**Практическая работа**

**Тема: МИКРОСТРУКТУРА ЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ**

**Цель работы**: научиться самостоятельно анализировать структуры и по виду определить структурные составляющие легированных сталей с помощью фотографий.

**Приборы, материалы и инструменты.**

1. Фотография микроструктур изучаемых сталей.
2. Циркуль и линейка.

**Рекомендуемая литература:**

Кузьмин Б.А. Самохоцкий А.И. Металлургия, металловедение и конструкционные материалы. – М., Высш. Школа, 1997.

Легированные стали классифицируются по назначению, составу, количеству легирующих элементов и структуре.

В зависимости от назначения легированные стали делятся на:

**•** Конструкционныестали **(**цементируемые, улучшаемые,пружинно

рессорные и др.), применяемые для изготовления деталей машин: •Инструментальные стали, применяемые для изготовления режущего, измерительного и штамповогоинструмента;

• Стали с особыми свойствами, например**,** нержавеющие, жаропрочные жаростойкие и т.д.

**Низкоуглеродистые стали (цементитные)**

К низкоуглеродистым сталям относятся стали с содержанием углерода до 0,25%, например, марок 15Г; *20Х;* 18хГТ; 20х2Н4А и др.

Легированные низкоуглеродистые стали после отжига имеют структуру феррит +перлит, а так же после закалки малоуглеродистый мартенсит.

Установлено, что добавки азота вместе с нитридообразующими элементами способствует значительному измельчению зерна и повышению температуры начала роста зерна аустенита. Нитриды влияют на свойства стали также путём воздействия на кинетику превращения аустенита и на дисперсное твердение.

Высокая пластичность, мелкое зерно и особенно высокая температура его роста способствуют получению качественных сварных соединений листов толщиной от 20 мм - сталь с нитридами алюминия и до 100 мм (сталь с нитридами ванадия). Низколегированная сталь с нитридным упрочнением удовлетворительно деформируется в холодном и горячем состояниях. Сталь такого типа характеризуется высоким сопротивлением хрупкому разрушению и достаточно низким порогом хладно ломкости.

В настоящее время для изготовления различного рода сварных конструкций деталей и узлов используется большое число марок малоуглеродистых и среднелегированных сталей, соответствующих ГОСТ 380-7.1; 5521-67; 6713-75; 1050-75; 19282-73, а также техническим условиям и отраслевым стандартам.

Согласно ГОСТ 19282-73, предусматривается выпуск 28 марок низколегированной стали, применяемой для сварных конструкций в промышленном и гражданском строительстве и машиностроении.

**Химический состав (%) некоторых цементуемых (низколегированных) сталей** (ГОСТ 1050-74 и 4543-71)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Маркастали | Элементы | Другиеэлементы |
| C | Mn | Cr | Ni |
| 20Х | 0,17-0,23 | 0,5-0,8 | 0,7-1,0 | ≤0,25 | — |
| 15ХФ | 0,12-0,18 | 0,4-0,7 | 0,8-1,1 | ≤0,25 | 0,06-0,12 V |
| 12ХН2 | 0,09-0,16 | 0,3-0,6 | 0,6-0,9 | 1,5-1,9 | — |
| 12ХН3А | 0,09-0,16 | 0,3-0,6 | 0,6-0,9 | 2,75-3,15 | — |
| 20Х2Н4А | 0,16-0,22 | 0,3-0,6 | 1,25-1,65 | 3,25-3,65 | — |
| 18ХГТ | 0,17-0,23 | 0,8-1,1 | 1,0-1,3 | ≤0,25 | 0,03-0,09 Ti |
| 25ХГТ | 0,22-0,29 | 0,8-1,1 | 1,0-1,3 | ≤0,25 | 0,03-0,09 Ti |
| 18Х2Н4МА | 0,14-0,20 | 0,25-0,55 | 1,35-1,65 | 4,0-4,4 | 0,3-0,4 Mo |
| 20ХГНР | 0,16-0,23 | 0,7-1,0 | 0,7-1,0 | 0,8-1,1 | 0,001-0,005В |

*Цементуемые легированные стали* целесообразно применять для тяжело нагруженных деталей и в том числе для деталей, в которых необходимо иметь высокую твёрдость и вязкость поверхностного слоя и достаточно прочную сердцевину. В легированных цементуемых сталях, несмотря на небольшое содержание углерода, благодаря значительному количеству легирующих примесей, гораздо легче получить при термический обработке более высокую прочность и вязкость сердцевины из-за образования в ней структур бейнита или низкоуглеродистого мартенсита. Поэтому из них изготовляют ответственные детали.

*Стали хромистые (20Х), хромованадиевые (15ХФ), хромоникелевые (12ХН2).* Их при меняют для изготовления деталей небольших и средних размеров, работающих на износ при повышенных нагрузках (втулки, валики, оси, некоторые зубчатые колёса, кулачковые муфты, поршневые пальцы и др.).

*Стали хромоникелевые (12ХН3А, 20Х2Н4А), хромомарганцетитановые (18ХГТ, 25ХГТ), хромоникельмолибденовые (18Х2Н4МА).* Их применяют для деталей средних и больших размеров, работающих на износ при высоких нагрузках (зубчатые колёса, поршневые пальцы, оси, ролики и др.).

Хромоникелевые стали мало чувствительны к перегреву, хорошо прокаливаются, но их применяют ограниченно из-за дефицитности никеля. Поэтому во всех случаях, когда нет крайней необходимости, хромоникелевые стали заменяют сталями без никеля.

Цементуемые хромомарганцетитановые стали (18ХГТ, 25ХГТ) являются заменителями хромоникелевых сталей. Преимуществом сталей 18ХГТ и 25ХГТ является их наследственная мелкозернистость (размер зерна №6-8). Это технологическое свойство позволяет значительно сократить общий технологический цикл обработки и закаливать детали из этих сталей непосредственно из цементационной (газовой) печи с предварительным подстуживанием.

Борсодержащие стали (20ХГНР). В конструкционные стали бор вводят в количестве от 0,001 до 0,005% (так называемое микролегирование). Бор повышает плотность слитка, устраняет дендритную структуру. Стали с бором легче обрабатываются при горячей пластической деформации, хорошо обрабатываются резанием.

**Улучшаемые (среднелегированные) стали**

Эти стали называют улучшаемыми потому, что их часто подвергают улучшению—термической обработке, заключающейся в закалке и отпуске при высоких температурах. Улучшаемые стали должны иметь высокую прочность, пластичность, высокий предел выносливости, малую чувствительность к отпускной хрупкости, должны хорошо прокаливаться. Химический состав некоторых улучшаемых сталей приведён в таблице:

**Химический состав (%) некоторых улучшаемых среднелегированных сталей** (ГОСТ 1050-74 и 4543-71)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Маркастали | Элементы | Другиеэлементы |
| C | Mn | Cr | Ni |
| 45Х | 0,41-0,49 | 0,5-0,8 | 0,8-1,1 | ≤0,25 | — |
| 30ХРА | 0,27-0,33 | 0,5-0,8 | 1,0-1,3 | ≤0,25 | 0,001-0,005В |
| 30ХГСА | 0,28-0,34 | 0,8-1,1 | 0,8-1,1 | ≤0,25 | 0,9-1,2Si |
| 45ХН | 0,41-0,49 | 0,5-0,8 | 0,45-0,75 | 1,0-1,4 | — |
| 40ХН2МА | 0,37-0,44 | 0,5-0,8 | 0,6-0,9 | 1,25-165 | 0,15-0,25Мо |

**Хромистые стали (40Х,45Х**). **Б**лагодаря высокой прочности и достаточно хорошей прокаливаемости эти стали применяют для изготовления коленчатых валов, зубчатых колес, осей валиков, рычагов, втулок, болтов, гаек. Детали из этих сталей закаливают в масле с температуры 820-8500С. В зависимости от предъявляемых требований отпуск деталей проводят при различных температурах.

**Хромистые стали с 0,001-0,005% бора (30ХРА, 40ХР**).Они имеют повышенную прочность и прокаливаемость.

**Хромокремнемарганцевые стали (30ХГСА, 35ХГСА).** Эти стали, называемые хромансиль. Не содержат дифицитных легирующих элементов. Имеют высокие механические свойства. Хорошо свариваются и заменяют хромоникелевые и хромомолибденовые стали.

**Хромоникелевые стали (40ХН, 45 ХН**). Они имеют после термической обработки высокую прочность и пластичность и хорошо сопротивляются ударным нагрузкам. Прочность стали придает хром, а пластичность – никель. Хромоникелевые стали прокаливаются на очень большую глубину по сравнению не только с углеродистыми, но и другими легированными сталями. Указанные стали применяют для изготовления ответственных сильно нагруженных деталей – для шестерен, валов и т.п.

**Хромоникельмбденовая сталь (40ХН2МА**)**. Эта сталь в улучшенном состоянии имеет высокую прочность** при хорошей вязкости, высокую усталостную прочность, глубоко прокаливается; ее применяют для изготовления сильно нагруженных деталей, работающих в условиях больших знакопеременных нагрузок. Улучшение проводят по режиму: закалка с 8500С в масле, отпуск при 6200С.

**Пружинно–рессорные стали**

Пружинно-рессорные стали должны иметь особые свойства в связи с условиями работы пружин(цилиндрических, плоских) и рессор. Пружины и рессоры служат для смягчения толчков и ударов, действующих на конструкции в процессе работы, и поэтому основным требованием, предъявляемым к пружинно-рессорным сталям, являются высокий предел упругости и выносливости. Этим условиям удовлетворяют углеродистые стали и стали, легированные такими элементами, которые повышают предел упругости. Такими элементами являются Si, Мn, Cr, V, W. Специфическим в термической обработке рессорных листов и пружин является применение после закалки отпуска при температуре 400-5000С (в зависимости от стали). Это необходимо для получения наиболее высокого предела упругости, величина которого при более низкой или более высокой температуре отпуска получается недостаточной. Отпуск при температуре 400-5000С дает отношение σуп/σв приблизительно равное 0,8.

**Химический состав (%) некоторых пружинно-рессорных сталей (ГОСТ 14959 – 69)**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Маркастали | Элементы | Другиеэлементы |
| C | Si | Mn |
| 65Г | 0,62-0,70 | 0,17-0,37 | 0,90-1,20 | ≤0,25Cr |
| 60С2 | 0,57-0,65 | 1,50-2,00 | 0,60-0,90 | ≤0,30Cr |
| 50ХГ | 0,46-0,54 | 0,17-0,37 | 0,70-1,00 | 0,90-1,20Cr |
| 50ХФА | 0,46-0,54 | 0,17-0,37 | 0,50-0,80 | 0,80-1,10Cr0,10-0,20V |
| 65С2ВА | 0,61-0,69 | 1,50-2,00 | 0,70-1,00 | ≤0,30Cr0,80-1,20W |
| 60С2Н2А | 0,56-0,64 | 1,40-1,80 | 0,40-0,70 | ≤0,30Cr1,40-1,70Ni |
| 70С2ХА | 0,65-0,75 | 1,40-1,70 | 0,40-0,60 | 0,20-0,40Cr |

**Шарикоподшипниковые стали**

Основной шарикоподшипниковой сталью является сталь ШХ15(0,95-1–1,05% С; 1,3–1,65 %Cr). Заэвтектоидное содержание в ней углерода и хром обеспечивают получение после закалки высокой равномерной твердости, устойчивости против истирания, необходимой прокаливаемости и достаточной вязкости.

На качество стали и срок службы подшипника вредно влияют карбидные ликвация, полосчатость и сетка. На физическую однородность стали вредно влияют неметаллические (сульфидные и оксидные) и газовые включения, макро- и микропористость.

Термическая обработка подшипниковой стали включает операции отжига, закалки и отпуска. Цель отжига–снизить твердость и получить структуру мелкозернистого перлита. Температура закалки 830-8600С, охлаждение в масле. Отпуск 150-1600С. Твердость после закалки и отпуска HRC62-65; структура—бесструктурный (скрытокристаллический) мартенсит с равномерно распределёнными мелкими избыточными карбидами.

Для изготовления деталей, крупногабаритных подшипников (диаметром более 400 мм.), работающих в тяжёлых условиях при больших ударных нагрузках, применяют цементуемую сталь 20Х2Н4А. Детали крупногабаритных подшипников (кольца, ролики), изготовляемые из стали 20Х2Н4А, подвергают цементации при температуре 930-9500С в течение 50-170 часов с получением слоя глубиной 5-10мм.

**Автоматные стали**

Автоматные стали отличаются от обыкновенных углеродистых конструкционных сталей повышенным содержанием серы и фосфора.

**Химический состав (%) некоторых автоматных сталей (ГОСТ 1414-54)**

|  |  |
| --- | --- |
| Марка стали | Элементы |
| C | Mn | Si | S | P |
| А12 | 0,08-0,16 | 0,60-0,90 | 0,15-0,35 | 0,08-0,20 | 0,08-0,15 |
| А20 | 0,15-0,25 | 0,60-0,90 | 0,15-0,35 | 0,08-0,15 | ≤0,06 |
| А30 | 0,25-0,35 | 0,70-1,00 | 0,15-0,35 | 0,08-0,15 | ≤0,06 |
| А40Г | 0,35-0,45 | 1,20-1,55 | 0,15-0,35 | 0,18-0,30 | ≤0,06 |

Характерной особенностью автоматных сталей является хорошая обрабатываемость резанием на металлорежущих станках. Это объясняется повышенным содержанием серы, которая образует большое количество включений сернистого марганца МnS, нарушающих сплошность металла, а также тем, что фосфор, растворяясь в феррите, сильно снижает его вязкость. При механической обработке автоматных сталей образуется короткая, ломкая стружка, что особенно важно при работе на быстроходных станках-автоматах. Поверхность обработанных деталей получается чистой и ровной. Стойкость режещего инструмента при обработке автоматных сталей повышается, а скорость резания допускается больше, чем при обработке обыкновенных углеродистых сталей.

Недостаток автоматных сталей—пониженная пластичность, особенно в поперечном направлении. Это связано с тем, что большое количество сернистых включений образует полосчатую структуру. Поэтому автоматные стали применяют для изготовления малоответственных деталей, от которых не требуется высоких механических свойств (крепежные детали, пальцы, втулки и т.п.).

Обрабатываемость улучшают также присадкой к стали небольшого количества свинца.

**Высокомарганцовистая износостойкая сталь Г13Л**

Эта сталь, содержащая 1-1,4% С и 11–14 % Мn и относящаяся к аустенитному классу, имеет высокое сопротивление износу. Характерным для нее является то, что высокая износостойкость сочетается с высокой прочностью и низкой твердостью [σ~1000 МН /м2(100 кгс/мм2), НВ~210] в противоположность закаленным инструментальным сталям, в которых сопротивление износу обусловлено высокой твердостью. Высокая износостойкость стали Г13Л объясняется упрочнением (наклепом) аустенита при пластической деформации в процессе работы, в результате которого он в поверхностном слое превращается в мартенсит. По мере износа этого слоя, мартенсит образуется в следующем слое и т.д. При повышенных давлений, например при абразивном износе, эта сталь не имеет достаточно высокой износостойкости. Сталь Г13Л применяют для трамвайных стрелок, щек камнедробилок, козырьков ковшей, черпаков и т.п.

**Жаростойкие и жаропрочные стали и сплавы**

*К жаростойким (окалиностойким)* относят стали и сплавы, обладающие стойкостью против химического разрушения поверхности в газовых средах при температурах выше 550ºС и работающие в ненагруженном или слабонагруженном состоянии.

При высокой температуре в условиях эксплуатации в среде нагретого воздуха, в продуктах сгорания топлива происходит окисление стали (газовая коррозия). На поверхности стали образуется сначала тонкая пленка окислов, которая с течением времени увеличивается и образуется окалина.

Способность стали сопротивляться окислению при высокой температуре называется жаростойкостью (окалиностойкость).

Жаростойкость принято характеризовать температурой начала интенсивного окалинообразования в воздушной среде.

На интенсивность окисления влияет состав и строение окисной пленки. Если она пористая, окисление происходит интенсивно. Если плотная–окисление замедляется или даже совершенно прекращается.

Для получения плотной (защитной) окисной пленки сталь легируют хромом, также кремнием или алюминием. Степень жаростойкости зависит от количества находящегося в стали легирующего элемента. Так, например, сталь 15х5 с содержанием 4,5-6,0% хрома жаростойка до температуры 700ºС, сталь 12х17 (17% Сr )—до 900ºС, сталь 15х28 (28% Сr)–до 1100-1150ºС (стали 12х17 и 15х28 являются также и нержавеющими). Еще более высокой жаростойкостью (1200ºС) обладают сплавы на никелевой основе с хромом и алюминием, например, сплав ХН7ОЮ (26-29 % хроиа;2,8-3,5% алюминия).

Структура стали на жаростойкость не влияет.

К жаропрочным относят стали и сплавы, способные работать в нагруженном состоянии при высоких температурах в течение определенного времени и обладающие при этом достаточной жаростойкостью.

В отличие от прочности при нормальной (комнатной) температуре, прочность при высоких температурах, т.е. сопротивлении механическим нагрузкам при высоких температурах, называют жаропрочностью.

Характерным является, не только уменьшение прочности стали при высоких температурах, но и влияние на прочность стали при высоких температурах длительности действия приложенной нагрузки. В последнем случае под действием постоянной нагрузки сталь «ползет», поэтому данное явление названо ползучестью. Итак, ползучесть–это деформация, непрерывно увеличивающаяся и завершающаяся разрушением под действием постоянной нагрузки при длительном воздействии температуры. Для углеродистых и легированних конструкционных сталей ползучесть наблюдается при температурах выше 350ºС.

Ползучесть характеризуется пределом ползучести. Предел ползучести–это напряжение, вызывающее деформацию заданной величины (обачно от 0,1 до 1%) за определенный промежуток времени (100, 300, 500, 1000ч.) при заданной температуре.

Предел ползучести обозначает σ с тремя числовими индексами: двумя нижними и одним верхним. Первый нижний индекс означает заданное удлинение в процентах ,второй нижний индекс–заданное время испытания в часах, верхний індекс—температуру в Сº. Например σ0/600300—предел ползучести при допуске на деформацию 0,2% за 300 ч испытания при температуре 600º С.

Кроме того, жаропрочность характеризуют пределом длительной прочности σ- напряжением, вызывающим разрушение при данной температуре за данный интервал времени. Например, σ700100 –предел длительной прочности при сточасовом нагружении при 700ºС.

Факторами, способствующими жаропрочности, являються: высокая температура плавления основного металла; наличие в сплаве твердого раствора и мелкодисперстных частиц упрочняющей фазы; пластическая деформация, вызывающая наклеп; высокая температура рекристаллизации; рациональное легирование; термическая и термомеханическая обработка; введение в жаропрочные стали таких элементов, как бор, церий, ниобий, церковний, в десятих, сотых и даже тысячных долях процента.

Жаропрочные стали и сплавы классифицируют по основному признаку–температуре эксплуатации. В таблице приведен химический состав некоторых жаропрочные сталей и сплавов

Для работы при температурах до 350-400ºС применяют обычные конструкционные стали (углеродистые и малолегированные )

Для работы при температуре 400-550ºС применяют стали перлитного класса 15ХМ1МФ. Для этих сталей основной характеристикой является предел ползучести, так они предназначены главным образом для изготовления деталей котлов и турбин (например, трубы паропроводов и пароперегревателей), нагруженных сравнительно мало, но работающих длительное время (до 100000ч).

Детали из сталей перлитного класса подвергают нормализации с температуры 950-1050ºС и от пуску при 650-750ºС с получением структуры сорбита с пластической формой карбидов.

Эти стали содержат мало хрома и потому обладают невысокой жаростойкостью (до 550-600ºС).

Для работы при температуре 500-600ºС применяют стали мартенситного класса: высокохромистые, например 15Х11МФ для лопаток парових турбин: хромокремнистые (называемые сильхромами), например 40Х9С2 для клапанов моторов: сложнолегированные, например 20Х12ВНМФ для дисков, роторов, валов.

Для получения оптимальной жаропрочности детали из этих сталей подвергают закалке в масле с температуры 100-150ºС и от пуску при 700-800ºС (в зависимости от стали). Сталь 40Х9С2 после закалеи имеет структуру мартенсита и твердость НRС~60, а после отпуска–структуру сорбита, твердость НRC~30. Жаростойкость сталей мартенситного класса до температуры 750-850ºС.

Для работы при температуре 600-750оС применяют стали аустенитного класса, разделяемые на неупрочняемые (нестареющие) и упрочняемые (стареющие). Нестареющие стали—это, например, сталь 09Х14Н16Б, предназначаемоя для труб пароперегревателей и трубопроводов установок сверхвысокого давления и применяемая посте закалки с 1100-1150оС (охлаждение в воде или на воздухе).

Стареющие стали—это сложнолегированные стали, например 45Х4Н14В2М, применяемая для клапанов моторов, деталей трубопроводов, сталь 40Х15Н7Г7Ф2МС—для лопаток газовых турбин.

**Химический состав (%) некоторых жаропрочных сталей и сплавов**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Марка и класс стали | Элементы | Прочиеэлементы |
| C | Cr | Ni | Mo | V |
| 15ХМПерлитный | 0,11-0,18 | 0,8-1,1 | — | 0,4-0,55 | — | — |
| 12Х1МФ | 0,08-0,15 | 0,9-1,2 | — | 0,25-0,35 | 0,15-0,3 | — |
| 15Х11МФМартенситный | 0,12-0,19 | 10-11,5 | — | 0,6-0,8 | 0,25-0,4 | — |
| 40Х9С2 | 0,35-0,45 | 8-10 | — | — | — | 2-3 Si |
| 20Х12ВНМФ | 0,17-0,23 | 10,5-12,5 | 0,5-0,9 | 0,5-0,7 | 0,15-0,3 | 0,5-0,9 Mn0,7-1,1 W |
| 09Х14Н16БАустенитный | 0,07-0,12 | 13-15 | 14-17 | — | — | 1-2 Mn0,9-1,3 Nb |
| 45Х14Р14В2М | 0,4-0,5 | 13-15 | 13-15 | 0,25-0,4 | — | 2-2,8% W |
| 40Х15Н7Г7Ф2МС | 0,38-0,47 | 14-16 | 6-8 | 0,65-0,95 | 1,5-1,9 | 0,9-1,4 Si6-8 Mn |
| ХН77ТЮРСплав | ≤0,07 | 19-22 | Осн. | — | — | 2,4-2,8 Ti0,6-1 Al≤0.01B |
| ХН55ВМТФКЮ | ≤0,12 | 9-12 | > | 4-6, | 0,2-0,8 | 1,4-2 Ti12-16 Co 4.5-6.5 W 3.6-4.5 Al≤0.02 B |

Детали из стареющих сталей подвергают закалке в воде, масле или на воздухе с температуры 1050-1200оС с последующим длительным (8-24ч) старением при температуре 600-800оС. При нагреве под закалку происходит растворение в твёрдом растворе (аустените) карбидов и других фаз, а после охлаждения получается однородный, пересыщенный твёрдый раствор (аустенит). При старении из пересыщенного твёрдого раствора (аустенита) выделяются высокодисперсные частицы карбидов и других фаз, упрочняющие сталь.

Жаростойкость сталей аустенитного класса 800-850оС.

Для работы при 800-1100оС применяют жаропрочные сплавы на никелевой основе, например ХН77ТЮР, ХН55ВМТФКЮ для лопаток турбин. Эти сплавы стареющие и подвергаются такой же термической обработке (закалке и старению), как и стареющие стали аустенитного класса. Жаростойкость сплавов на никелевой основе до 1200ºС.

**Порядок выполнения работы**

Ознакомились с целью, заданием и методическими указаниями к лабораторной работе. Установить нужное увеличение для стальных образцов. Пользуясь фотографиями микроструктур и схемами зарисовок проанализировать структурные составляющие легированных конструкционных сталей. Сделать их зарисовки.

**Ответ должен содержать**

1. Цель работы, задание.
2. Характеристику структур исследуемых сталей.
3. Зарисовки структур сталей.
4. Протокол с приложением структурных составляющих исследуемых образцов.
5. Выводы о работе.

**Ответить на контрольные вопросы**

1. Что называется легированной сталью?
2. Какие требования предъявляются к конструкционным сталям?
3. Перечислите стали которые входят в разряд конструкционных?
4. Где применяются хромистые стали?
5. Какие стали называют быстрорежущими? Определите область их применения.
6. Расшифруйте следующие марки сталей: ХН77ТЮР, ХН55ВМТФКЮ, 40Х9С2, 30ХГСА.