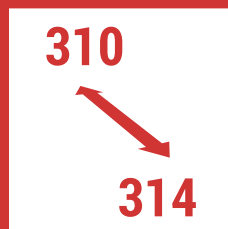




Руководство по выбору сплава





Рабочая среда

Жаропрочные сплавы почти всегда подвержены эксплуатационным условиям, меняющим их первоначальные свойства. Если среда с окислением, поперечное сечение элемента из сплава может уменьшиться из-за отслаивания, что приведет к уменьшению несущей способности. Может начаться внутреннее гранулярное окисление, невидимое невооруженным глазом, которое приведет к ослаблению или охрупчиванию сплава.

Если среда науглероживающая или азотирующая (или и та, и другая одновременно), происходит поглощение углерода и азота, вследствие чего возникает двухфазный сплав, химический состав и физические свойства которого внутри и снаружи различаются. Может возникнуть тепловая усталость и охрупчивание.

Науглероживание может происходить попеременно с окислением, а поглощение углерода подавляет первоначальную стойкость сплава к окислению. Если среда представляет собой жидкую ванну, солевой расплав или жидкий металл, сплав может подвергаться коррозии из-за паров.

Если в среде содержится сера, может потребоваться ограничение содержания никеля в сплаве, жертвуя некоторыми необходимыми свойствами. В общих чертах, содержание никеля в сплаве, который подвержен такому воздействию, должно быть меньше 14 %, одновременно содержание хрома должно быть, как минимум, 20 %.

Если в среде попеременно меняются атмосферы - окислительная и восстановительная - в сплавах с высоким содержанием никеля может возникнуть «зеленая гниль». В общем, сплавы, содержание никеля в которых превышает 45 %, могут быть подверженными такому явлению, случающемуся из-за снижения поверхностного NiO, после которого остается свободный Ni в месте появившемся во время образования слоя оксида. Поскольку оксиды хрома почти не распадаются, пористая пространственная решетка оксидов хрома, в результате приведет к появлению вида порошкообразного вещества зеленого цвета.

Кроме того, при длительном воздействии определенных температур, у некоторых жаропрочных сплавов меняются физические свойства вследствие формирования сигм или выделившихся карбидов. В зависимости от эксплуатационных условий, такие изменения могут быть опасными или не опасными, но может потребоваться выбрать более стабильный сплав. Механическая информация и напряжения, возникающие во время эксплуатации, имеют тенденцию к ускорению развития различных фаз и других явлений охрупчивания.

И в заключение, на степени окисления, науглероживания или другие типы коррозии существенно влияют температурные режимы и напряжения.



1. Среда

Выбирайте группу сплавов, предлагающих достаточную устойчивость и стойкость к среде при максимально допустимой температуре. Никогда не выбирайте сплав, руководствуясь только температурными показателями!

Золотое правило для сплавов, **стойких к окислению**:

- Минимальное содержание хрома: 20 %
- Добавление кремния и редкоземельных элементов

Золотое правило для сплавов, **стойких к сульфидированию**:

- Минимальное содержание хрома: 20 %
- Максимальное содержание никеля: 14%

2. Циклические условия

Для циклических условий выбирайте группу сплавов, у которых низкий коэффициент расширения и хорошая оксидная адгезия. У многих жаропрочных сплавов относительно высокий коэффициент расширения. Повторяющиеся расширение и сжатие повышают окисление вследствие отслаивания защитного оксидного покрытия и сокращают предел выносливости по причине теплонапряженности.

Золотое правило для сплавов, **стойких к расслаиванию и суровому термическому циклированию**:

- Мелкозернистая структура
- Минимальное содержание хрома: 18 %
- Минимальное содержание никеля: 30 %

3. Прочность

Выбирайте те сплавы, которые обеспечивают необходимую прочность и эластичность при максимально допустимых температурах. Различные жаропрочные сплавы предлагают разные характеристики прочности и пластичности при высоких температурах. Требуемые прочность и эластичность будут зависеть от степени пластичности или деформации при допустимых нагрузках, желательного ресурса стойкости и потерь физических свойств, которые можно спрогнозировать, исходя из изменений, инициированных средой. Также сплавы, которые легко расслаиваются, потеряют защитный оксид и будут подвергаться дальнейшему окислению.

Золотое правило для **высокопрочных** сплавов:

- Минимальное содержание никеля: 30 %
- Крупнозернистая структура или сплав, содержащий С, Nb, W, Co, Mo
- Незначительные добавки редкоземельных элементов.



4. Точка плавления

Выбирайте группу сплавов, которые не будут плавиться при максимально ожидаемых температурах и примите в расчет возможные изменения химического состава, которые возникнут в результате воздействия среды.

Разница в температурах плавления для жаропрочных сплавов может составлять 150 °C и более. Паспортные точки плавления являются температурами жидкостей, а плавление границ зерен может начинаться при температуре ниже на 40-80 °C от указанной. Поглощенные примеси могут снизить температуру на 75-125 °C.

Золотое правило для **тугоплавких** сплавов:

- Максимальное содержание никеля: 40 %
- Минимальное содержание хрома: 25 %
- Максимальное содержание углерода: 0,06 %
- Сведите к минимуму сплавление с укрепляющими компонентами

5. Испытания

Приведенные данные не следует считать гарантированными максимальными или минимальными значениями. Материал необходимо испытать в действительных эксплуатационных условиях, чтобы определить пригодность к характерному применению.

Решение

Из всей группы сплавов можно окончательно выбрать один или два, исходя из стоимости, наличия, простоты производства и ожидаемого срока службы.

Целесообразным может быть выбор более дорогостоящего сплава, если его повышенная прочность не ухудшается от уменьшения сечения, что приведет к минимизации теплонапряженности, или если его стойкость к среде намного лучше и потребуются меньше металла для компенсации потерь вследствие коррозии.

При сравнении конечной стоимости в нее необходимо включать трудозатраты на производство, а не только стоимость металла. Для производства более дорогих сплавов редко требуется больше трудозатрат, чем на недорогие материалы. Поэтому повышение стоимости сырья на 100 % приведет к повышению готового изделия только на 50 %.

Технические данные, иллюстрирующие свойства жаропрочных сплавов, являются полезным руководством при выборе подходящего сплава для определенного применения. Тем не менее, поведение сплавов во время длительного воздействия многих видов сред и температур невозможно полностью задокументировать или внести в таблицу. Наиболее полезным является опыт, полученный от действительного применения.



Широко применяемые жаропрочные сплавы

AISI 304 (1.4301)

Это наиболее распространенный тип нержавеющей стали. Сплав общего применения, поддающийся коррозии. У него хорошая термостойкость - до **750 °C**, после чего серьезно снижается его стойкость к окислению и отслаиванию. При длительном влиянии высоких температур на уровне приблизительно 650 °C, данный сплав подвержен затвердеванию и охрупчиванию, включая сигма-фазу и осаждение тяжелого карбида в границах зерен.

Предполагается, что данный сплав будет применяться в условиях длительных или коротких термических циклов при температуре до 800 °C.

AISI 310 (1.4845)

Этот сплав обладает свойствами и техническими данными, подобными 1.4841, однако у него лучше сопротивляемость к охрупчиванию сигма-фазой благодаря значительно меньшему содержанию кремния. Максимальная температура использования немного ниже - примерно до **1050 °C**.

AISI 314 (1.4841)

Этот сплав очень популярен из-за его высокой прочности и устойчивости к окислению. Максимальная температура использования, примерно до **1150 °C**. Подобно сплаву 1.4828, сплав 1.4841 в значительной степени подвержен охрупчиванию сигма-фазой. Благодаря более высокому содержанию никеля он обладает умеренной устойчивостью к действию серы.

Сплав 253 MA® (1.4835)

Сплав 253 MA был разработан как альтернатива сплаву AISI 310, а за его основу был взят сплав AISI 308 с незначительным добавлением редкоземельных элементов, которые обеспечили данному сплаву исключительную стойкость к окислению при температурах до 1100 °C. Благодаря низкому содержанию никеля, у этого сплава хорошая стойкость к сульфидированию в окислительной атмосфере. Восстановительная (например, H₂S) или бедная на кислород атмосфера будет очень сильно разъедать данный сплав, быстро уничтожая окарины. Благодаря твердым частицам раствора, сформированным путем добавления редкоземельных элементов, у сплава очень хорошая прочность при высоких температурах. Он больше подвержен образованию сигм, чем AISI 310, и его не рекомендуется использовать в условиях суровой термической цикличности, так как анкеры могут треснуть после длительной эксплуатации.

Этот сплав идеально подходит для длительного использования при высоких температурах свыше **850 °C**, требуя немного лучших характеристик, чем сплавы AISI 310 или AISI 309.



Широко применяемые жаропрочные сплавы

1.4828 и AISI 309 (1.4833)

Сплавы 1.4828 (близко к AISI 308) и AISI 309 (1.4833) часто взаимозаменяемые, но, по сути, это два разных сплава с похожими характеристиками. В сплаве AISI 309 содержание хрома и никеля несколько выше, чем в 1.4828, а 1.4828 содержит больше кремния, что делает его подверженным формированию сигмы.

И 1.4828, и AISI 309 - это очень хорошие жаропрочные сплавы общего применения, которые могут выдерживать температуры до **1000 °C** на сухом воздухе. Эти сплавы очень прочные, а их реальный потенциал часто недооценивают. Недостаток этих сплавов в том, что при повышении температуры оксидная окалина слабеет и при температуре 1050 °C стает критической. Эти сплавы не рекомендуется применять в местах с высокой скоростью газов (например, в местах эрозии), или где термическое циклирование от 1000 °C является регулярным явлением.

Низкое содержание никеля делает эти сплавы подходящими для применения в местах, где присутствуют SO₂ и SO₃. В отличие от 253MA® у 1.4828 и AISI 309 лучшая стойкость к H₂S и восстановительным газам только в минимальных пределах.

Спустя длительное время эти сплавы, склонные к образованию сигм, могут разламываться при эксплуатации в условиях регулярной термической цикличности. Рекомендуется использовать данные сплавы в условиях постоянных высоких температур.

Сплав 330 (1.4886)

Способный выдерживать температуру до **1150 °C** в окисленной атмосфере. У него хорошая оксидная адгезия, стойкость к расслаиванию, полностью защищен от образования сигм. Идеально подходит для поверхностей обжигательных камер, где присутствует термическая цикличность. У него хорошая прочность и термостойкость. Однако он не подходит для использования в серосодержащей среде, поскольку в нем высокое содержание никеля. Хорошо подходит для использования в атмосфере, бедной на кислород. У данного сплава хорошая стойкость к поглощению углерода и азота, и он является хорошей альтернативой сплаву Inconel 601.

Сплав Inconel 601 (2.4851)

Превосходный жаропрочный сплав, способный выдерживать температуру свыше 1100 °C. Его можно использовать при температуре до **1200 °C**. Этот сплав сохраняет свою высокую прочность вплоть до температуры плавления (около 1350 °C). Он не поддается образованию сигм и подходит для применения в условиях термической цикличности и тепловых ударов. У его основного компонента исключительная адгезия оксидного слоя благодаря добавлению алюминия.

Его не рекомендуется применять в газовой атмосфере, содержащей серу или оксид ванадия, так как в данном сплаве высокое содержание никеля.

Данный сплав, по сравнению с другими сплавами, высокопрочный, и его следует использовать при температурах свыше 1150 °C.



Химический состав наиболее широко используемых жаропрочных сплавов для применения в качестве огнеупорного материала и применения внутри печей

Такие компоненты, как сера и фосфор, являются нежелательными, поскольку их тяжело полностью вывести из сплава, и обычно их содержание в сплаве в любом случае составляет 0,01-0,045 %. Но это не упоминается в таблице химического состава. Многие сплавы также доступны в виде отливок, и по этой причине обычно представляется возможным повысить содержание углерода, кремния и ниобия для того, чтобы улучшить прочность и усталостные свойства.

Качество нержавеющей стали в огнеупорных анкерах

Производство огнеупорных анкеров - это не только штампованные или гнутые изделия с определенным составом. Необходимо учитывать предполагаемое использование такого изделия. «АНКЕРНЫЕ СИСТЕМЫ» - одна из немногих компаний, поддерживающих и информирующих своих клиентов обо всем, что касается металлургической подготовки для каждого вида применения.

Крайне важно знать, какой тип материала необходимо использовать и как такое сырье необходимо обрабатывать. Сплав AISI 310 не всегда AISI 310. Все не так просто, чтобы получить огнеупорный анкер высокого качества, необходимо учитывать много других параметров, присущих свойствам металла! Одного химического состава недостаточно для выбора сплава. Еще одной важной особенностью являются механические свойства.

Чтобы убедиться, что огнеупорные анкера высокого качества, требуйте сертификат на материал и паспорт изделия. Сертификаты на материалы компании «АНКЕРНЫЕ СИСТЕМЫ» соответствуют стандарту ISO EN 10204-3.1. В них перечисляются тип анкера, размер, чертеж, химические свойства, а так же базовые механические свойства основного сплава, исходя из данных испытаний на деформацию (прочность на разрыв, эластичность и т. п.).