**«Основы термической обработки стали. Технология термической обработки стали. Влияние термической обработки на механические свойства стали»**

Доклад подготовлен Яскиным Р.Н.,

преподавателем ФКП образовательное

учреждение № 305

**Введение**

В настоящее время конструкторские успехи настолько значительны, что вопрос о материалах, способных работать под нагрузкой при высоких температурах, не только оказался в числе основных, но и приобрел характер одной из главных проблем, определяющих возможности дальнейшего развития этой передовой отрасли техники. В связи с этим металлургические изыскания ведутся по двум направлениям: главное из них – это удовлетворение потребностей в материалах с высоким пределом длительной прочности при высоких температурах; другое – изыскание материалов для высоконагруженных деталей стационарных газотурбинных установок, работающих при менее высоких температурах, но рассчитанных на более длительные сроки службы. Таким образом, появление жаропрочных материалов стало следствием интенсивного развития газотурбинной техники. История их дальнейшей эволюции тесно связана с развитием газовой турбины, сыгравшей революционную роль в создании реактивной авиации. Однако не совсем правильно представлять, что спрос на высокотемпературные металлы, вызванный появлением и становлением газовой турбины, – это единственный стимулирующий фактор развития металлургии жаропрочных сплавов. Выдающиеся успехи в разработке жаропрочных материалов вряд ли были бы возможны, если бы им не предшествовали многолетние интенсивные изыскания таких материалов для нужд энергетики, нефтяной и химической промышленности и большая теоретическая работа по изучению поведения металлов при высоких температурах. В настоящее время в распоряжении конструкторов авиационной и газотурбинной техники имеется богатый ассортимент жаропрочных деформируемых и литейных сталей и сплавов на основе железа, никеля, титана и алюминия, способных служить материалами для тяжелонагруженных узлов и деталей турбин, работающих при различных температурах.

Лекция

**Основы термической обработки стали. Технология термической обработки стали. Влияние термической обработки на механические свойства стали.**

Термической обработкой называется совокупность операций нагрева, выдержки и охлаждения твердых металлических сплавов с целью получения заданных свойств за счет изменения внутреннего строения и структуры. Термическая обработка используется в качестве промежуточной операции для улучшения обрабатываемости резанием, давлением и др. и как окончательная операция технологического процесса, обеспечивающая заданный уровень физико-механических свойств детали.

Основными факторами любого вида термической обработки являются температура, время, скорость нагрева и охлаждения.

Виды термической обработки стали. Различают три основных вида термической обработки металлов:

– собственно термическая обработка, которая предусматривает только температурное воздействие на металл;

– химико-термическая обработка, при которой в результате взаимодействия с окружающей средой при нагреве меняется состав поверхностного слоя металла и происходит его насыщение различными химическими элементами;

– термомеханическая обработка, при которой структура металла изменяется за счет термического и деформационного воздействия.

Основные виды собственно термической обработки стали:

– отжиг первого рода – нагрев, выдержка и охлаждение стального изделия с целью снятия остаточных напряжений и искажений кристаллической решетки после предшествующей обработки;

– отжиг второго рода – нагрев выше температуры фазового превращения и медленное охлаждение, для получения равновесного фазового состава стали;

– закалка – нагрев выше температур фазового превращения с последующим быстрым охлаждением для получения структурно неравновесного состояния;

– отпуск – нагрев закаленной стали ниже температур фазовых превращений и охлаждение для снятия остаточных напряжений после закалки. Если отпуск проводится при комнатной температуре или несколько ее превышающей, он называется старением.

*Отжиг и нормализация.*

Отжиг – термическая обработка, при которой сталь нагревается до определенной температуры, выдерживается при ней и затем медленно охлаждается в печи для получения равновесной, менее твердой структуры, свободной от остаточных напряжений.

К отжигу I рода, не связанному с фазовыми превращениями в твердом состоянии, относятся:

– диффузионный отжиг (или гомогенизация) – нагрев до 1000 – 1100 °С для устранения химической неоднородности, образовавшейся при кристаллизации металла. Гомогенизации подвергают слитки или отливки высоколегированных сталей. Получается крупнозернистая структура, которая измельчается при последующем полном отжиге или нормализации;

– рекристаллизационный отжиг, который применяется для снятия наклепа после холодной пластической деформации. Температура нагрева чаще всего находится в пределах 650–700°С;

– отжиг для снятия внутренних напряжений. Применяют с целью уменьшения напряжений, образовавшихся в металле при литье, сварке, обработке резанием и т. д. Температура отжига находится в пределах 200–700°С, чаще 350–600°С.

Отжиг II рода (или фазовая перекристаллизация) может быть полным и неполным;

– полный отжиг – нагрев стали на 30 – 50° выше верхней критической точки (линия С.S) с последующим медленным охлаждением. При этом отжиге происходит полная перекристаллизация: при нагреве феррито-перлитная структура переходит в аустенитную, а при охлаждении аустенит превращается обратно в феррит и перлит. Полному отжигу подвергают отливки, поковки, прокат для измельчения зерна, снятия внутренних напряжений. При этом повышаются пластичность и вязкость.

– неполный отжиг отличается от полного тем, что сталь нагревают до более низкой температуры (на 30 – 50° выше температуры перлитного превращения).

При этом произойдет перекристаллизация только перлитной составляющей. Это более экономичная операция, чем полный отжиг, так как нагрев производится до более низких температур. При неполном отжиге улучшается обрабатываемость резанием в результате снижения твердости и повышения пластичности стали.

– изотермический отжиг заключается в нагреве и выдержке при температуре на 30 – 50° выше верхней критической точки, охлаждении до 600 – 700°С, выдержке при этой температуре до полного превращения аустенита в перлит и последующем охлаждении на воздухе. При таком отжиге уменьшается время охлаждения, улучшается обрабатываемость резанием. Применяется для легированных сталей.

Нормализация – разновидность отжига; при нормализации охлаждение проводится на спокойном воздухе. Скорость охлаждения несколько больше, чем при обычном отжиге, что определяет некоторое отличие свойств отожженной и нормализованной стали.

Закалка – это термическая обработка, которая заключается в нагреве стали до температур, превышающих температуру фазовых превращений, выдержке при этой температуре и последующем охлаждении со скоростью, превышающей критическую минимальную скорость охлаждения. Основной целью закалки является получение высокой твердости, упрочнение. В основе закалки лежит аустенитно-мартенситное превращение.

Температура нагрева под закалку легированных сталей обычно выше, чем для углеродистых. Диффузионные процессы в легированных сталях протекают медленнее, поэтому для них требуется более длительная выдержка. Нагрев легированных сталей до более высокой температуры и более длительная выдержка не сопровождается ростом зерна, так как легирующие элементы снижают склонность к росту зерна при нагреве. После закалки структура состоит из легированного мартенсита.

Для достижения максимальной твердости при закалке стремятся получать мартенситную структуру. Минимальная скорость охлаждения, необходимая для переохлаждения аустенита до мартенситного превращения, называется критической скоростью закалки. Скорость охлаждения определяется видом охлаждающей среды.

Обычно для закалки используют кипящие жидкости: воду; водные растворы солей и щелочей; масла.

Выбор конкретной закалочной среды определяется видом изделия. На пример, воду с температурой 18 – 25°С используют в основном при закалке деталей простой формы и небольших размеров, выполненных из углеродистой стали. Детали более сложной формы из углеродистых и легированных сталей закаляют в маслах. Для закалки легированных сталей часто используют водные растворы NаСl и NaОН с наиболее высокой охлаждающей способностью. Для некоторых легированных сталей достаточная скорость охлаждения обеспечивается применением спокойного или сжатого воздуха.

Из-за пониженной теплопроводности легированных сталей их нагревают и охлаждают медленнее.

Важными характеристиками стали, необходимыми для назначения технологических режимов закалки, являются закаливаемость и прокаливаемость.

Закаливаемость характеризует способность стали к повышению твердости при закалке и зависит главным образом от содержания углерода в стали. Закаливаемость оценивают по твердости поверхностного слоя стального образца после закалки.

Прокаливаемость характеризует способность стали закаливаться на требуемую глубину. Прокаливаемость оценивается по расстоянию от поверхности изделия до слоя, в котором содержится не менее 50 % мартенсита. Зависит прокаливаемость от критической скорости охлаждения: чем меньше критическая скорость закалки, тем выше прокаливаемость. На прокаливаемость оказывают влияние химический состав стали, характер закалочной среды, размер и форма изделия и многие другие факторы. Легирование стали способствует увеличению ее прокаливаемости. Прокаливаемость деталей из среднеуглеродистой стали при закалке в масле ниже, чем при закалке в воде. Прокаливаемость резко уменьшается с увеличением размеров заготовки.

При сквозной прокаливаемости по сечению изделия механические свойства одинаковы, при несквозной прокаливаемости в сердцевине наблюдается снижение прочности, пластичности и вязкости металла. Прокаливаемость является важной характеристикой стали и при выборе марки стали рассматривается наряду с ее механическими свойствами, технологичностью и себестоимостью.

Способы закалки стали: закалка в одном охладителе, при которой нагретая деталь погружается в охлаждающую жидкость и остается там до полного охлаждения. Наиболее простой способ. Недостаток – возникновение значительных внутренних напряжений. Закалочная среда – вода для углеродистых сталей сечением более 5 мм, масло – для деталей меньших размеров и легированных сталей;

– закалка в двух средах, при которой деталь до 300 – 400°С охлаждают в воде, а затем переносят в масло. Применяют для уменьшения внутренних напряжений при термообработке изделий из инструментальных высокоуглеродистых сталей. Недостаток – трудность регулирования выдержки деталей в первой среде;

– ступенчатая закалка, при которой деталь быстро охлаждается погружением в соляную ванну с температурой, немного превышающей температуру мартенситного превращения, выдерживается до достижения одинаковой температуры по всему сечению, а затем охлаждается на воздухе. Медленное охлаждение на воздухе снижает внутренние напряжения и возможность коробления.

Недостаток – ограничение размера деталей;

– изотермическая закалка, при которой деталь выдерживается в соляной ванне до окончания изотермического превращения аустенита. Применяют для конструкционных легированных сталей. При такой закалке обеспечивается достаточно высокая твердость при сохранении повышенной пластичности и вязкости;

– закалка с самоотпуском, при которой в закалочной среде охлаждают только часть изделия, а теплота, сохранившаяся в остальной части детали после извлечения из среды, вызывает отпуск охлажденной части. Применяют для термообработки ударного инструмента типа зубил, молотков, которые должны сочетать высокую твердость и вязкость;

– обработка холодом состоит в продолжении охлаждения закаленной стали ниже 0 °С до температур конца мартенситного превращения (обычно не ниже – 75 °С). В результате обработки холодом повышается твердость и стабилизуются размеры деталей. Наиболее распространенной является охлаждающая среда смеси ацетона с углекислотой.

Отпуск – это заключительная операция термической обработки стали, которая заключается в нагреве ниже температуры перлитного превращения (727 °С), выдержке и последующем охлаждении. При отпуске формируется окончательная структура стали. Цель отпуска – получение заданного комплекса механических свойств стали, а также полное или частичное устранение закалочных напряжений.

*Виды отпуска.*

– низкий отпуск проводят при 150–200 °С для снижения внутренних напряжений и некоторого уменьшения хрупкости мартенсита. Закаленная сталь после низкого отпуска имеет структуру отпущенного мартенсита, твердость ее почти не снижается, а прочность и вязкость повышаются. Низкий отпуск применяют для углеродистых и низколегированных сталей, из которых изготавливается режущий и измерительный инструмент, а также для машиностроительных деталей, которые должны обладать высокой твердостью и износостойкостью.

– средний отпуск проводят при 350 – 450°С для некоторого снижения твердости при значительном увеличении предела упругости. Структура стали представляет троостит отпуска, обеспечивающий высокие пределы прочности, упругости и выносливости, а также улучшение сопротивляемости действию ударных нагрузок. Этот отпуск применяют для пружин, рессор и для инструмента, который должен иметь значительную прочность и упругость при достаточной вязкости.

– высокий отпуск проводят при 440 – 650 °С для достижения оптимального сочетания прочностных, пластических и вязких свойств. Структура стали представляет собой однородный сорбит отпуска с зернистым строением цементита.

Высокий отпуск применяется для конструкционных сталей, детали из которых подвергаются действию высоких напряжений и ударным нагрузкам. Термическая обработка, состоящая из закалки с высоким отпуском (улучшение), является основным видом термической обработки конструкционных сталей.

Отпуск легированных сталей проводят при более высоких температурах, чтобы ускорить диффузию легирующих элементов. Все легирующие элементы, особенно хром, молибден, кремний, затрудняют процесс распада мартенсита при нагреве. Структура отпущенного мартенсита может сохраняться при 400 – 600°С.

При одинаковой температуре отпуска прочность и пластичность легированных сталей выше, чем углеродистых.

Искусственное старение – это отпуск при невысоком нагреве. При искусственном старении детали нагревают до температуры 120 – 150°С и выдерживают при ней в течение 10 – 35 часов. Длительная выдержка позволяет, не снижая твердости закаленной стали, стабилизировать размеры деталей. Искусственное старение значительно ускоряет процессы, которые происходят при естественном старении. Естественное старение заключается в выдержке деталей и инструмента при комнатной температуре и длится три и более месяцев.

Поверхностная закалка – это термическая обработка, при которой закаливается только поверхностный слой изделия на заданную глубину, тогда как сердцевина изделия остается незакаленной. В результате поверхностный слой обладает высокой прочностью, а сердцевина изделия остается пластичной и вязкой, что обеспечивает высокую износостойкость и одновременно стойкость к динамическим нагрузкам.

В промышленности применяют следующие методы поверхностной закалки:

– закалку с индукционным нагревом токами высокой частоты при массовой обработке стальных изделий;

– газопламенную поверхностную закалку пламенем газовых или кислород- ацетиленовых горелок (температура пламени 2400 – 3000°С) для единичных крупных изделий;

– закалку в электролите для небольших деталей в массовом производстве;

– лазерную закалку, позволяющую существенно увеличить износостойкость, предел выносливости при изгибе и предел контактной выносливости.

Закалка с индукционным нагревом (нагрев ТВЧ) – наиболее распространенный способ поверхностной закалки.

Преимущества поверхностной закалки ТВЧ: регулируемая глубина закаленного слоя; высокая производительность; возможность автоматизации; отсутствие безуглероживания и окалинообразования; минимальное коробление детали. Недостатком является высокая стоимость индуктора, индивидуального для каждой детали.

Поверхностную закалку применяют для углеродистых сталей, почти не содержащих (около 0,4 %) углерода, для легированных сталей ее почти не применяют. Высокочастотной закалке подвергают шейки коленчатых валов, гильзы цилиндров, поршневые пальцы, пальцы рессоры и т. д. Толщина упрочняемого слоя составляет 1,5 – 3 мм, если требуется только высокая износостойкость, и возрастает до 5 – 10 мм в случае высоких контактных нагрузок и возможной перешлифовки.

Повысить комплекс механических свойств стали по сравнению с обычной термической обработкой позволяют методы, сочетающие термическую обработку с пластическим деформированием.

Термомеханическая обработка (ТМО) заключается в сочетании пластической деформации стали в аустенитном состоянии с закалкой. После закалки проводят низкотемпературный отпуск.

В зависимости от температуры, при которой сталь подвергают пластической деформации, различают два основных способа термомеханической обработки:

– высокотемпературную термомеханическую обработку (ВТМО), при которой деформируют сталь, нагретую до однофазного аустенитного состояния (выше линии С5 на диаграмме железо – цементит). Степень деформации составляет 20 – 30 %. После деформации следует немедленная закалка ;

– низкотемпературную термомеханическую обработку (НТМО), при которой сталь деформируют в области устойчивости переохлажденного аустенита (400 –600°С); температура деформации ниже температуры рекристаллизации, но выше температуры начала мартенситного превращения. Степень деформации составляет 75–95 %. Сразу после деформации проводят закалку. В обоих случаях после закалки следует низкотемпературный отпуск (100 – 300°С).

Термомеханическая обработка позволяет получить очень высокую прочность при хорошей пластичности и вязкости. Наибольшее упрочнение достигается при НТМО, но проведение ее более сложно по сравнению с ВТМО, так как требуются более высокие усилия деформации. ВТМО более технологична, она обеспечивает большой запас пластичности и лучшую конструктивную прочность.