

Лекция №9. ЖАРОСТОЙКИЕ И ЖАРОПРОЧНЫЕ СТАЛИ И СПЛАВЫ

Жаропрочными называют стали и сплавы, сохраняющие при повышенных температурах в течение определенного времени высокую механическую прочность и обладающие при этом достаточной жаростойкостью.

Жаростойкими (окалиностойкими) называют стали и сплавы, обладающие стойкостью против химического разрушения поверхности в газовых средах при температурах выше 550 град С, работающие в ненагруженном или слабонагруженном состоянии.

Жаропрочность характеризуется, в основном, пределами ползучести и длительной прочности. Ориентировочно о жаропрочности судят также по механическим свойствам, определяемым кратковременным испытанием на растяжение при рабочей температуре.

Дополнительные характеристики жаропрочности: длительная пластичность, релаксационная стойкость, предел выносливости, термостойкость и др.

Такие свойства металлов, как пластичность, упругость, прочность, значительно изменяются с изменением температуры, давления и других условий работы. На практике детали многих машин и сооружений работают под воздействием высокой температуры. В таких условиях металлы приобретают отрицательное свойство – постепенно деформироваться под воздействием даже сравнительно небольшой нагрузки. Текучесть холодного металла наступает только при сравнительно высоких напряжениях. А текучесть нагретого металла происходит под действием постоянной нагрузки даже при напряжениях, далеко не достигающих предела текучести. Металл как бы «ползёт»

Поэтому явление постепенного нарастания деформации нагретого металла без увеличения нагрузки называют **ползучестью**. Ползучесть – это пластическая деформация, своего рода медленная текучесть. Некоторые металлы, например латунь, алюминий, «ползут» даже при комнатной температуре, хотя и очень медленно. Сталь более устойчива: её ползучесть заметна только при температурах, превышающих 300–350°. Чтобы избежать поломки деталей, работающих при высоких температурах, металлурги создали специальные сорта стали, отличающиеся низкими скоростями ползучести. Ползучесть металла может вызвать не только рост деформации деталей со временем, но и ослабление затяжки болтов, плотности посадок колёс и дисков на валах и т. д.

Под термином **релаксация** напряжений обычно понимают самопроизвольное снижение механических напряжений в металле (при постоянных линейных размерах). Такие напряжения либо специально создают при сборке узлов машин и установок для обеспечения нормальной работы последних (например, крепежные соединения, пружинящие элементы), либо они неизбежно возникают в процессе изготовления деталей (технологические напряжения).

В частности, релаксация напряжения может наблюдаться при вылеживании детали после термической обработки, при низкотемпературном отпуске, при переменном нагружении в условиях заданной амплитуды деформации.

Жаропрочность стали (сплава) определяется химическим составом и структурой; к числу элементов, повышающих жаропрочность, относятся **молибден, вольфрам, ванадий, ниобий, титан, кобальт, алюминий и отчасти хром и никель**. Последний, наряду с марганцем, имеет

значение, главным образом, как аустенитообразующий элемент (поскольку **аустенитная структура создает наибольшую жаропрочность стали**). На жаропрочные свойства хром влияет меньше, чем многие другие элементы. Однако его присутствие в стали или сплаве наряду с алюминием и кремнием повышает их жаростойкость (окалиностойкость). Поэтому **хром — обязательный компонент жаропрочных сталей и сплавов**.

Классификация

К жаропрочным сталям относят сплавы на основе железа, если содержание последнего превышает 50 %.

В зависимости от суммарного содержания легирующих элементов жаропрочные стали могут быть низко-, средне- и высоколегированными.

По **микроструктуре** (получаемой после охлаждения на воздухе с высокой температуры) жаропрочные стали подразделяют на семь классов: **перлитный, мартенситный, мартенситно-ферритный, ферритный, аустенитно-мартенситный, аустенитно-ферритный, аустенитный**.

Низколегированные стали относятся к перлитному классу, среднелегированные — к перлитному, мартенситному или мартенситно-ферритному, высоколегированные — к любому из перечисленных классов, кроме перлитного.

К сплавам на железоникелевой основе относятся сплавы, основная структура которых является твердым раствором хрома и других легирующих элементов в железоникелевой основе. Суммарное содержание железа и никеля не менее 65 %.

К сплавам на никелевой основе относятся сплавы, содержащие не менее 50 % Ni, основная структура которых

является твердым раствором хрома и других легирующих элементов в никеле (содержание железа не более 6–8 %).

Стали перлитного класса

Среди низколегированных сталей высокой жаропрочностью отличаются молибденосодержащие стали, например, хромомолибденовые, хромомолибденованадиевые, хромомолибденовольфрамованадиевые, имеющие достаточно высокие сопротивление ползучести и длительную прочность при температурах до 565–580 °С. Такие стали условно называют *теплоустойчивыми*.

Сталь теплоустойчивая ^б 20072 %C×100+ЛЭ+%ЛЭ	12МХ; 12Х1МФ; 20Х1М1Ф1ТР; 20Х1М1Ф1Б1; 25ХМФ; 25Х2М1Ф; 18Х3МВ; 20Х3МВФ (перлитные стали); 15Х5; 15Х5М; 15Х5ВФ; 12Х8ВФ (мартенситные стали)
--	---

Химический состав теплоустойчивых сталей перлитного класса приведен в ГОСТ 20072–74, ГОСТ 4543–71, ТУ 14-1-1391–75. Они содержат 0,5–3,3 % Cr; 0,25–1,2 % Mo; 0,15–0,8 % V. Некоторые марки содержат 0,3–0,8 % W либо Nb.

Эти стали применяют для изготовления различных деталей в котлостроении, работающих длительное время (10 000–100 000 ч) при температурах 500–580 °С, в частности, для паропроводных и пароперегревательных труб, а также для проката и поковок, используемых в турбинах и паровых котлах высокого давления.

Стали мартенситного класса

Стали мартенситного класса содержат 4,5–12 % Cr, а также в значительно меньшем количестве Ni, W, Mo, V.

Стали марок 15X5, 15X5М, 15X5ВФ и 15X8ВФ широко применяют для изготовления элементов аппаратуры нефтеперерабатывающих заводов – деталей насосов, движков, крепежных деталей, крекингowych труб, работающих при температурах 550–600 °С. Стали этой же группы с более высоким содержанием Cr (6–10 %) и с повышенным содержанием Si (2–3 %), в основном, применяют для изготовления клапанов двигателей внутреннего сгорания.

Сталь 11X11Н2ВМФ применяют для дисков компрессоров и для других деталей, работающих при температурах до 600 °С с ограниченным сроком службы.

Стали мартенситно-ферритного класса

Стали мартенситно-ферритного класса содержат в структуре кроме мартенсита 10–25 % феррита. Основная легирующая добавка и в этих сталях — Cr (11–13 %), наряду с которым присутствуют менее значительные присадки Ni, W, Mo, Nb, V (модифицированные хромистые стали). Их термическая обработка заключается либо в закалке с отпуском, либо в нормализации с отпуском. Механические свойства при надлежащей температуре отпуска практически равноценны. Уровень жаропрочных свойств после оптимальной термической обработки для большинства сталей мартенситно-ферритного класса также примерно одинаков. Однако наиболее высокие (при обработке на одинаковую твердость) характеристики жаропрочности при 500–600 °С у стали 18X12ВМБФР.

Эти стали изготавливают в виде сортового проката и применяют в турбостроении для лопаток и дисков турбин, а также для крепежных деталей. Ориентировочная рабочая температура для стали 15X12ВНМФ — 550–580 °С и 570–600 °С — для стали 18X12ВМБФР.

Стали аустенитного класса

Стали аустенитного класса – в основном **хромоникелевые стали** с содержанием Cr и Ni в пределах от 7 до 25 % каждого, наряду с которыми присутствуют W, Mo, Ti, Nb и др.

Это самая многочисленная группа жаропрочных (и жаростойких) сталей (см. ГОСТ 5632–72).

В марках этих сталей приняты следующие обозначения для легирующих элементов: **А — N, Б — Nb, В — W, Г — Mn, К — Co, М — Mo, Н — Ni, Р — В, С — Si, Т — Ti, Ф — V, Х — Cr, Ю — Al**.

Сталь 08X18Н10Т применяют как жаропрочную и жаростойкую. При температуре до 600 °С у стали стабильные механические свойства, она устойчива против межкристаллитной коррозии и хорошо сваривается. Сталь этой марки изготавливают в виде сортового проката, поковок, листа, труб для энергетического и химического оборудования. Аналогичные свойства у стали 12X18Н12Т, которую применяют в тех же областях техники.

У хромоникельвольфрамовых аустенитных сталей (45X14Н14В2М) повышенные жаропрочность и сопротивление усталости при высоких температурах. Сталь 45X14Н14В2М находит применение для выпускных клапанов двигателей внутреннего сгорания. Для длительных сроков службы при температурах 600–650 °С рекомендуется сталь того же типа с пониженным содержанием С (до 0,15 %).

Аустенитные стали применяют, как правило, для изготовления деталей, работающих при температурах 650–700 °С весьма длительное время. Механические свойства этих сталей при температуре 20°С похожи, но пределы длительной прочности и ползучести отличаются весьма

существенно (табл. 12.4, 12.5). **Наиболее жаропрочные из них стали 09X14H19B2BP1 и 09X14H19B2BP, которые применяют для изготовления пароперегревательных и паропроводных труб установок сверхвысокого давления.**

Хромомарганцевые стали марок 30X13Г18Ф и 37X12H8Г8МФБ — заменители жаропрочных сталей с более высоким содержанием никеля. Эти стали имеют достаточно высокую длительную прочность при температурах 500–650 °С.

Сплавы на железо-никелевой основе

Сплавы ХН35ВТ, ХН35ВМТ, ХН35ВТЮ поставляют преимущественно в виде горячекатаных и кованых прутков и полос, а также поковок. Из сплавов ХН35В5Т, ХН38ВТ и Х25Н16Г7АР, в основном, изготавливают горячекатаный и холоднокатаный лист и ленту, а из сплава ХН45Ю — также и трубы. В основном, сплавы на железо-никелевой основе применяют для изготовления деталей паровых и газовых турбин.

Сплавы на никелевой основе

Основное назначение этой группы высоколегированных сплавов — изготовление рабочих лопаток и дисков газовых турбин. Диски работают при более высоких напряжениях, чем лопатки (но при несколько пониженной температуре), поэтому материал диска должен иметь высокое сопротивление ползучести (особенно на ободке) и повышенную прочность (в ступичной части).

Прочность сплавов на никелевой основе сохраняется высокой вплоть до температур 800–900 °С. Так

Для длительных сроков службы наилучшее сочетание длительной прочности и пластичности у сплава ХН65ВМТЮ, получившего широкое применение как мате-

риал для лопаточного аппарата стационарных газовых турбин ГТ-6, ГТН-9, ГТК-10, ГТК-16, ГТТ-12, ГТА-18, ГТУ-25, ГТУ-100. Этот сплав — основной лопаточный материал в стационарном газотурбостроении. Кроме того, благодаря исключительно высокой релаксационной стойкости этот сплав применяют для изготовления крепежных деталей турбин.

Из жаропрочных никелевых сплавов можно получать детали методом отливки (например, точным литьем по выплавляемым моделям).

Ко второй группе относятся сплавы марок ХН70, ХН60Ю, ХН70Ю, ХН78Т, ХН60В, ХН75МБТЮ, применяемые преимущественно как жаростойкие. Эти сплавы выпускают в виде холоднокатаного или горячекатаного листа преимущественно для деталей газопроводных систем, работающих при умеренных напряжениях в условиях весьма высоких температур (до 1100–1200 °С). У этих деталей кроме достаточной технологичности (прокатываемость, штампуемость, свариваемость) и высокого сопротивления газовой коррозии (окалиностойкость) должно быть хорошее сопротивление термической усталости (термостойкость). Всем этим требованиям отвечают сплавы на никелевой основе.