**УДК 672**

**Современные виды термообработки.**

Лупашин Н. С.

НЕФТЯНОЙ ИНСТИТУТ (филиал) ФГБОУ ВО "Югорский государственный университет",   
г. Нижневартовск   
Эл. почта: n.fonkov@yandex.ru

Аннотация

В данной статье рассмотрены и проанализированы современные способы термообработки. Обозначены отдельные особенности современных способов термообработки. А также рассмотрено оборудование для термообработки.

Ключевые слова: обработка, температура, улучшение.

Abstract

This article describes and analyzes modern methods of heat treatment. Some features of modern methods of heat treatment are indicated. And also the equipment for heat treatment is considered.

Key words: process, temperature, the improvement

Введение

Термообработка стали является важной и необходимой операцией при изготовлении деталей и инструментов. При термообработке детали наделяются нужными механическими свойствами что обеспечивает нормальную работу.

Термическая обработка металлов – совокупность строго последовательных операций нагрева, выдержки и последующего охлаждения заготовок или готовых изделий по определенным режимам для изменения их структуры и предоставления им необходимых механических, физических, химических и прочих свойств. Основой термообработки являются превращения во внутренней структуре материалов при нагреве и последующем охлаждении.

Целью данной статьи является анализ технологий, используемых при термической обработке. В данной статье рассмотрены и проанализированы такие способы термообработки как: Термическая обработка в вакууме, Вакуумная цементация и нитроцементация, Ионное азотирование, Борирование стали, Нитроцементация (цианирование) стали, Цинкование (Zn), алюминирование (Аl), хромирование (Сr), силицирование (Si) сталей, отпуск стали, , а так же рассмотрены современные закалочные среды и современные технологии термической обработки валков

Главной задачей термообработки является повышения качеств каких либо машин и агрегатов, которые, в свою очередь, позволят повысить производительность труда при меньших затратах (рабочей силы, сырья, энергии, необходимой для реализации производства), повысить качество выпускаемой продукции и при всем этом минимизировать негативное воздействие на окружающую среду.

*Термическая обработка в вакууме.*

Вакуумные печи можно рассматривать как альтернативу повсеместного метода закалки в масле. Нагрев происходит конвективно с давлением газа до 3 бар и/или в вакууме. Хорошее расположение зоны вывода горячих газов из нагревательной камеры дает улучшение равномерности охлаждения и великолепные результаты скорости охлаждения. Закалка возможна различными газами: азотом, гелием, водородом до давления 20 бар.

Закалка газом вызывает существенно меньшие коробления. Оборудование позволяет выбирать скорость закалки. Следовательно, деталь закаливается с той скоростью, которая дает необходимую твердость, но не быстрее, так как повышенная скорость ведет к повышенной деформации.

Наиболее известные производители вакуумных печей в Европе немецкая фирма «ALD» и польская фирма «SEKO/WARWICK» производят горизонтальные, вертикальные вакуумные печи, печи с вращающимся подом во время цикла охлаждения. Диффузионный насос NH35 в печах с вращающимся подом позволяет работать с рабочим вакуумом 2∙10мбар.

Вакуумные печи SWL c круглой нагревательной камерой и нагревательными элементами из изогнутого графита, со вспомогательным оборудованием оборудованием конвекционного нагрева ConFlap в настоящее время являются авангардом конструкций вакуумных печей.

Вакуумная термическая обработка благоприятна с точки зрения окружающей среды. Отпадают такие экологические проблемы, как масло, моющие средства или закалочные соли.

Вакуумные установки для термической обработки работают:

* с равномерным нагревом,
* высокой равномерностью температуры,
* равномерной закалкой,
* изменяемой скоростью закалки,
* высокой мощностью закалки,
* коротким временем циклов,  конвективным нагревом.
* Вакуумные печи гарантируют:
* незначительные коробления,
* надежность,
* экономичность.

*Вакуумная цементация и нитроцементация****.***

Вакуумная цементация и нитроцементация представляют собой наиболее эффективные способы насыщения сталей. В качестве насыщающей атмосферы при цементации используют ацетилен, при нитроцементации ацетилен и аммиак.

Разработана уникальная технология вакуумной цементации FineCarb, которая основывается на смеси трех газов. Эта технология гарантирует чистый процесс без внутреннего окисления, которое можно наблюдать при технологии основанной на ацетилене.

Вакуумная цементация проводится в вакууме при давлении 1-15 Мбар в углеродсодержащей среде, где носителем является этилен с ацетиленом, смешанные с водородом или аммиаком в определенной запатентованной пропорции.

Возможно использование газов пропана (С2Н4), этилена(С22Н2) или ацетилене (С22Н2).

*Ионное азотирование.*

Ионное азотирование (азотирование в тлеющем разряде) является новым высокоэффективным методом поверхностного упрочнения деталей.

Первые установки для ионного азотирования были созданы фирмой «Клокнер Ионен» в г.Кельне Германия. Широко используется в Швейцарии, Франции, США.

Методом ионного азотирования можно обрабатывать улучшаемые, специальные, инструментальные стали, а также чугуны.

Сущность ионного азотирования заключается в следующем. В разреженной азотсодержащей атмосфере между катодом (деталью) и стенками камеры электрической печи, которая заземлена и является анодом, возбуждается тлеющий разряд, и ионы газа, бомбардируя поверхность катода, нагревают его до температуры насыщения.

Рабочая температура процесса ионного азотирования выбирается в зависимости от обрабатываемого материала и может колебаться от 350 до 600°С (для улучшаемых сталей 500°С - 540°С). Напряжение 400-1100 В, разрежение 133-1330 Па.

Рабочее давление лимитируется свойствами тлеющего разряда. При давлении ниже 133 Па энергия ионов недостаточна для нагрева обрабатываемой детали до рабочей температуры, при давлении выше 1330 Па нарушается стабильность разряда, тлеющий разряд переходит в дуговой, что сопровождается появлением на поверхности оплавленных микрократеров

Выбор оптимального давления зависит от сложности конфигурации детали, так как с изменением давления изменяется протяженность каждой части разряда. С увеличением давления от 133 до 1330 Па область каждой части разряда уменьшается. Это необходимо учитывать для обеспечения равномерности диффузионного слоя по периметру изделия.

Плотность тока в больших пределах (0,5-20 мА/м2) не оказывает влияния на процесс азотирования.

В качестве азотсодержащих газов применяют аммиак, азот и смесь азота с водородом.

Глубина азотированного слоя может быть 0,2-0,8мм. Твердость 80-92 HRN15.

*Современные закалочные среды.*

В области объемной термообработки при закалке валков в Германии используется новое синтетическое закалочное масло ‛SYNSBOL 9000‛ на основе экологически и чистых материалов, которые характеризуются устойчивостью к испарению, низкой вязкостью и хорошими закалочными свойствами, а также имеет высокую долговечность и дает эффект светлой закалки; возможно изменение охлаждающей способности масла в зависимости от легирования стали. Созданы малогабаритные переносные приборы для измерения охлаждающей способности различных закалочных сред, снабженные портативным процессором с блоком памяти и принтером.

В Германии разработан новый раствор полимера Aqua-Quench 3150 для спрейерного охлаждения при индукционной закалке. Полимерные растворы позволяют быстро и равномерно охлаждать нагретые изделия, не вызывают их коррозию, не содержат нитратов, не воспламеняются и не образуют дым при закалке, т.е. являются экологически чистыми. Очистка деталей после закалки в этих средах не вызывает затруднений.

Применение полимерных закалочных сред и управляемой компьютером спрейерной закалки дает возможность получать материалы с требуемыми свойствами. Спрейерная и струйная закалка позволяет регулировать скорость охлаждения, уменьшить коробление, получить высокую и равномерную твердость при легкости очистки поверхности, безопасности работы, нетоксичности, уменьшении загрязнения окружающей среды и стоимости операций такой термической обработки.

*Нитроцементация (цианирование) стали.*

Нитроцементация (цианирование) стали — химико-термическая обработка с одновременным поверхностным насыщением изделий азотом и углеродом при повышенных температурах с последующими закалкой и отпуском для повышения износо- и коррозионной устойчивости, а также усталостной прочности. Нитроцементация может проводиться в газовой среде при температуре 840..860°С — нитроцианирование, в жидкой среде — при температуре 820…950°С — жидкостное цианирование в расплавленных солях, содержащих группу NaCN.

Нитроцементация эффективна для инструментальных (в частности, быстрорежущих) сталей; она используется для деталей сложной конфигурации, склонных к короблению. Однако, поскольку этот процесс связан с использованием токсичных цианистых солей, он не нашел широкого распространения.

*Борирование стали.*

Борирование стали — химико-термическая обработка насыщением поверхностных слоев стальных изделий бором при температурах 900…950°С. Цель борирования — повышение твердости, износостойкости и некоторых других свойств стальных изделий. Диффузионный слой толщиной 0,05…0,15 мм, состоящий из боридов FeB и Fе2В, обладает весьма высокой твердостью, стойкостью к абразивному изнашиванию и коррозионной стойкостью. Борирование особенно эффективно для повышения стойкости (в 2…10 раз) бурового и штампового инструментов.

*Цинкование (Zn), алюминирование (Аl), хромирование (Сr), силицирование (Si) сталей.*

Цинкование (Zn), алюминирование (Аl), хромирование (Сr), силицирование (Si) сталей выполняются аналогично цементации с целью придания изделиям из стали некоторых ценных свойств: жаростойкости, износостойкости, коррозионной устойчивости. В настоящее время все большее распространение получают процессы многокомпонентного диффузионного насыщения

*Термомеханическая обработка (ТМО) стали.*

Термомеханическая обработка (ТМО) стали — совокупность операций термической обработки с пластической деформацией, которая проводится либо выше критических точек (ВТМО), либо при температуре переохлажденного (500… 700°С) аустенита (НТМО). Термомеханическая обработка позволяет получить сталь высокой прочности (до 270 МПа). Формирование структуры стали при ТМО происходит в условиях повышенной плотности и оптимального распределения дислокаций.

Окончательными операциями ТМО являются немедленная закалка во избежании развития рекристаллизации и низкотемпературный (Т=100…300 °С) отпуск.

Термомеханическая обработка с последующими закалкой и отпуском позволяют получить очень высокую прочность ( s= 2200…3000 МПа) при хорошей пластичности (d = 6…8%, y= 50…60%) и вязкости. В практических целях большее распространение получила ВТМО, обеспечивающая наряду с высокой прочностью хорошее сопротивление усталости, высокую работу распространения трещин, а также сниженные критическую температуру хрупкости, чувствительность к концентраторам напряжений и необратимую отпускную хрупкость.

ВТМО осуществляется в цехах прокатного производства на металлургических заводах, например, при упрочнении прутков для штанг, рессорных полос, труб и пружин.

*Отпуск стали.*

Отпуск стали смягчает действие закалки, уменьшает или снимает остаточные напряжения, повышает вязкость, уменьшает твердость и хрупкость стали. Отпуск производится путем нагрева деталей, закаленных на мартенсит до температуры ниже критической. При этом в зависимости от температуры нагрева могут быть получены состояния мартенсита, тростита или сорбита отпуска. Эти состояния несколько отличаются от соответственных состояний закалки по структуре и свойствам: при закалке цементит (в троостите и сорбите) получается в форме удлиненных пластинок, как в пластинчатом перлите. А при отпуске он получается зернистым, или точечным, как в зернистом перлите.

Преимуществом точечной структуры является более благоприятное сочетание прочности и пластичности. При одинаковом химическом составе и одинаковой твердости сталь с точечной структурой имеет значительно более высокое относительное сужение, ударную вязкость, повышенное удлинение и предел текучести по сравнению со сталью с пластинчатой структурой.

Отпуск разделяют на низкий, средний и высокий в зависимости от температуры нагрева.

Для определения температуры при отпуске изделия пользуются таблицей цветов побежалости.

|  |  |
| --- | --- |
| Цвета побежалости. | |
| Серый | 330-350°С |
| Голубой | 325°С |
| Синий | 300°С |
| Фиолетовый | 280°С |

Тонкая пленка окислов железа, придающая металлу различные быстро меняющиеся цвета — от светло-желтого до серого. Такая пленка появляется, если очищенное от окалины стальное изделие нагреть до 220°С; при увеличении времени нагрева или повышении температуры окисная пленка утолщается и цвет ее изменяется. Цвета побежалости одинаково проявляются как на сырой, так и на закаленной стали.

При низком отпуске (нагрев до температуры 200-300° ) в структуре стали в основном остается мартенсит, который, однако, изменяется решетку. Кроме того, начинается выделение карбидов железа из твердого раствора углерода в альфа-железе и начальное скопление их небольшими группами. Это влечет за собой некоторое уменьшение твердости и увеличение пластических и вязких свойств стали, а также уменьшение внутренних напряжений в деталях.

Для низкого отпуска детали выдерживают в течение определенного времени обычно в масляных или соляных ваннах. Если для низкого отпуска детали нагревают на воздухе, то для контроля температуры часто пользуются цветами побежалости, появляющимися на поверхности детали.

**Цвет побежалости**

**Температура,**

**°С**

**Инструмент, который следует отпускать**

**Бледно-желтый**

210

—

**Светло-желтый**

220

Токарные и строгальные резцы для обработки

чугуна и стали

**Желтый**

230

Тоже

**Темно-желтый**

240

Чеканы для чеканки по литью

**Коричневый**

255

—

**Коричнево-красный**

265

Плашки, сверла, резцы для обработки меди,

латуни, бронзы

**Фиолетовый**

285

Зубила для обработки стали

**Темно-синий**

300

Чеканы для чеканки из листовой меди, латуни и

серебра

**Светло-синий**

325

—

**Серый**

330

—

Появление этих цветов связано с интерференцией белого света в пленках окисла железа, возникающих на поверхности детали при ее нагреве. В интервале температур от 220 до 330 ° в зависимости от толщины пленки цвет изменяется от светло-желтого до серого. Низкий отпуск применяется для режущего, измерительного инструмента и зубчатых колес.

При среднем (нагрев в пределах 300-500°) и высоком (500-700°) отпуске сталь из состояния мартенсита переходит соответственно в состояние тростита или сорбита. Чем выше отпуск, тем меньше твердость отпущенной стали и тем больше ее пластичность и вязкость.

При высоком отпуске сталь получает наилучшее сочетание механических свойств, повышение прочности, пластичности и вязкости, поэтому высокий отпуск стали после закалки ее на мартенсит назначают для кузнечных штампов, пружин, рессор, а высокий — для многих деталей, подверженных действию высоких напряжений (например, осей автомобилей, шатунов двигателей).

Для некоторых марок стали отпуск производят после нормализации. Этот относится к мелкозернистой легированной доэвтектоидной стали (особенно никелевой), имеющий высокую вязкость и поэтому плохую обрабатываемость режущим инструментом.

Для улучшения обрабатываемости производят нормализацию стали при повышенной температуре (до 950-970°), в результате чего она приобретает крупную структуру (определяющую лучшую обрабатываемость) и одновременно повышенную твердость (ввиду малой критической скорости закалки никелевой стали). С целью уменьшения твердости производят высокий отпуск этой стали.

*Современные технологии термической обработки валков.*

В настоящее время мировой рынок ориентирован на потребление валков из высоколегированных сталей. Новые материалы и технологии позволяют увеличить широкий спектр качественных показателей валков и обеспечивают глубину рабочего слоя опорных валков до 100мм, рабочих – до 60мм, разброс значений твердости по поверхности 1-2HSD, а по глубине рабочего слоя до 4HSD.

С целью увеличения глубины закаленного слоя повышения эксплуатационных характеристик, уменьшения уровня остаточных напряжений широко используется спрейерная, индукционная закалка и дифференцированная термическая обработка.

На фирме Steinhoff широко применяется индукционная закалки, в том числе двухчастотная. Используется индукционная закалка с поступательным движением кольцевого индуктора, индукционная закалка с нагревом и охлаждением всей поверхности бочки валка.

Широко используется дифференцированная термообработка с газовым скоростным нагревом поверхности бочки и спрейерной закалкой в вертикальном положении.

Так на фирме Gonterman – Peipers при термообработке валков из быстрорежущих и высокохромистых марок сталей особое значение придается многократным отпускам для снижения количества остаточного аустенита и изотермической закалке на бейнит для снижения уровня закалочных напряжений. При закалке валков широко используется водовоздушное и воздушное охлаждение

Главным достоинством высоколегированных сталей является высокая прокаливаемость и соответственно глубина закаленного слоя. Для реализации высокого потенциала хромистых сталей в Мире широко внедряется технология двухчастотной закалки, которая позволяет увеличить закаленные слой с 45мм до 60мм.

При последовательной индукционной закалке валок подвешивается вертикально в машине, состоящей в основном из металлической рамы, снабженной опорой и направляющей системой для индукторов и валка, с управлением разными движениями: - вращение выполняется со скоростью около 30 об/мин, что обеспечивает равномерных нагрев и, следовательно, закалку валка;

* перемещение через индукторы и системы закалки производится с постоянной скоростью,которая, однако, может регулироваться от 0.2 до 2мм/с в зависимости от диаметра валков.

Частота зависит от требований к закалке и может колебаться в зависимости от диаметра валка:

* частота в 1000Гц сообщает глубину закалки от 12 до 15мм валкам диаметром от 250 до 500мм;
* частота 250Гц сообщает глубину закалки от 15 до 20мм валкам диаметром от 250 до

1200мм;

* двойная частота 50/250Гц, все более широко используется для валков большого диаметра(1200мм и более).
* валок проходит через первый индуктор с частотой 50Гц, который образует тепловой барьер на глубине; он снижает точку превращения Аc3 ниже зоны закалки; - затем валок попадает во второй индуктор с частотой 250Гц, тепло от которого как компенсирует падение температуры, вызванное потерями через излучение, так и позволяет произвести немагнитный фазовый нагрев до окончательной температуры закалки в зоне, предварительно нагретой при частоте 50Гц. Глубина закалки зависит также от времени нагрева, т.е. от скорости с которой валок проходит через индуктор.

Индукционный нагрев токами с частотой 50 и 250Гц позволить увеличить глубину поверхностного слоя, прогретого выше критической точки Ас1 (Аc3). А интенсивное охлаждение после нагрева позволит увеличить закаленный слой.

После закладки хромистых сталей сохраняется значительное количество остаточного аустенита. Для уменьшения количества остаточного аустенита технология термообработки должна включать криогенную обработку. Криогенная обработка позволить снизить содержание остаточного аустенита до 5%, повысить твердость на 3-4 HSD, снизить разброс твердости до 2HSD. Таким образом, актуальной проблемой перехода на выпуск конкурентоспособных валков из высокохромистых сталей является создание участка двухчастотной закалки и обработки холодом.

**Заключение.**

В данной статье рассмотрены следующие виды термообработки: термическая обработка в вакууме, вакуумная цементация и нитроцементация, ионное азотирование, борирование стали, Нитроцементация (цианирование) стали, цинкование (Zn), алюминирование (Аl), хромирование (Сr), силицирование (Si) сталей, отпуск стали, , а так же рассмотрены современные закалочные среды и современные технологии термической обработки валков. Каждый из способов проанализирован с перспективой на сегодня. По итогу можно сказать, что каждый из этих способов востребован. Так как каждый способ даёт такие результаты, как: получение деталей с высокими механическими и технологическими свойствами за счёт изменения кристаллической решётки и физикомеханических свойств материала. Высокая производительность процесса. Но у каждого способа есть недостатки: Ограничения по массе, габаритам и материалу. В ряде случаев – высокая стоимость оснастки.

**Библиографический список**

1. Перебоева А.А. Технология термической обработки металлов. // [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://clck.ru/FBrmJ (дата обращения: 10.02.2019)
2. Новиков И.И. Металловедение, термообработка и рентгенография. // [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://clck.ru/FBrng (дата обращения: 08.02.2019)
3. Зинченко В.М. Инженерия поверхности зубчатых колес методами химикотермической обработки. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://lib-bkm.ru/12262

(дата обращения: 09.02.2019)

1. Берлин Е.В. Плазменная химико-термическая обработка поверхности стальных деталей. // [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://lib-bkm.ru/14122

(дата обращения: 10.02.2019)

1. Андрияхин В.М. Процессы лазерной сварки и термообработки. // [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://lib-bkm.ru/14098 (дата обращения: 10.02.2019)
2. Артингер И. Инструментальные стали и их термическая обработка. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://lib-bkm.ru/load/88-1-0-605 (дата обращения: 07.02.2019).
3. Башнин Ю.А. Технология термической обработки стали. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://lib-bkm.ru/12954 (дата обращения: 10.02.2019).
4. Бернштейн М.Л. (1983) Металловедение и термическая обработка стали. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://lib-bkm.ru/14161 (дата обращения: 08.02.2019)
5. Балановский А.Е. (2006) Плазменное поверхностное упрочнение металлов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https https://lib-bkm.ru/13146 (дата обращения: 07.02.2019)