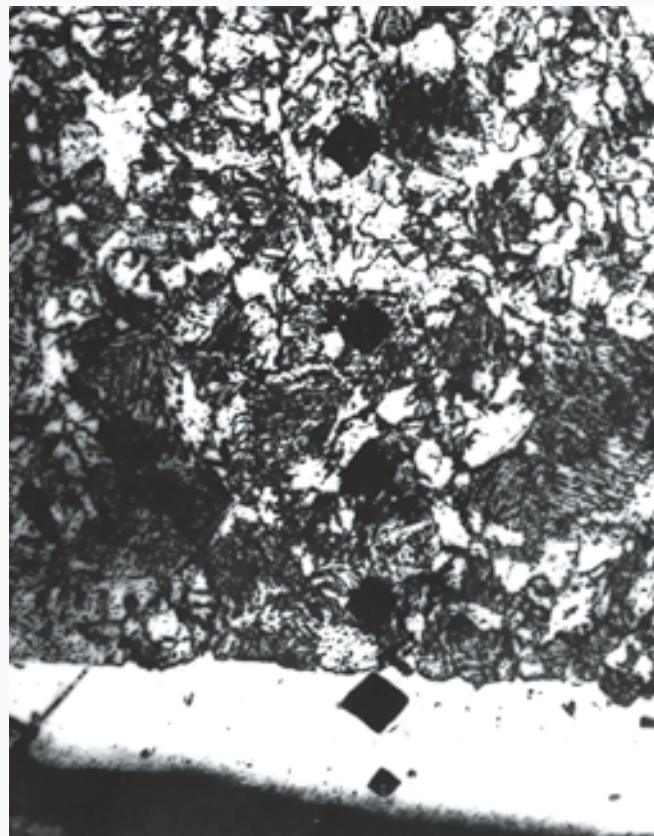


Рис. 2. Микроструктура технического железа с электролитическим Сг-покрытием, обработанным искровыми разрядами (Сг-электрод), подвергнутого науглероживанию в электролитной плазме при $T = 900^\circ \text{C}$ и $\tau = 5$ мин. Охлаждение в растворе. $\times 340$

Выводы

Химико-термическая обработка не только повышает механические свойства металлов и сплавов, но и является эффективным методом защиты изделий от коррозионной усталости и коррозионного растрескивания. Проведенные испытания на коррозионную стойкость Ст45 в 3% йодном растворе хлористого натрия показали значительное повышение ее коррозионной стойкости после азотирования и науглероживания с последующим охлаждением в водном растворе. Коррозия азотированных образцов за первые 22 ч испытаний практически равна нулю, что, в частности, связано с наличием сплошной ϵ -фазы на поверхности, имеющей высокий электродный потенциал (-0,1 -0,13 мВ). Кроме того, образование на поверхности азотированной стали нитридной зоны и зоны внутреннего азотирования приводит к возникновению в диффузионном слое больших остаточных напряжений сжатия, что также способствует повышению коррозионной стойкости изделия.

Скоростную термическую и химико-термическую обработку с нагревом в электролитной плазме можно с успехом и значительной экономической эффективностью применять как в условиях мелкосерийного, так и в условиях массового производства.