

Преимущества никеля

Применение никеля в составе нержавеющей стали

**Институт никеля
декабрь 2008 г.**

... широкий диапазон **универсальных видов нержавеющей стали** различных классов: аустенитной стали серий 200 и 300, дуплексной, дисперсионно-твердеющей

... нержавеющие стали, **надежность** которых подтверждена десятками тысяч областей применения

... нержавеющие стали, соединяющие в себе **устойчивость к коррозии**, широкий диапазон механических характеристик от криогенных до повышенных температур и простоту производства

... нержавеющие стали для **гигиенического** оборудования, используемого в пищевой и фармацевтической промышленности и производстве напитков, которое может обрабатываться с помощью агрессивных химических веществ и обеспечивать стерильность продукции

... нержавеющие стали типов 18/8, 18/10 или 18/12, обеспечивающие **высокое качество** потребительских товаров

... нержавеющие стали, отвечающие повышенным требованиям к **формовочным свойствам**

... нержавеющие стали с высокими **сварочными характеристиками** и широким диапазоном толщины

... нержавеющие стали, широко **применяемые** в производстве продукции многочисленных форм и широкого спектра размеров

... нержавеющие стали, подходящие для разнообразных типов отделки поверхности, включая цветные, для достижения **впечатляющих** результатов

... нержавеющие стали, обладающие **низкой магнитной проницаемостью**, необходимой для использования в электронике и медицинских имплантатах

... нержавеющие стали, гарантирующие **длительный срок службы**, а в конце использования имеющие **высокую собственную ценность** в виде лома

Из данной публикации Вы узнаете об уникальной роли никеля в обеспечении всех этих особых свойств стали.

... широкий диапазон сплавов никеля с высокими инженерными характеристиками и широкими возможностями применения:

- никелевые сплавы с высокой степенью устойчивости к коррозии и высоким температурам
- медно-никелевые сплавы, устойчивые к загрязнениям
- никелево-титановые сплавы, обеспечивающие память физической формы
- железно-никелевые сплавы, обеспечивающие низкую степень расширения под температурным воздействием
- никелирование
- никелевые катализаторы

Всё вместе это означает, что применение никеля позволяет получить по-настоящему универсальные материалы.

Материалы, предоставленные в данной публикации, предназначены для общего информирования читателя и не могут использоваться для принятия решений в отношении конкретных способов применения никеля без предварительной профессиональной консультации.

Институт никеля, его члены, персонал и консультанты не гарантируют применимости материалов данной публикации для общих или специальных целей, а также не несут никакой ответственности в связи с использованием читателем приведенной здесь информации.



«Здание Крайслер в Нью-Йорке - наглядное свидетельство долговечности никельсодержащей нержавеющей стали»

Содержание

| | | |
|--------------------|---|----|
| Введение | Обзор никельсодержащих нержавеющей сталей | 5 |
| Глава 1 | Физические и механические свойства | 12 |
| Глава 2 | Коррозионная стойкость | 22 |
| Глава 3 | Высокие температуры | 31 |
| Глава 4 | Формовка | 37 |
| Глава 5 | Соединения | 42 |
| Глава 6 | Никель и устойчивое развитие | 47 |
| Приложения: | Источники информации | 52 |
| | Состав сплавов | 53 |

«Никель производится промышленностью, которая приняла на себя всю ответственность...»

Устойчивое развитие. Еще одно преимущество никеля

Преимущества никеля не ограничиваются свойствами, которые он придает различным материалам и процессам.

Существуют весомые экологические и социально-экономические причины, выходящие далеко за рамки причин технологического предпочтения никеля, по которым использование никеля – это Ваш очевидный осознанный выбор.

Использование никеля сродни инвестиции, которая делает возможным появление новых продуктов и технологических процессов, необходимых для обеспечения наших **растущих потребностей в экологической эффективности.**

Применение никеля позволяет сделать существующие продукты **долговечными и прочными**, а процессы **энергетически эффективными.**

Высокая стоимость никеля обеспечивает его **рачительное и эффективное использование, максимально полную вторичную переработку.**

Качества материалов, содержащих никель, полностью отвечают требованиям **экологической эффективности.**

Производство, использование и вторичная переработка никеля представляют собой **экономическую деятельность с созданием добавленной стоимости**, способствующую повышению благосостояния населения и росту государственных доходов.

Никель производится промышленностью, которая приняла на себя всю ответственность перед рабочими, населением, акционерами и окружающей средой.

Никель является ключевым элементом, обеспечивающим устойчивое развитие. На протяжении всего своего жизненного цикла никель производится, используется и утилизируется с исключительной степенью ответственности, начиная с первого звена стоимостной цепочки – с никелевой промышленности как таковой.



Посольство США в Пекине
Фото: Институт никеля

Введение

Обзор видов никельсодержащей нержавеющей стали



Сталь типа 304 широко применяется на предприятиях по упаковке молочной продукции
Фото: Tetra Pak

«Основной функцией никеля является стабилизация аустенитной структуры»

Введение

Нержавеющая сталь – не однотипный материал: существует пять её видов, каждый из которых включает множество типов. Никель является важнейшим легирующим элементом в почти двух третях объема нержавеющей стали, производимой в настоящее время.

Хром является основным элементом сплава, который, собственно, и делает нержавеющую сталь нержавеющей. В сталь добавляется более 10,5% хрома для образования защитной оксидной пленки, которая обеспечивает устойчивость к коррозии и яркий, серебристый внешний вид. В целом, чем выше содержание хрома, тем выше устойчивость к коррозии. Это открытие было сделано около ста лет назад, но уже тогда некоторые виды нержавеющей стали содержали никель. Никельсодержащие нержавеющие стали широко используются с тех давних пор. В настоящее время около двух третей общего объема ежегодно выпускаемой нержавеющей стали содержит никель, даже несмотря на то, что он может показаться относительно дорогостоящим легирующим элементом. Какова же роль никеля и почему он применяется столь широко?

Основной функцией никеля является стабилизация аустенитной структуры стали при комнатной температуре и ниже. Такая аустенитная структура (т.е. гранецентрированная кубическая кристаллическая решётка) является особо прочной и эластичной. Это и другие свойства и определяют разнообразие областей применения этих видов нержавеющей стали. Алюминий, медь и собственно никель являются хорошими примерами металлов с аустенитной структурой.

Минимальное содержание никеля, способное стабилизировать аустенитную структуру при комнатной температуре, составляет примерно 8%, и именно такой процент никеля содержится в наиболее распространенном виде нержавеющей стали - стали типа 304.* Сталь типа 304 содержит 18% хрома и 8% никеля (часто обозначается как 18/8). Этот состав был разработан в истории нержавеющей стали одним из первых, в начале двадцатого века. Он применялся на химических заводах и для облицовки здания Крайслер в Нью-Йорке, которая была выполнена в 1929 г.

Марганец был впервые использован в качестве легирующего элемента при производстве нержавеющей стали в 1930-х годах. Серия 200 аустенитных видов стали с низким содержанием никеля была разработана позже, в 1950-х годах, когда был дефицит никеля на рынке. Более поздние усовершенствования технологий плавки позволили добавлять повышенные количества азота, который также потенциально является мощным образователем аустенита. На этом основании можно предположить, что и весь никель может быть замещён альтернативными легирующими элементами при сохранении аустенитной структуры. Однако, все не так просто, и все виды аустенитной стали с высоким содержанием марганца, имеющиеся сегодня на рынке, все еще содержат никель. Многие из них также имеют несколько пониженное содержание хрома, что также способствует поддержанию аустенитной структуры. Как станет понятно далее, этот побочный эффект снижает устойчивость таких сплавов к коррозии по сравнению со стандартными никельсодержащими видами стали серии 300.

При уменьшении содержания образателей аустенита структура нержавеющей стали изменяется от 100% аустенита до смеси аустенита и феррита (пространственно-центрированная структура). Это – дуплексные нержавеющие стали. При этом никель продолжает стабилизировать структуру аустенитной фазы. Все промышленно значимые виды дуплексной стали, даже так называемые «лёгкие дуплексы», содержат около 1% или более никеля в качестве предусмотренной добавки. Большинство дуплексных нержавеющих сталей имеют более высокое содержание хрома, чем стандартные аустенитные виды: чем выше средний уровень хрома, тем выше должно быть минимально допустимое содержание никеля, что аналогично рассмотренному выше типу 200.

*Состав и примерные эквиваленты видов см. в Приложении



Инновационное применение нержавеющей стали

«Самая распространенная в мире нержавеющая сталь – это сталь типов 304 и 316»

Двухфазная структура дуплексных видов стали делает их по определению более прочными, чем обычные виды аустенитной стали. Незначительно более высокое содержание в них хрома также дает им немного большую устойчивость к коррозии по сравнению со стандартными видами стали. Хотя существуют и другие характеристики, заслуживающие рассмотрения, дуплексные виды стали могут успешно применяться в ряде важных, хотя и узких областях применения.

Дальнейшее понижение содержания никеля – вплоть до нуля – позволяет получать виды стали с полным отсутствием аустенита. Они имеют полностью ферритную структуру. Железо и мягкие стали при комнатной температуре также имеют ферритную структуру.

Не все ферритные виды абсолютно не содержат никеля. Свойством никеля является понижение температуры перехода от вязкости к хрупкости (DBTT) – т.е. температуры, ниже которой сплав становится хрупким. DBTT является также функцией и других факторов, таких как величина кристалла и характер используемых легирующих элементов. Несмотря на это, некоторые из высоколегированных суперферритных видов стали предполагают добавление никеля для повышения DBTT, особенно сварных швов.

В отличие от аустенитных видов, мартенситные виды упрочняются при температурной обработке. Некоторые из них содержат никель, который не только повышает их прочность, но также позволяет увеличивать содержание хрома в стали, а это, в свою очередь, повышает коррозионную стойкость. Используемая для этого специальная упрочняющая температурная обработка подразумевает нагревание материала до определенной температуры, быстрое его охлаждение, а затем процедуру закаливания.

Наконец, у дисперсионно-твердеющих (PH) видов нержавеющей стали при нагревании также возрастают прочностные характеристики. Существуют различные семейства дисперсионно-твердеющих видов стали, и все они содержат никель. В отличие от семейства мартенситных сталей, их высокотемпературная обработка не включает в себя процедуры охлаждения.

Формовочные свойства. Особенности аустенитной структуры придают нержавеющей сталью хорошую пластичность при растяжении и хорошие формовочные свойства, как показано на схемах сравнительных пределов формовки. Наиболее распространенная сталь, содержащая 18% хрома и 8% никеля, обладает особенно хорошими формовочными свойствами при растяжении, но имеет несколько более низкий предельный коэффициент вытяжки, чем некоторые ферритные виды. Немного более высокие содержания никеля повышают стабильность аустенита и снижают тенденцию к нагартовке, таким образом увеличивая пригодность для глубокой вытяжки. В отличие от видов стали с низким содержанием никеля и высоким содержанием марганца, они не подвержены замедленному холодному растрескиванию. Такие хорошие формовочные качества послужили причиной широкого распространения аустенитных видов стали типа 300 в производстве продукции, требующей хороших формовочных качеств, например, кухонных раковин, кастрюль и сковородок.

Свариваемость. Сварка – необходимый метод производства деталей оборудования. В целом, аустенитные виды стали обладают лучшей свариваемостью, чем другие, а самая распространенная в мире нержавеющая сталь – это сталь типов 304 и 316. Они не подвержены возникновению хрупкости в результате роста кристаллов при высоких температурах, а сварные швы имеют хорошие свойства при изгибах и ударах. Они также более свариваемы на утолщенных участках, например, свыше 2 мм.

Дуплексные виды обладают более высокими сварочными свойствами, чем ферритные, при эквивалентном содержании сплава, но даже стандартные и более высоколегированные супердуплексные сплавы требуют большего внимания к деталям процесса сварки, чем эквивалентные аустенитные виды. Сплавы серии 200 обладают характеристиками свариваемости, аналогичными серии 300.

Вязкость. Вязкость – способность материала к поглощению энергии без разламывания – имеет существенное значение для многих технических применений. Большинство нержавеющей сталей имеет хорошие показатели вязкости при комнатной температуре, но при понижении температуры ферритная структура становится значительно более хрупкой, поэтому ферритные нержавеющие стали не подходят для использования при сверхнизких температурах. Широко распространенные виды аустенитной стали наоборот сохраняют хорошую вязкость даже при температуре жидкого гелия; поэтому такие виды стали, как тип 304, широко применяются при сверхнизких температурах.



*Фото: Институт никеля
Здание отеля «Хайат» в Чикаго*

Жаропрочные свойства. Добавление никеля придаёт аустенитным видам стали гораздо более высокую жаропрочность в сравнении с другими видами стали (в особенности по отношению к устойчивости к деформации). Такие виды стали намного меньше подвержены образованию разрушительных фаз в результате обработки при средних и высоких температурах. Никель также увеличивает стабильность защитной оксидной пленки и уменьшает растрескивание во время термического цикла. Соответственно, аустенитные стали применяются при высоких температурах, а также там, где необходима огнеупорность.

Стоит отметить общее присутствие никеля в аустенитных нержавеющей сталях и суперсплавах на основе никеля, которые применяются в наиболее востребованных высокотемпературных устройствах, таких как газовые турбины.

Коррозионная стойкость. Как уже упоминалось, образование насыщенного хромом оксидного слоя, придаёт нержавеющей стали коррозионную стойкость. Однако этот слой имеет тенденцию к разрушению, особенно в присутствии хлоридов, а такое разрушение может привести к образованию локализованной коррозии, такой как точечная или контактная коррозия. Молибден и азот увеличивают устойчивость к образованию коррозионных участков в присутствии хлоридов. Никель не влияет на стадию образования коррозии, но обеспечивает снижение скорости распространения точечной и контактной коррозии. Это имеет большое значение для определения масштабов коррозии.

Никель также влияет на устойчивость нержавеющей стали к другой форме локализованной коррозии, а именно коррозионного растрескивания под воздействием хлоридов. В таких случаях, однако, при 8%-м содержании никеля устойчивость к коррозии минимальна. Устойчивость к коррозионному растрескиванию под влиянием хлоридов значительно увеличивается при содержании никеля как выше, так и ниже этой цифры.

В целом, увеличение содержания никеля в нержавеющей стали, включая и ферритные виды, увеличивает их устойчивость к раскислению, например, к серной кислоте. Другие компоненты, а именно молибден и особенно медь, также оказывают в этом смысле очень значительное влияние. Тем не менее, существуют потенциальные препятствия для использования никеля в ферритных сталях в таком качестве. Эти препятствия связаны с устойчивостью к коррозионному растрескиванию и образованию интерметаллических фаз.

Глянец и полировка. На первый взгляд, все нержавеющей стали выглядят одинаково. Тем не менее, наглядное сравнение одинаково отполированных поверхностей разных типов нержавеющей стали позволяет увидеть различия в цвете и глянце. Внешний вид и эстетические качества всегда будут вопросом вкуса; однако, сталь серии 200, как правило, выглядит темнее, а ферритные виды стали - визуально более холодными, чем никельсодержащие аустенитные стали. В некоторых архитектурных решениях можно было бы применять более темный оттенок серого, но потребители обычно предпочитают более яркий, белого оттенка металл, что подтверждается популярностью стали серии 300. Нержавеющие стали серий 200 и 300 являются более устойчивыми к царапинам, благодаря своим нагартовочным свойствам.

Для всех видов нержавеющей стали применяются различные виды полировки - от черновой обработки поверхности после проката до механической полировки (от грубой до зеркально глянцевой), чистки, матирования дробеструйной обработкой, нанесения рисунка и многие другие. Все они подтверждают универсальность применения никельсодержащих нержавеющей сталей для получения самого широкого диапазона эстетически привлекательной продукции - с оговоркой, однако, что более грубая полировка обычно имеет более низкую устойчивость к коррозии, особенно при наружном использовании в строительстве и архитектуре. Морская среда и присутствие антиобледенительной соли требуют более коррозионноустойчивых материалов, таких как сталь типа 316 L.

«Большинство материалов, содержащих никель, пригодны для полной вторичной переработки»

Устойчивое развитие. Принимая во внимание определение устойчивого развития, приведенное в отчете комиссии Брундтланд - «тип развития, который отвечает требованиям настоящего времени, не ставя при этом под угрозу возможность будущих поколений удовлетворять свои потребности в развитии», - совершенно ясно, что нержавеющие стали в целом и никельсодержащие нержавеющие стали в частности, играют ключевую роль в области защиты окружающей среды, достижения стабильного экономического роста и социального равенства. Наглядные примеры этого приводятся ниже.

Чтобы оценить, какой вклад вносит материал в устойчивое развитие, важно учитывать весь жизненный цикл этого материала, от добычи до переработки или утилизации в конце жизненного цикла продукта.

Большинство никельсодержащих материалов пригодны для полной вторичной переработки по окончании полезного цикла продукции. Этому способствует и их высокая стоимость. Вторичная переработка уменьшает воздействие на окружающую среду, сокращая как потребность в первичном сырье, так и необходимость использования энергии. Например, количество используемого в настоящее время лома нержавеющей стали сокращает энергию, необходимую для производства нержавеющей стали, примерно на 33% по сравнению с использованием первичного сырья (данные Йельского университета¹). Почти половина такого сокращения обеспечивается переработкой отслужившего металлолома (данные Международного форума по нержавеющей стали (IISF)²). Лишь недостаток предложения лома из-за удлинения жизненного цикла изделий из нержавеющей стали и значительного роста использования продукции из нержавеющей стали не позволяет сократить энергозатраты еще больше.

Главный вклад никельсодержащей нержавеющей стали в устойчивое развитие таков: при условии правильного использования она способна повышать качество жизни населения и позволяет бизнесу и общественным организациям разрабатывать решения проблем устойчивого развития. Эти решения базируются на имманентных свойствах и качествах никеля: коррозионная стойкость, долговечность, лёгкость очистки, термостойкость и пригодность для полной вторичной переработки.



История применения. Примеры. Монуменальная прочность

Мемориал военно-воздушным силам, недавно открытый в Вашингтоне, наряду с Памятником света в Ирландии и крупнейшим американским монументом - аркой в Сент-Луисе, считается одним из самых монументальных сооружений в мире, созданных с применением нержавеющей стали.

Состоящий из трех «витков»-шпилей, уходящих вверх на высоту 64 метра, новый мемориал воздвигнут в память о миллионах мужчин и женщин, которые внесли свой вклад в становление Военно-воздушных сил США, и их предшественников за многие годы, в том числе 54 000 погибших в боях.

Каждый шпиль имеет 19-миллиметровую оболочку из низкосернистой (максимум 0,005%) нержавеющей стали S31600, содержащей 11% никеля, которая покрывает железобетонный стержень.

Инженеры, работавшие над мемориалом, выбрали сталь S31600 с целью предупредить коррозию и сохранить внешний вид мемориала на десятилетия без необходимости ручной чистки. Хотя Вашингтон не стоит на побережье и не особо загрязнён, мемориал окружен тремя шоссе, на которых применяется антиобледенительная соль, способная повредить технически менее совершенный материал. S31600 также обеспечивает устойчивость конструкции, не позволяющую закрученным шпилям раскачиваться в ветреную погоду.

Фото: Кэтрин Хуска для Института никеля, Мемориал Военно-воздушным силам США в Вашингтоне

¹ Джонсон Дж. и др. Экономия энергии при вторичной переработке нержавеющей стали, Энергетическая политика, том 1, выпуск 1, январь 2008 г., стр. 181

² www.worldstainless.org

Введение
Обзор типов никельсодержащей нержавеющей стали

«Они широко доступны, хорошо исследованы, универсальны и просты в применении...наиболее практичное решение с наименьшей степенью риска»

Самые наглядные примеры долговечности нержавеющей стали - здания. Реставрация Собора Св. Павла и навесной кровли отеля «Савой» в Лондоне, Великобритания, (1925 и 1929 гг. соответственно), здание «Крайслер» в Нью-Йорке (1930 г.), Пирс Прогрессо в мексиканском штате Юкатан (около 1940 г.), здание «Тиссен» в немецком Дюссельдорфе (1960 г.) и Арка в Сент-Луисе, США (1965 г.) – все эти объекты являются свидетельством ожидаемой долговечности нержавеющей стали.

Простота производства. Она не столь очевидна для конечного пользователя. Тем не менее, многолетний опыт использования распространенных видов аустенитной стали, их широкое применение, универсальность и масштаб производства означают, что они стали высококачественными товарами широкого потребления. Эти виды стали экономически доступны во всех формах и в любой точке мира.

Применение нержавеющей стали. Обычные никельсодержащие аустенитные стали подходят практически для любых целей. Они широко доступны, хорошо изучены, универсальны и просты в применении. Они также обладают хорошими рабочими характеристиками, а их вторичная переработка производится в больших объемах. Все это означает, что они часто способны предложить наиболее практичное решение с наименьшей степенью риска.

На основании многолетнего опыта применения сталь серии 300 часто предписана для использования в ситуациях, когда предполагается контакт с пищей или питьевой водой. Кроме того, все необходимые для производства формы стального продукта, как правило, являются легкодоступными.



Сталь серии 300 широко используется для производства продукции, предполагающей контакт с водой или сточными водами

Фото: Роберт Лоуэлл, Институт никеля

Глава 1

Физические и механические свойства

Глава 1

Физические и механические характеристики

«...высокая механическая прочность... больше чем компенсирует низкую теплопроводность».

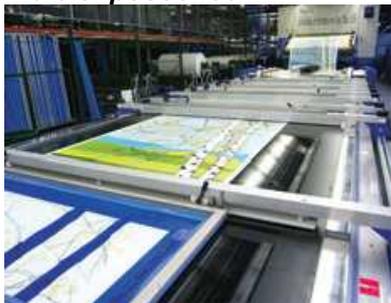


Фото: Институт никеля

Физические свойства. Физические свойства нержавеющей стали могут быть сгруппированы по семействам, к которым они принадлежат, как показано в Таблице 1.

| Семейство | Вид | Плотность | | Теплопроводность, 100 °С | | Электро-сопротивление н/м2 | Удельная теплота | | Термальное расширение 0-100 °С | | Магнитная проницаемость |
|--|---------|-----------|------------|--------------------------|-------------|-------------------------------|------------------|-------------|--------------------------------|----------------------|-------------------------|
| | | г/см2 | Фунт /дюйм | Вт/м.К | БТЕ/фт.ч °F | | Дж/кг.К | БТЕ/фунт °F | 10 ⁻⁶ /°C | 10 ⁻⁶ /°F | |
| Ферритные | 430 | 7,8 | 0,28 | 26,1 | 15,1 | 600 | 460 | 0,11 | 10,4 | 5,8 | 600-1000 |
| Мартенситные | 410 | 7,8 | 0,28 | 24,9 | 14,4 | 570 | 460 | 0,11 | 9,9 | 5,5 | 700-1000 |
| Аустенитные | 304 | 8,0 | 0,29 | 16,2 | 9,4 | 720 | 500 | 0,12 | 17,2 | 9,6 | 1,02 |
| Аустенитные (с высоким содержанием марганца) | 201 | 7,8 | 0,28 | 16,2 | 9,4 | 690 | 500 | 0,12 | 15,7 | 8,7 | 1,02 |
| Супераустенитные | S31 254 | 8,0 | 0,29 | 14 | 8,1 | 850 | 500 | 0,12 | 16,5 | 9,2 | с,1 |
| Дуплексные | 220 5 | 7,8 | 0,28 | 16 | 9,3 | 800 | 500 | 0,12 | 13,0 | 7,2 | >>1 |
| PH | 17-4PH | 7,8 | 0,28 | 18,3 | 10,6 | 800 | 460 | 0,11 | 10,8 | 6,0 | 95 |

Источник: ASM Metals Handbook

Разница между семействами в плотности и удельной теплоте относительно невелика. Однако различия в теплопроводности и термальном расширении существенны и имеют практическое значение (см. Таблицу 2). Более низкая теплопроводность аустенитных видов стали может благоприятствовать уменьшению скорости распространения огня по зданию. Более низкая теплопроводность может быть неблагоприятна там, где необходим хороший теплообмен, поэтому сковороды из нержавеющей стали часто имеют медную или алюминиевую основу. Однако, поверхностные эффекты и процессы могут иметь намного большее влияние на общий теплообмен, чем проводимость через стенку, см. пример теплообменника в таблице. Если высокая механическая прочность позволяет применять тонкостенные компоненты, это может в большой степени компенсировать низкую теплопроводность.

| Материал | Коэффициенты пленки | | | | Теплопроводность | | Коэффициент теплопередачи | |
|--------------------|---------------------|-------------|----------------|-------------|------------------|-------------|---------------------------|-------------|
| | h ₀ | | h ₁ | | Вт/м2.К | БТЕ/фт.ч °F | Вт/м2.К | БТЕ/фт.ч °F |
| | Вт/м2.К | БТЕ/фт.ч °F | Вт/м2.К | БТЕ/фт.ч °F | | | | |
| Медь | 1704 | 300 | 5678 | 1000 | 387 | 2680 | 1300 | 229 |
| Алюминий | 1704 | 300 | 5678 | 1000 | 226 | 1570 | 1295 | 228 |
| Углеродистая сталь | 1704 | 300 | 5678 | 1000 | 66 | 460 | 1266 | 223 |
| Нержавеющая сталь | 1704 | 300 | 5678 | 1000 | 15 | 105 | 1124 | 198 |

Где h₀ = коэффициент теплопроводности внешней жидкой пленки
h₁ = коэффициент теплопроводности внутренней жидкой пленки
Нержавеющая сталь – серии 300

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_0} + \frac{\text{толщина металлической стенки}}{\text{теплопроводность}} + \frac{1}{h_1}}$$

Источник: публикация 9014 Института никеля

«Аустенитные стали обычно неферромагнитны при комнатной температуре... и используются в магнитно-резонансных томографах»

Коэффициенты термального расширения у аустенитных сталей на 60-70% выше, чем у других видов. Однако это может быть вполне допустимо ещё на этапе проектирования, если предполагается термическая обработка, например, в кровлях, криогенном оборудовании и оборудовании, которое предполагается использовать при высоких температурах. Деформация в процессе сварки представляет собой отдельную проблему и более полно рассматривается в разделе, посвященном соединению. Общим подходом является минимизация входной температуры.

Следует отметить, что коэффициент термального расширения у аустенитных нержавеющей сталей все же меньше, чем у других распространенных металлов, таких как алюминий и медь.

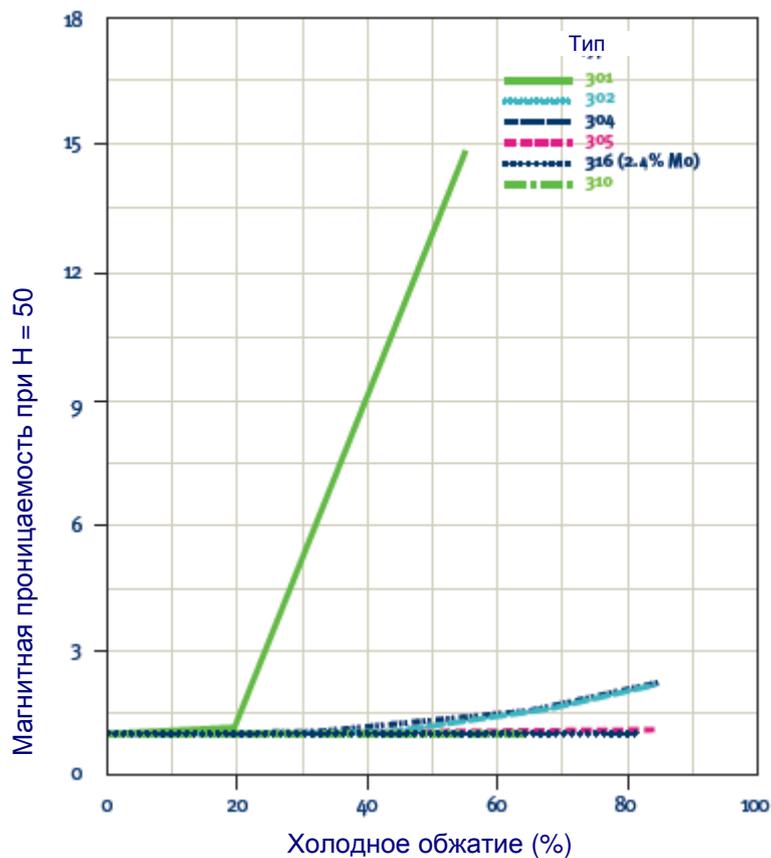


В Японии нержавеющие стали широко применяются при строительстве водопроводов.
Фото: Японская Ассоциация нержавеющей стали

Аустенитные виды стали, в отличие от других видов, обычно неферромагнитны при комнатной температуре. Это свойство позволяет использовать их в случаях, когда необходимо избегать применения ферромагнитных материалов, например, вблизи мощных магнитов, использующихся в магниторезонансных томографах, или железобетонных балок в доках, где размагничиваются морские суда. Ряд аустенитных марок могут развить слабый ферромагнетизм в результате формирования мартенсита под воздействием холодной обработки (см. рис. 1). Увеличение содержания никеля уменьшает этот эффект – таким образом, если в стали типа 301 данный эффект весьма ярко выражен, то сталь типа 310 остаётся немагнитной даже после интенсивной холодной обработки.

«Отсутствие ферромагнетизма аустенитных видов стали облегчает их сортировку ... при вторичной переработке и утилизации»

Рисунок 1:
Воздействие нагартовки на магнитную проницаемость хромово-никелевых нержавеющих сталей



Аустенитная нержавеющая сталь – один из самых интенсивно вторично-перерабатываемых материалов в мире

Фото: Тим Пеллинг для Института никеля

Отсутствие ферромагнетизма в аустенитных видах нержавеющей стали облегчает их отделение от других видов нержавеющей и углеродистой стали при сортировке лома для вторичной переработки.

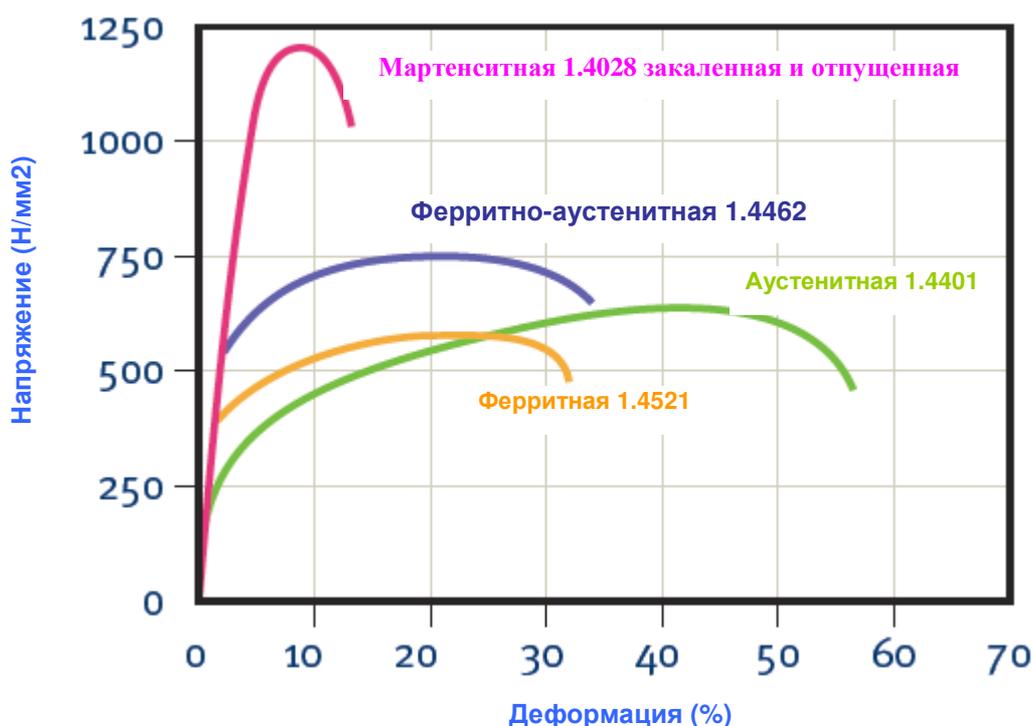


Фото: Корпорация «Клипап»

Механические свойства при комнатной температуре

Рисунок 2

Кривые зависимости между напряжением и деформацией для 4 различных видов нержавеющей сталей



На рисунке 2 сравниваются свойства при растяжении. Очевидно, что в поведении различных видов стали существуют значительные различия. Все нержавеющие стали имеют коэффициент упругости при комнатной температуре, аналогичный другим видам стали, равный примерно 200 ГПа. Однако на этом сходство характеристик при комнатной температуре заканчивается. Как показано на рис. 2, аустенитные нержавеющие стали имеют высокие показатели деформационного упрочнения и высокую эластичность в условиях отжига. Это связано с их гранецентрированной кубической кристаллической структурой. Таким образом, хотя условный предел текучести может быть аналогичным по сравнению с ферритными сталями, предел прочности на разрыв и эластичность гораздо выше. На основании этого можно сделать два вывода: первый – аустенитные виды стали могут быть обработаны холодным способом в целях увеличения предела текучести и растяжимости и одновременно хорошей эластичности и ударопрочности; второй – требуется большое количество энергии для их деформации, что делает возможным использовать их в конструкциях для поглощения и уменьшения воздействия удара. Такая ударопрочность сохраняется даже при высоких деформационных воздействиях (также важный фактор для безопасности в аварийных ситуациях).

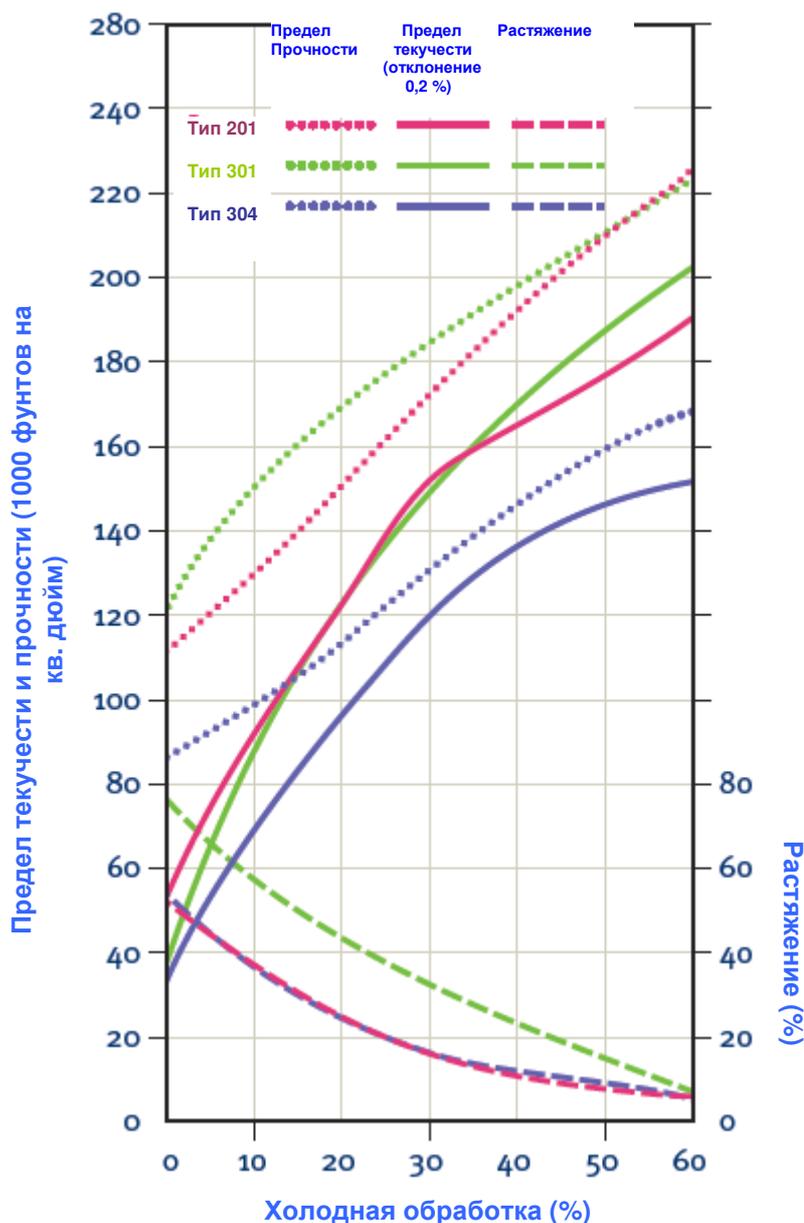
«С помощью холодной обработки аустенитным видам стали можно придать очень высокую прочность»

Аустенитные виды стали не могут закаляться при помощи высокотемпературной обработки. Однако с помощью холодной обработки им можно придать очень высокую прочность.

Увеличение уровня прочности с 350 до 1300 МПа и предела прочности с 700 до 1500 МПа представлены в EN 10088-2:2005. ASTM A666 приводит перечень прочностных характеристик для различных степеней твердости нержавеющей стали серий 200 и 300. Для каждой степени твердости (прочности) (например, ¼ прочности) качества внутри вида стали различаются несущественно.

Марганец особенно эффективен для улучшения укрепляющего эффекта при холодной обработке стали, например, типа 201. На Рис. 3 также показано, что для аналогичных видов стали более низкое содержание никеля обеспечивает более выраженный эффект от холодной обработки.

Рисунок 3.
Воздействие холодной обработки на механические свойства стали типов 201, 301 и 304.
Металлургическая корпорация «Аллегени Ладлэм»



Однако другие легирующие элементы также способны оказывать укрепляющее воздействие таким образом, что более высоко легированные сплавы имеют значительно более высокие показатели пределов прочности, как показано в Таблице 3.

| Название | Номер uns | Спецификация ASTM | Предел текучести (мин.) | | Предел прочности (мин.) | | Растяжение (мин.) % |
|----------|-----------|-------------------|-------------------------|----------------------|-------------------------|----------------------|------------------------|
| | | | МПа | Тыс. фунтов/кв. дюйм | МПа | Тыс. фунтов/кв. дюйм | |
| 201 | S20100 | A240 | 260 | 38 | 515 | 75 | 40 |
| 201LN | S20153 | A240 | 310 | 45 | 655 | 95 | 45 |
| 304 | S30400 | A240 | 205 | 30 | 515 | 75 | 40 |
| 304L | S30403 | A240 | 170 | 25 | 485 | 79 | 40 |
| 321 | S32100 | A240 | 205 | 30 | 515 | 75 | 40 |
| Тип 316L | S31603 | A240 | 170 | 25 | 485 | 70 | 40 |
| 316Ti | S31635 | A240 | 205 | 30 | 515 | 75 | 40 |
| Тип 317L | S31703 | A240 | 205 | 30 | 515 | 75 | 40 |
| Сплав 20 | N08020 | A240 | 240 | 35 | 550 | 80 | 30 |
| 317LMN | S31726 | A240 | 240 | 35 | 550 | 80 | 40 |
| 904L | N08904 | A240 | 220 | 31 | 490 | 71 | 35 |
| Сплав 28 | N08028 | B709 | 214 | 31 | 500 | 73 | 40 |
| 6% Mo | S31254 | A240 | 310 | 45 | 655 | 95 | 35 |
| 4565S | S34565 | A240 | 415 | 60 | 795 | 115 | 35 |
| 7% Mo | S32654 | A240 | 430 | 62 | 750 | 109 | 40 |

Дуплексные стали традиционно обладают более высокой прочностью при комнатной температуре, чем основные виды аустенитной стали. Из Таблицы 4 видно, что это связано с их дуплексной структурой.

| Наименование | Номер UNS | Предел текучести (мин.) | | Предел прочности (мин.) | | Растяжение (макс.) % |
|--------------|-----------|-------------------------|----------------------|-------------------------|----------------------|-------------------------|
| | | МПа | Тыс. фунтов/кв. дюйм | МПа | Тыс. фунтов/кв. дюйм | |
| 2304 | S32304 | 400 | 58 | 600 | 87 | 25 |
| 2205 | S32205 | 450 | 65 | 655 | 95 | 25 |
| 2101 | S32101 | 450 | 65 | 650 | 94 | 30 |
| 2507 | S32750 | 550 | 80 | 795 | 116 | 15 |

Высокая прочность дуплексных сталей при комнатной температуре – результат естественной высокой прочности ферритной фазы в сочетании с высоким уровнем нагартовки в аустенитной фазе. Последние тенденции в развитии дуплексных видов заключаются в разработке пластичных и одновременно более высоколегированных видов.

Более высокие показатели прочности могут быть достигнуты даже у дисперсионно-твердеющих (НР) видов. Здесь можно достичь предела прочности до 1793 МПа, что выше прочности мартенситных видов. Такая прочность достигается при хорошей вязкости и коррозионной стойкости и требует температурной обработки лишь при умеренных температурах до 620 °С.



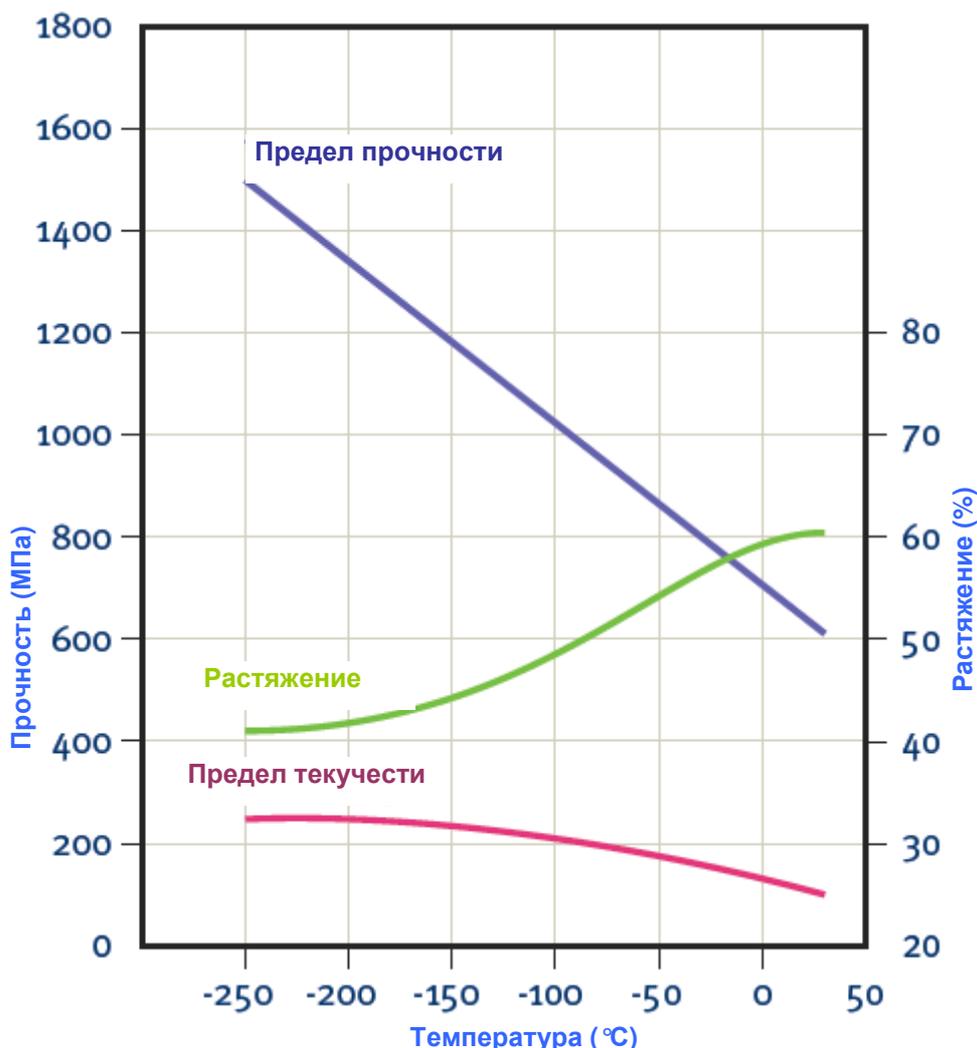
Пивные кеги, выполненные из стали Типа 304
Фото: Тим Пеллинг для Института никеля

«Дуплексные виды стали обладают естественной высокой прочностью»

Никель (и другие элементы) в твердом растворе увеличивают напряжение при растяжении ферритных видов стали. Однако, из-за более низкого уровня нагартовки ферритной структуры пределы прочности ниже, чем у аустенитных видов.

Механические свойства при низких температурах. Пределы прочности аустенитных видов также возрастают при низких температурах, как показано на рис. 4.

Рисунок 4.
Низкотемпературная прочность нержавеющей стали типа 304

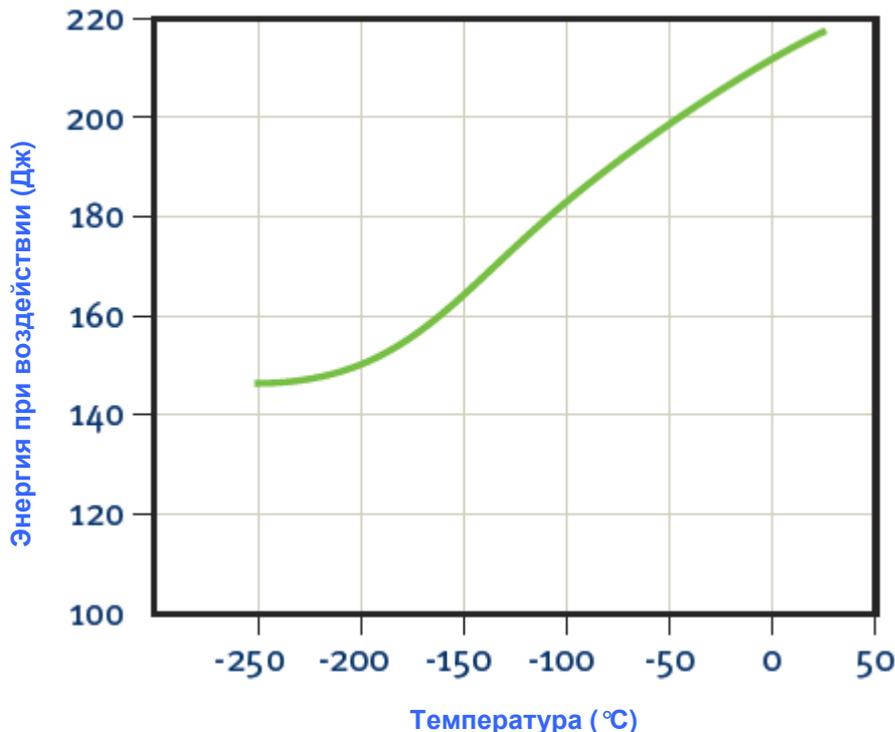


На рисунках 4 и 5 также показано, что (в отличие от некоторых других семейств нержавеющей сталей) пластичность и вязкость аустенитных сталей сохраняются вплоть до низких температур. Это также справедливо для металлов, обработанных холодным способом. Поэтому аустенитные виды стали пригодны к использованию даже при температурах жидкого гелия.

«Аустенитные виды стали сохраняют пластичность вплоть до криогенных температур»

Эффективная вязкость дуплексных видов стали сохраняется до температуры порядка минус 100°C – ниже, чем у ферритных видов.

Рисунок 5
Свойства нержавеющей стали типа 304L при воздействии низких температур



Высокие уровни азота в аустенитных видах стали действительно стабилизируют аустенитную структуру при низких температурах и таким образом поддерживают магнитную проницаемость таких видов стали в условиях обжига, как показано в таблице 5.

| Таблица 5 | | | |
|---|--|---------------------------|---------------------------|
| Магнитная проницаемость отожженной нержавеющей стали как температурная функция | | | |
| Магнитная проницаемость нержавеющей стали | μ макс. при 20°C ⁽¹⁾ | μ макс. при -196°C | μ макс. при -269°C |
| Тип 304 | 1,005-1,03 | 2,02 – 2,03 | - |
| Тип 304L | 1,08 – 1,3 | 1,2 – 1,6 | 1,1 – 1,5 |
| Тип 316 | 1,02 – 1,05 | - | - |
| Тип 316L | 1,02 – 1,1 | 1,03 – 1,09 | 1,03 – 1,0 |
| Тип 321 | 1,03 – 2,0 | - | 2,75 |
| Тип 347 | 1,005 – 1,03 | - | 1,40 |
| Тип (316N) | 1,0 | 1,0 – 1,01 | 1,03 – 1,06 |

Источник: публикация 4368 Института никеля

«Преимуществом является пожаро- и взрывоустойчивость»



Аниш Капур, Cloud Gate («Облачные ворота»)
Фото: Оуткумпу и Джеймс Стейнкамп,
Steinkamp Photography



История применения: Замена рабочих лопастей позволила увеличить мощность на 400 мегаватт
С 1992 г. компания Ontario Power Generation (OPG) (ранее Ontario Hydro) в центральной Канаде обеспечивает рост производства энергии на своих гидроэлектрических турбинах (устройствах) путем замены их рабочих лопастей на литые лопасти усовершенствованной конструкции. Они более легкие, высокопрочные, выполнены из нержавеющей стали J91540, содержащей 4% никеля. Этот сплав обладает хорошей

устойчивостью к коррозии, а также кавитационной устойчивостью, сопоставимой со сталью S30400.

Свариваемость сплава очень важна для проведения кавитационных ремонтных работ на местах. Высокопрочность сплава также имеет большое значение, поскольку возрастающая эффективность лопасти также увеличивает дифференциальное давление между ее нагнетающей поверхностью (сверху) и засасывающей поверхностью (снизу).

Новые лопасти увеличили мощность каждого устройства с 56 мегаватт до 64-65,4 мегаватт.
Фото: Ontario Power Generation

Механические свойства при высоких температурах Здесь решающими являются два фактора – прочность в нагретом состоянии и теплостойкость – которые будут подробно рассмотрены в Главе 5.

Структурные свойства. Существует много способов применения аустенитных и дуплексных сталей, когда необходимы коррозионная стойкость, пожаро- и взрывоустойчивость. Институтом стальных конструкций (www.steel-sci.org) был издан справочник под названием «Руководство по созданию конструкций из нержавеющей стали». Эту работу можно также найти на сайте по адресу: www.euro-inox.org. Еще одна справочная работа - ANSI/ASCE-8-90 «Спецификации для проектирования элементов конструкции из нержавеющей стали, деформированной в холодную»

Литые нержавеющие стали Данная работа посвящена, главным образом, ковким видам стали. Большинство аустенитных и дуплексных нержавеющих сталей имеют свои литые эквиваленты, для которых существует собственная система обозначения. Состав литых сталей обычно несколько иной, что позволяет улучшить их легкоплавкость и предотвратить горячее растрескивание, которое в определенных условиях может повлиять на коррозионную стойкость. Содержание осадочных элементов может также значительно отличаться. Размер кристалла может отличаться от ковких видов, что выражается в различных механических свойствах. Более подробную информацию см. в публикации 11022 Института никеля.

Глава 2

Коррозионная стойкость.

«Нержавеющие стали наиболее часто включаются в спецификации из-за их повышенной устойчивости к коррозии»



Атомная электростанция
Фото: Duke Energy

Коррозия материалов представляет собой сложный процесс. Коррозионная активность кислоты может существенно варьироваться в зависимости от температуры, процентного содержания кислоты, степени аэрации, присутствия примесей (которые могут оказывать ингибирующее или акселерирующее действие), скорости потока и т.д. Кроме того, конструкция оборудования, сварка и обработка давлением, температурная обработка, состояние поверхности и чистящие химикаты также играют роль в определении продолжительности срока службы детали оборудования.

Нержавеющие стали наиболее часто включаются в спецификации – в сравнении с углеродистой или низколегированной сталью – *из-за их повышенной устойчивости к коррозии*. Однако, как и в случаях со многими обобщениями, из этого правила есть исключения. Например, в некоторых случаях нержавеющие стали могут оказаться слабее углеродистых. Аналогичным образом, хотя сталь 316L в большинстве случаев более устойчива к коррозии, чем сталь 304L, иногда последняя оказывается более устойчивой к коррозии, чем первая, например, в таких высокоокислительных кислотах, как азотная или хромовая кислота.

Роль никеля в коррозионной стойкости нержавеющих сталей часто весьма тонка. Он не только оказывает влияние в силу своего массового присутствия как главного легирующего элемента сплава, но и воздействует на пассивный оксидный слой и микроструктуру (например, уменьшая образование разрушительных фаз). Выбрать подходящий сплав означает найти сплав, который способен существовать на протяжении требуемого периода времени без разрушения содержащихся в нем продуктов.

Общая коррозия. В таблице 6 представлены данные, взятые из монографии Швинда и др.¹. В соответствии с процедурой МТ1, среди прочих сплавов были протестированы стали типов 304, 201 и 430, когда на данную концентрацию кислоты дана максимальная температура, при которой степень корродирования составляет менее 0,13 мм/г (5 мил/г). Чем выше цифра, тем выше устойчивость сплава к коррозии.

| Таблица 6 | | | |
|---|------------------------------|-------|-------|
| Максимальная температура для степени корродирования менее 0,13 мм/г в различных растворах для нержавеющей стали типов 304, 201 и 430 | | | |
| Тестовый раствор | Критическая температура (°C) | | |
| | 304 | 201 | 430 |
| 96% серной кислоты | 50 | 20 | 40 |
| 85% фосфорной кислоты | 80 | 70 | <20 |
| 10% азотной кислоты | >tкип | >tкип | >tкип |
| 65% азотной кислоты | 100 | 80 | 70 |
| 80% уксусной кислоты | 100 | 100 | <20 |
| 50% гидроксида натрия | 90 | 65 | 90 |

tкип = температура кипения

В одной из сред все три сплава показали аналогичные результаты, хотя во всех исследуемых средах сталь типа 304 показала эквивалентную или более высокую устойчивость к коррозии. В некоторых средах сталь типа 201 показала гораздо лучшие результаты по сравнению с типом 430, но в других средах тип 430 был лучше, чем тип 201. Если говорить об общей коррозии, важно иметь в виду не роль отдельного элемента, но сочетанный эффект всех легирующих элементов.
1Швинд, М. и др. Мир нержавеющей стали, март 2006 г., стр. 66



На опреснительных установках обычно применяются аустенитные и дуплексные виды нержавеющей сталей.

Фото: Тим Пеллинг для Института никеля

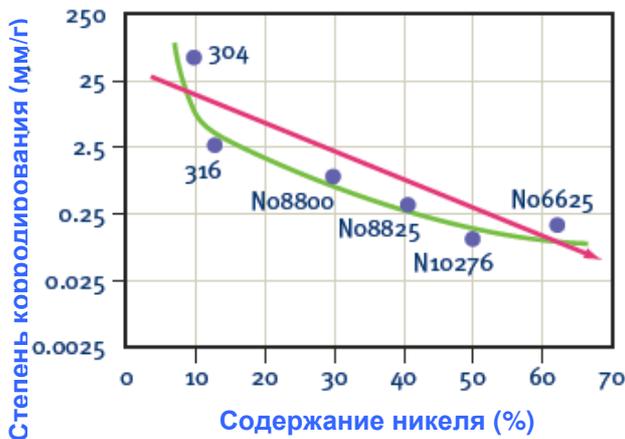
Одним из способов повышения коррозионной стойкости является увеличение содержания никеля в восстанавливающем растворе, таком, как серная кислота. Обычно сплавы с высокой степенью корродирования не применяются, но такие условия могут возникнуть при «нарушенных» или ненормальных условиях эксплуатации. На рисунке 6 показано влияние увеличения содержания никеля на снижение степени корродирования в 15% растворе серной кислоты

при 80 °С. Как говорилось выше, коррозионная стойкость любой из нержавеющей сталей определяется не одним элементом сплава, а их комбинацией.

Рисунок 6.

Влияние содержания никеля на степень корродирования различных сплавов в 15% растворе серной кислоты при 80 °С (данные Седрикса²)

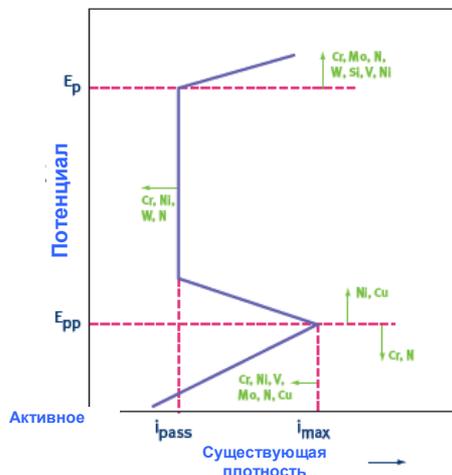
15% H₂SO₄ при 80 °С



Коррозионную стойкость можно также рассматривать с точки зрения электрохимического поведения. Это можно проиллюстрировать с помощью схемы влияния легирующих элементов нержавеющей стали на анодную поляризационную кривую, см. рис. 7.

Рисунок 7.

Схема влияния различных легирующих элементов сплава на анодную поляризационную кривую нержавеющей стали (данные Седрикса²)



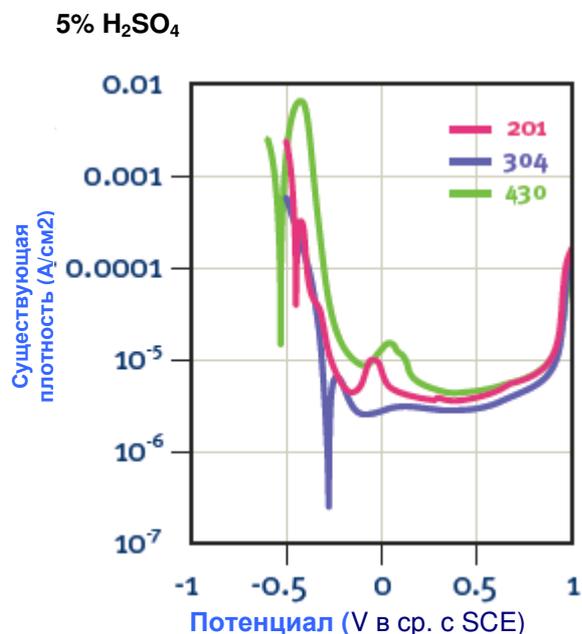
Никель понижает существующую плотность E_{pp} (первичный потенциал пассивирования - primary passivation potential) и направляет этот потенциал в более благородное направление. Он также сокращает существующую плотность пассивирования, приводя к более низкой степени корродирования в пассивном состоянии, и увеличивает потенциал (E_p), при котором материал переходит в транспассивное состояние.

² Седрикс, А. Дж. (Коррозия нержавеющей стали, 2 издание, Wiley-InterScience, 1996 г.)

На рисунке 8 показано, как это действует на практике, путем сравнения сталей типов 304, 201 и 430 в 5% растворе серной кислоты.

Рисунок 8.

Сравнение поляризационных кривых сталей типов 304, 201 и 430 в 5% растворе серной кислоты. (данные Швинда¹)



Это сравнение показывает, что никель оказывает положительное влияние на уменьшение степени корродирования как в случае активной коррозии, так и в случае пассивного состояния нержавеющей стали. Обычно выбирается тот сплав, который обладает приемлемой степенью корродирования в пассивном состоянии. Однако даже небольшие изменения в условиях процесса, например, временное повышение температуры, может спровоцировать «активность» сплава. Поэтому важно выбрать сплав, который не отличается необоснованными повышениями степени корродирования и быстро возвращается в «пассивное» состояние после того, как условия процесса становятся нормальными.

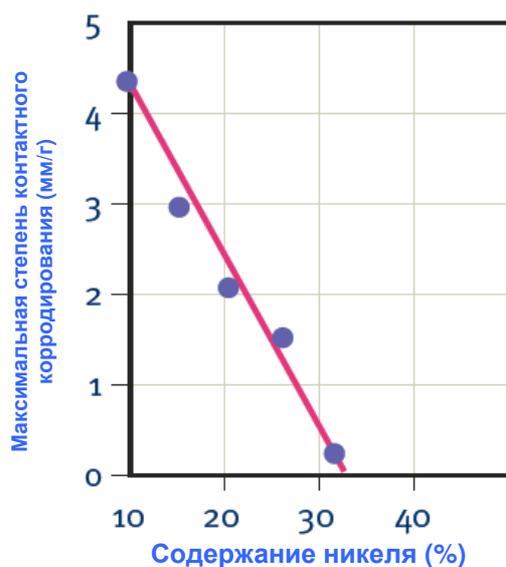
Устойчивость к питтинговой коррозии под влиянием хлоридов Относительная устойчивость сплава к питтинговой коррозии выражается Эквивалентным числом устойчивости к питтинговой коррозии (PREN). Наиболее часто применяется следующая формула: $PREN = \%Cr + 3.3 (\%Mo) + 16 (\%N)$, хотя существует много различных формул, с помощью которых пытались отразить корреляцию поведения, наблюдающихся при проведении тестов на сплавах разных составов. Некоторые из них, например, включают положительные показатели для вольфрама, в то время как другие имеют негативные факторы для марганца. Седрикс отмечает незначительное, но положительное воздействие никеля. Легирующее вещество в массе чрезвычайно важно, но оно объясняет лишь один из факторов практической устойчивости сплава к питтинговой коррозии. Наличие интерметаллических фаз (сигма, хи и т.д.) вследствие недостаточной термической обработки и присутствия примесей (особенно сульфидов марганца) является главным фактором снижения устойчивости к питтинговой коррозии. Что касается нержавеющей сталей с высоким содержанием хрома и молибдена, интерметаллические фазы могут возникнуть во время обычной сварки, при этом ферритные стали являются наиболее чувствительными (см. Глава 5 – Соединение). Наиболее значительным вкладом никеля в устойчивость к питтинговой коррозии является то, что он изменяет структуру материала, облегчая производство нержавеющей материала нужной толщины, а также облегчая сварку и обработку давлением без образования разрушительных интерметаллических фаз, особенно у высоколегированных видов стали.

Контактная коррозия Известно свойство никеля уменьшать активную степень корродирования при контактной коррозии, как показано на рис. 9. Это аналогично уменьшению степени корродирования при увеличении содержания никеля, показанному на рисунке 6. В обоих случаях, коррозия возникает на металле в активном состоянии.



Чайник Алесси
Фото: Алесси

Рисунок 9
Влияние содержания никеля на рост контактного корродирования в нержавеющей стали с 17% хрома и 2,5% молибдена.
(данные Седрикса¹)



История применения: Отсутствие необходимости в текущем ремонте

Его мостовое полотно возвышается на 75 метров над въездом в контейнерный порт Гонконга Квай Чунг, его двухполюсные опоры взмывают в небо на 290 метров. После окончания его строительства в 2009 году, мост Stonecutters Bridge длиной 1600 метров стал важнейшим элементом международной торговой деятельности Китая.

Учитывая жесткие требования к строительству и отделке поверхности, компания Arup Materials Consulting, Лондон, Англия, выбрала для постройки самых верхних 120 метров опор горячекатаную дуплексную листовую сталь S32205 (содержание никеля – 4,5-6,5%). На это потребуется около 2000 тонн стали S32205, толщиной преимущественно 20 мм.

Для бетонных «быков» и зон заплеска волн главной опоры компания Arup также выбрала арматурные стержни из нержавеющей стали S30400 (содержание никеля от 8 до 15%). Для этого потребовалось 2882 тонны арматурных стержней диаметром до 50 мм.

В поисках материала для покрытия дизайнеры решили, что, хотя углеродистая сталь и обладает необходимой строительной прочностью в 450 МПа, она не отвечает требованию отсутствия необходимости в текущем ремонте. «Строительная прочность аустенитных нержавеющей сталей – 300 МПа, а это меньше, чем необходимо», - объясняет Грэхэм Джедж, специалист по материалам компании Arup. «Нужно было, чтобы сталь была толще и, соответственно, тяжелее и дороже. Но мы знали, что, используя горячекатаную листовую сталь S32205, мы сможем получить 450 МПа строительной прочности».

Была и другая причина отказа от стандартных аустенитных нержавеющей сталей: их длительное использование в загрязненной морской среде могло потребовать более тщательной подготовки поверхности. Оценка долговечности в условиях среды, в которой

планируется использование материалов, составила C5M, что означает наихудшее атмосферное воздействие, согласно классификации условий окружающей среды ISO. Сталь S32205 является идеальной для отделки, разработанной дизайнерами. «S32205 меньше подвержена питтинговой коррозии и образованию пятен, чем другие сплавы, которые мы рассматривали, и предоставляет нам более гибкий выбор окончательной отделки поверхности», объясняет Джедж. «Контроль шероховатости окончательной отделки становится уже не так важен, даже если на нее попадет грязь или соль». Результатом сочетания опор из дуплексной стали и арматурных стержней из нержавеющей стали станет мост, который будет способен пройти испытание временем.
Фото: Arup Materials Consulting, Arup Гонконг (мост)

«Никель способствует повышению коррозионной стойкости»



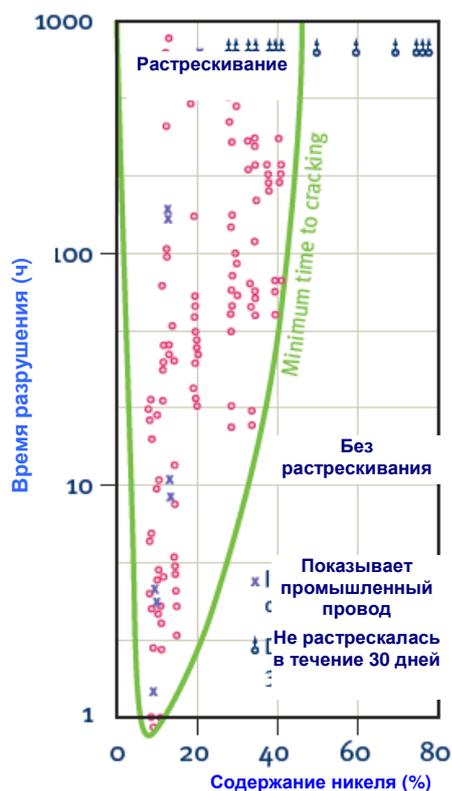
Инновационное применение нержавеющей стали для отражения солнечных лучей и экономии энергии
Фото: Архитектурная мастерская Рафаэля Виньоли (Питтсбургский конференц-центр)

Коррозионное растрескивание под напряжением. Существует много различных типов коррозионного растрескивания под напряжением (stress corrosion cracking – SCC). Аустенитные нержавеющие стали обладают очень хорошей устойчивостью к коррозионному растрескиванию в условиях присутствия сероводородной кислоты, которые наблюдаются, например, в районах с природным газом. Аустенитные и более поздние дуплексные стали продемонстрировали превосходную эксплуатацию, указания по их применению можно найти в таких стандартах, как NACE MR0175/ISO 15156.

Коррозионное растрескивание под воздействием хлоридов изучалось на протяжении многих лет, и многим знакомо понятие «Кривая Копсона», появившееся на свет в результате опытов в агрессивном кипящем хлористом магнии. Было продемонстрировано, что ферритные нержавеющие стали без добавок никеля превосходят стандартные нержавеющие стали с содержанием никеля 6-12%. Кроме того, было обнаружено, что сплавы с содержанием никеля более 45% на самом деле устойчивы к растрескиванию в хлористом магнии. Большинство других хлоридных растворов значительно менее агрессивны по сравнению с хлористым магнием, и если такие виды стали, как 304 и 316L, обычно не используются, то нержавеющие сплавы с добавлением 6% молибдена в большинстве случаев обладают достаточной устойчивостью, так же, как и дуплексные нержавеющие стали.

Рисунок 10:

Кривая Копсона – влияние никеля на склонность нержавеющей стали к коррозионному растрескиванию под воздействием хлоридов в условиях кипящего хлористого магния.



«Аустенитные виды стали незаменимы в условиях присутствия сероводорода».

Морские платформы зависят от никельсодержащих нержавеющей сталей в части своего нефте- и газохимического оборудования, водопроводов, а также защиты от коррозии вследствие контакта с морской водой.



История применения: Ферментационные резервуары для соевых соусов.

Качества, которые придают соевому соусу его неповторимый вкус, создают настолько жесткие условия во время ферментации, что резервуары из нержавеющей стали, похожие на те, которые применяются в других отраслях пищевой промышленности, оказываются не в состоянии справиться с розливом популярного соуса. Вместо нержавеющей стали японцы используют стекловолокно и просмоленную сталь, которые отличаются устойчивостью к коррозии. Кислоты, которые получаются при ферментации, понижают уровень pH до 4,7 в коррозионной массе, содержащей около 17% хлорида натрия. Проблема заключается в том, что имеющаяся в соусе смесь органических кислот и хлористого натрия является настолько коррозионной, а процесс настолько долгим (около 6 месяцев), что стоимость обслуживания резервуаров может оказаться чрезмерно высокой.

Недавние исследования показывают, что супер-аустенитная сталь S32053 с содержанием молибдена является устойчивой к этому типу коррозии, которому подвергаются все другие нержавеющей стали, погружаемые в обычные резервуары для смешивания.

«Супер-аустенитные стали менее подвержены коррозии, учитывая то, что сталь S31603 подвергается контактной коррозии и коррозионному растрескиванию, а дуплексная нержавеющая сталь S32506 склонна к контактной коррозии», говорит Ютака Кобаяши из компании Nippon Yakin Kogyo, одной из крупнейших производителей стали в Японии.

На основании результатов экспериментов, Корпорация Yamasa, которая производит соевые соусы с 1645, построила для эксплуатации в Японии 100 ферментационных резервуаров из стали S32053, емкостью 390 000 литров. Резервуары находятся в промышленном применении с октября 2002 года и не обнаружили признаков коррозии.

Если резервуары из стали S32053 выдержат проверку временем на предприятии Yamasa, их конкурентоспособность очень существенно возрастет. Возможность применения супер-аустенитной стали в ферментационных резервуарах представляется замечательной.

Фото: Том Скудра для Института никеля/Nippon Yakin Kogyo Co. Ltd.

«120 лет без ремонта»



История применения: Бетонная арматура

Давайте представим сэкономленные время и деньги, если бы мост, перекрывающий эстуарий с соленой водой, мог обойтись без ремонта, скажем, на протяжении 120 лет. Нет необходимости разбирать бетонные быки, чтобы заменить заржавевшие арматурные стержни, нет транспортных задержек при ремонте.

Инженеры компании Arup Consulting, Дублин, не только придумали такой беспроблемный мост, но и спроектировали и построили его с применением арматуры из нержавеющей стали. Двойные пролеты моста Broadmeadow в Восточной Ирландии, являются частью автомагистрали между Дублином и Белфастом, движение по которой

открылось в июне 2003 года.

«У нас достаточно агрессивные внешние условия – соленая вода, сырость и быстрое высыхание – это очень сильно усложняет возможность будущего ремонта», - говорит Трой Бертон, помощник руководителя компании Arup и главный инженер проекта моста. «Мы хотели создать конструкцию со сроком службы 120 лет... и нам нужно было убедить нашего заказчика, что у нас есть решение, которое в будущем потребует на ремонт ничтожно мало средств».

Решение заключалось в применении арматуры из нержавеющей стали S31600 для укрепления всех 16 быков, несущих 313-метровый мост через эстуарий.

Применение нержавеющей стали было первым в практике компании Arup. «Она достаточно хорошо подходит по всем свойствам как постоянный и долговечный материал», - говорит Бертон.

В целом, было использовано 169 тонн нержавеющей стали.

Бертон отмечает, что применение арматуры из нержавеющей стали прибавило менее трех процентов к 12 миллионам евро – ориентировочной стоимости строительства моста, что ничтожно мало, если принять во внимание экономию на содержании и ремонте в течение всего его жизненного цикла. К опорам моста Broadmeadow сложно добраться, не повредив экологически чувствительные грязевые участки, которые обнажаются при отливе, поэтому отсутствие необходимости в ремонте является особенно важным.

Мост Broadmeadow вдохновил Национальные органы дорожного управления санкционировать применение нержавеющей стали для крепления парапетов на всех новых мостах.

Фото: компания Arup Consulting Engineers

Глава 3

Высокие температуры

«Структурная стабильность – основная причина их широкого применения при высоких температурах»

При повышенных, а также при пониженных температурах, материал выбирается на основании его свойств, и обычно при этом приходится идти на компромиссы. При повышенных температурах инженера интересуют механические свойства, такие как предел прочности и предел текучести, сопротивление ползучести и разрушение при ползучести, вязкость, температурная усталость и термоустойчивость. Интересующие его физические свойства также включают тепловое расширение, тепло- и электропроводность. К свойствам, демонстрирующим устойчивость к условиям окружающей среды, относятся окисление, науглероживание, сульфидирование и азотирование. К свойствам обработки относятся свариваемость и формовочные свойства. Может понадобиться рассмотреть и другие свойства - такие как износостойкость, истираемость и отражающая способность.

Эти свойства представляют интерес при любых температурах, для которых предназначается материал, и очень важно наблюдать за потенциальными изменениями свойств во время срока службы. Структурная стабильность аустенитной нержавеющей стали – основная причина её широкого применения при высоких температурах.

В целом, аустенитные нержавеющие стали сохраняют прочность при повышенных температурах - по крайней мере, по сравнению с другими материалами. На рисунке 11 приводится сравнение пределов прочности и текучести при кратковременных повышениях температур для некоторых аустенитных и ферритных видов нержавеющей стали при различных температурах. При температурах ниже 540° C (1000° F) разница невелика. При температуре выше указанной уровни прочности у ферритных видов стали стремительно снижаются. Некоторые отдельные виды ферритных сталей могут легироваться для повышения высокотемпературной прочности.



История применения: Вакуумные камеры

Находящийся в Университете Саскачевана, Канада, так называемый синхротрон, производит электроны, которые выделяют свет в миллионы раз ярче Солнца. Исследователи используют этот свет в различных конструкторских и производственных проектах.

Нержавеющая сталь, самыми распространенными типами которой являются S30400, S30403 и S31603, широко применяется в вакуумных камерах.



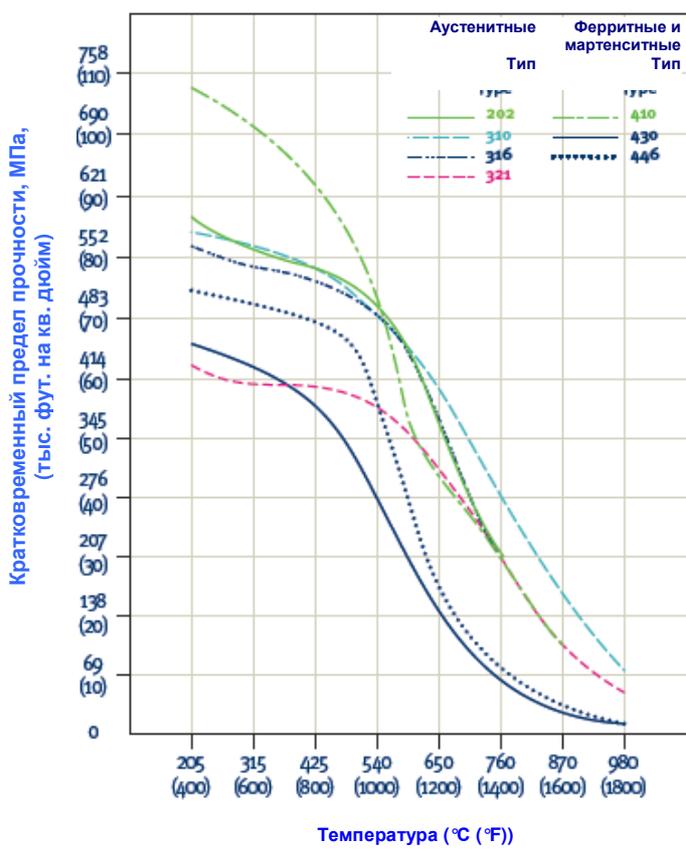
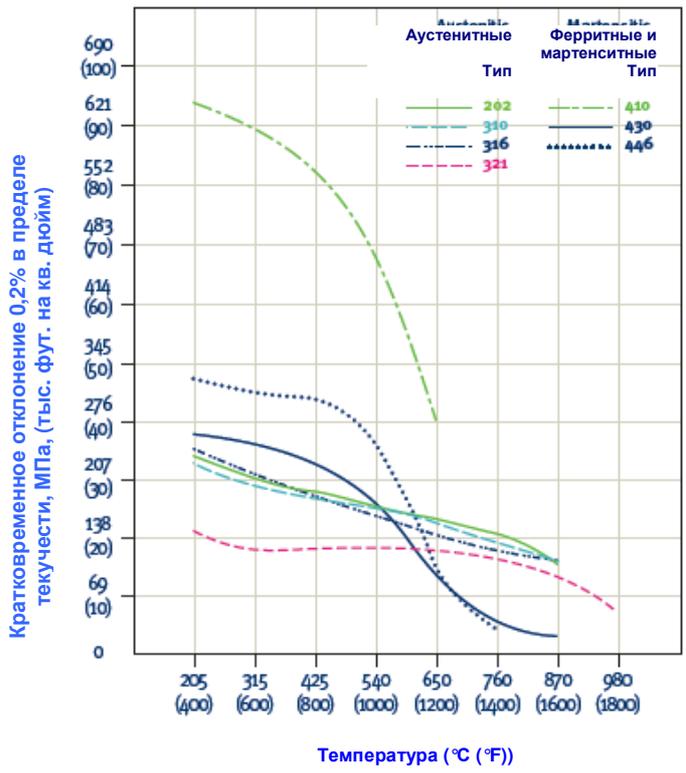
Получение вакуума требует удаления возможно большего числа молекул. Примеси не только замедляют прохождение электронных лучей, но и рассеивают их подобно тому, как туман рассеивает свет от автомобильных фар. Некоторые синхротроны сделаны из меди или алюминия, но нержавеющая сталь является более распространенным материалом их производства, говорит Марк де Джонс, директор по производству CLS.

Компоненты вакуумной камеры обрабатываются в огромных печах в течение 40 часов при температуре 250°С. Такая обработка позволяет удалять поглощаемые ими в процессе производства газы. Алюминий, в отличие от нержавеющей стали, начинает терять прочность уже при температуре 150°С, что является критическим преимуществом последней, особенно если учесть, что компоненты обрабатываются в вакуумных условиях. «При создании вакуума нержавеющая сталь не теряет своей прочности при обычном давлении», - подтверждает Марк де Джонс.

Джонсен Ультравак, Онтарио, Канада, применяет сталь S30400 в некоторых вакуумных камерах, которые он производит. Стоимость стали S30400 ниже в сравнении с другими металлами. Кроме того, она легко подвергается машинной обработке и сварке, и достаточно твердая, чтобы ее можно было врезать в медные шайбы. Многочисленные фитинги, фланцы, ионные насосы и клапаны синхротрона выполняются из нержавеющей стали - это упрощает решение инженерных задач за счёт их лёгкого соединения со схожими металлами.

Фото: компания Canadian Light Source Inc., Джонсен Ультравак, Университет Саскачевана

Рисунок 11:
Пределы прочности и текучести нержавеющей стали при повышенных температурах.
(из публикации Института никеля №9004)

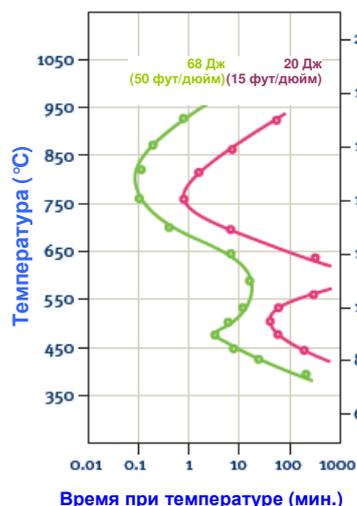


«Аустенит устойчив к охрупчиванию при температуре 475 °С»

Ферритные нержавеющие стали с содержанием хрома 13% или более становятся хрупкими при температуре 400-550 °С (750-1020 °F) за более короткие промежутки времени и при 270 °С за более длительные промежутки времени у более высоколегированных (хром/молибден) видов стали. Температура самого короткого промежутка времени до охрупчивания, называемая «носом кривой», составляет около 475 °С (885 °F), и поэтому этот феномен называется «охрупчиванием при 475 °С» (или «охрупчиванием при 885 °F»). Феномен охрупчивания, показанный на рисунке 12 в виде более низкого «носа», также влияет на ферритную фазу у дуплексных нержавеющих сталей, что является одной из причин, почему большинство дуплексных сталей имеют максимальную температуру долговременного воздействия около 270 °С (520 °F) или чуть ниже. Хотя аустенит устойчив к такому охрупчиванию, феррит в аустенитных сварных соединениях и литье будет становиться хрупким, хотя обычно его количество настолько мало, что оно не может оказать существенного разрушительного воздействия на свойства, кроме как при криогенных температурах. Ферритные нержавеющие стали с содержанием хрома менее 13%, такие как 409 или 410S, могут быть полностью устойчивы к такому охрупчиванию. В противном случае охрупчивание может произойти только при длительном воздействии, в зависимости от реального содержания хрома. Тем не менее, низкое содержание хрома и низкая прочность ограничивают их применимость примерно до 650 °С (1200 °F). Низколегированные ферритные стали находят широкое практическое применение в автомобильных выхлопных системах.

Рисунок 12.

Кривая хрупкости для ферритного сплава S44800, показывающая хрупкость, возникающую в результате воздействия температуры от 475 °С и интерметаллического фазообразования. (данные корпорации Аллегени Ладлэм)



Еще одно микроструктурное изменение, которое необходимо принимать во внимание, - образование разрушительных твердых и хрупких интерметаллических фаз, таких как сигма. Для простоты, мы будем называть эти фазы «сигма» фазами. Они могут встречаться и у аустенитных, и у ферритных нержавеющих сталей, включая дуплексные сплавы. Высокий «нос» на рисунке 12 представляет охрупчивание у высоколегированных ферритных нержавеющих сталей. На рисунке 13 показано интерметаллическое образование в нержавеющей стали с содержанием молибдена 5%. Температурный диапазон образования варьируется в зависимости от состава сплава, но обычно находится в пределах 565-980 °С (1050-1800 °F). Однако, некоторые из ферритных видов стали с низким содержанием хрома могут образовывать сигма-фазы при температуре 480 °С (900 °F), хотя и при очень длительных временных периодах. Нос кривой обычно находится в верхней части температурного диапазона.

Помимо температуры, время, требуемое для образования сигма-фазы, существенно различается в зависимости от состава и обработки (например, степень холодной обработки) сплава. Хром, кремний, молибден, алюминий и титан способствуют образованию сигма-фазы, в то время, как никель, углерод и азот замедляют ее образование. Достаточно высокое содержание никеля способно полностью подавить образование сигма-фазы. Если предполагается использовать материал в диапазоне образования сигма-фаз, важно оценить, в какой степени вероятно появление хрупкости в течение срока службы компонента и какое воздействие она способна оказать на эксплуатацию компонента. Как правило, хрупкость не представляет особой проблемы при обычной температуре эксплуатации материала (за исключением случаев температурной усталости), но она становится серьезной проблемой при прочих температурах.

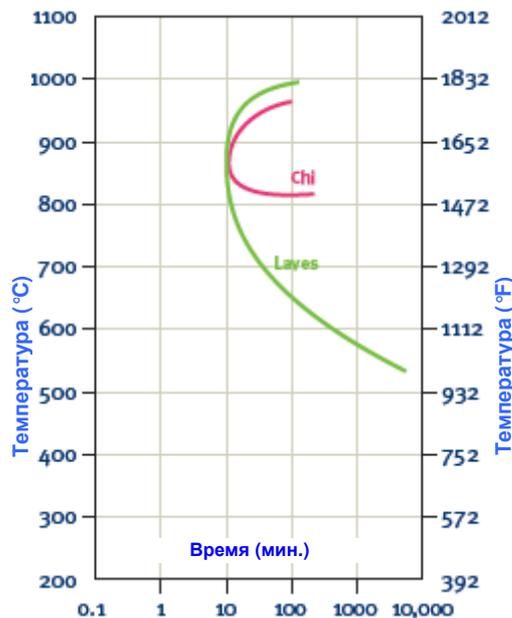
Размер кристалла может стать важным фактором при использовании материала в условиях высоких температур. В аустенитных нержавеющих сталях небольшой размер кристалла, как правило, нежелателен, так как он обуславливает снижение сопротивления ползучести. Кристаллы от средних до мелких дают наилучшее сочетание свойств, хотя в отдельных случаях, когда важны сопротивление ползучести и сопротивление разрыву, грубый размер кристалла в аустенитном сплаве может оказаться предпочтительнее.



Электростанция, работающая на отходах
Фото: Датский Технический университет

«...всегда необходимо учитывать допуск на... тепловое расширение»

Рисунок 13: Изотермическая динамика осадков в промежуточной фазе в сплаве 0.05C-17Cr-13Ni-5Mo с добавлением 0.145% азота, отжигаемом при температуре 1150°C (2102°F)



Оборотная сторона крупного размера кристалла – худшие показатели температурной усталости и свойств при тепловом шоке. В чисто ферритных видах стали рост зернистости может быстро происходить при температуре свыше 1100°C (2100°F). Это может иметь место во время сварки и привести к образованию грубозернистой и низковязкой зоны теплового воздействия (heat-affected zone (HAZ)). Огрубление зернистой структуры в ферритных нержавеющей стали происходит гораздо быстрее, чем в аустенитных сплавах.

Углерод в аустенитных видах стали обычно благоприятствует высоким температурам, он увеличивает сопротивление ползучести по всему температурному диапазону. При образовании карбидов, они могут привести к образованию коррозии в присутствии корродирующих веществ (обычно при низких температурах, в режиме остановки). В большинстве стандартов, описывающих элементы конструкции для резервуаров высокого

давления с высокими температурами, используются аустенитные виды стали либо с минимальным содержанием углерода, либо с его максимальным содержанием, который обеспечивает более высокую проектную прочность, чем у низкоуглеродных видов или видов с нулевым содержанием. Например, минимальное содержание углерода в стали типа 304H составляет 0,04%.

При использовании любого материала в условиях высоких температур, в конструкции оборудования необходимо принимать во внимание тепловое расширение; в противном случае это может привести к авариям. Коэффициент теплового расширения ферритных сталей ниже, чем у аустенитных, но он всегда должен учитываться при проектировании. Нержавеющие стали с более высоким содержанием никеля, такие как 310 и 330, имеют более низкое тепловое расширение, чем стандартная сталь типа 304 и ее устойчивые разновидности. Сплавы с содержанием никеля (например, Сплав 600) имеют еще более низкие показатели расширения.

На практике множество факторов влияют на теплопроводность компонента. Аустенитные виды стали обладают более низкой теплопроводностью, чем ферритные или углеродистые стали, это означает, что они имеют более низкий теплообмен с металлом. Поверхностные оксидные слои также служат барьерами при теплообмене.

Устойчивость сплава к окислению очень важна и относительно легко измеряема, хотя в практическом применении могут возникать проблемы. В идеале, на нержавеющей стали должен образовываться оксидный слой, а рост окисления - замедляться, стабилизируясь на очень низких уровнях. Коэффициент расширения оксида должен быть таким же, как у нержавеющей стали. В реальности, при утолщении оксидного слоя свыше определенного уровня и при температурных колебаниях оксидный слой частично расщепляется, и начинается рост нового оксидного слоя. Температурные максимумы для постоянных и периодических условий эксплуатации обычно включаются в спецификации.

«Для предотвращения образования металлической пыли необходимо использовать специальные сплавы с содержанием никеля»

Содержание хрома важно для образования защитного оксидного слоя при повышенных температурах, чему иногда также способствуют незначительные добавки кремния, алюминия и церия. Оксидный слой никогда не бывает идеальным, и при тепловом расширении/сжатии и механическом напряжении могут образовываться многочисленные трещины и другие дефекты. Более толстые оксидные пленки могут растрескиваться, а под ними могут образовываться новые оксидные пленки, что приводит к уменьшению толщины металла. Как правило, более высокие значения теплового расширения аустенитных видов стали, по сравнению с ферритными сплавами, приводит к тому, что аустенитные виды имеют более высокие показатели при постоянной эксплуатации, чем при периодической эксплуатации при проведении стандартных тестов. По отношению к ферритным видам нержавеющей стали верно обратное. Все это проиллюстрировано в Таблице 7, в которой представлены примерные температуры образования окалины и предложены максимальные эксплуатационные температуры воздуха для постоянной и периодической эксплуатации некоторых видов нержавеющей сталей. Существует ряд нержавеющей сталей с оптимизированными оксидными свойствами. Марганец оказывает разрушительное действие на устойчивость к окислению, поэтому стали серии 200 при высоких температурах могут использоваться крайне ограниченно.



История применения: Десульфуризация дымовых газов
Системы десульфуризации дымовых газов (ДДГ) необходима для уменьшения загрязнения воздуха электростанциями, работающими на ископаемом топливе. Коррозионные условия могут быть очень агрессивными. Диапазон используемых материалов варьируется от сплавов с высоким содержанием никеля на участках, наиболее подверженных коррозии, до обычных никельсодержащих нержавеющей сталей на менее агрессивных участках. На фотографии - орошающая труба, выполненная из UNS N08367 - нержавеющей стали с содержанием 24% никеля, 6% молибдена, которая выбрана на основании коррозионной стойкости и простоты изготовления секций такого размера.

Прокатные сплавы

| Таблица 7 | | | | | | |
|--|---|------|---|------|----------------------------|------|
| Устойчивость к окислению некоторых стандартных видов стали | | | | | | |
| Вид стали | Примерная температура образования окалины | | Максимальная эксплуатационная температура воздуха | | | |
| | | | Постоянная эксплуатация | | Периодическая эксплуатация | |
| | С | F | С | F | С | F |
| 403 | 700 | 1300 | 700 | 1300 | 820 | 1500 |
| 430 | 825 | 1500 | 820 | 1500 | 870 | 1600 |
| 446 | 1100 | 2000 | 1100 | 2000 | 1175 | 2150 |
| 304 | 900 | 1650 | 925 | 1700 | 870 | 1600 |
| 309 | 1065 | 1950 | 1000 | 1850 | 1000 | 1850 |
| 310 | 1150 | 2100 | 1150 | 2100 | 1040 | 1900 |

Устойчивость нержавеющей стали к насыщению углеродом – результат свойств защитной окалины и наличия никеля. Восстановительная среда при высоких температурах, содержащая окись углерода или углеводород, может вызвать перенос углерода в металл и сделать поверхностный слой твердым и хрупким. Растворимость углерода в нержавеющей стали уменьшается по мере увеличения содержания никеля. В связи с этим в условиях науглероживания применяются либо никельсодержащие нержавеющей стали, либо никелевые сплавы.

Кремний оказывает благоприятное воздействие на укрепление защитного оксидного слоя, поэтому часто отдельные сплавы имеют повышенное содержание кремния. Широко используется сплав 330, содержащий 19% хрома, 35% никеля и 1.25% кремния. Безникелевые нержавеющей стали обладают низкой устойчивостью к науглероживанию. Предотвращение образования металлической пыли – особого вида науглероживания, также называемого «катастрофическим науглероживанием», требует применения специальных никелевых сплавов. С другой стороны, сера в горячих газах может оказывать разрушительное действие на сплавы с высоким содержанием никеля, особенно в условиях изначально восстановительной среды. Обычно выбирают аустенитную нержавеющей сталь с пониженным содержанием никеля, а для применения в агрессивной среде - ферритную сталь с высоким содержанием хрома. В такой ситуации необходимо жертвовать одними свойствами ради других вне зависимости от того, какая именно сталь выбрана.

Глава 4

Формовка

«Аустенитные стали можно формовать самыми разными способами»



Фото: Алесси

Горячая формовка. Свойства аустенитных сталей серий 200 и 300 для горячей формовки считаются превосходными для таких операций, как горячий прокат, ковка и прессование. Температурный диапазон этих операций начинается чуть ниже температуры отжига. В Таблице 8 показаны стандартные температуры горячей формовки для некоторых распространенных видов аустенитных сталей и нескольких дуплексных видов стали, а также температуры обработки на твердый раствор. В таблице представлены общие температурные диапазоны; для отдельных операций и видов стали часто приходится применять дополнительные ограничения.

Обеспечить однородную температуру для всего изделия чрезвычайно важно, так как горячие участки могут более легко деформироваться, чем холодные. Чаще всего, в горячую деформированные элементы получают полную термическую обработку на твердый раствор для придания им максимальной коррозионной стойкости. Особое внимание следует уделить горячей формовке высоколегированных видов аустенитной стали, таких как сталей с содержанием 6% молибдена. Они подвержены образованию горячих трещин в процессе ковки и нуждаются в достаточной пропитке во время последующего отжига для исключения интерметаллических фаз, образующихся в процессе горячей формовки. Дуплексные стали, поскольку они обладают большей прочностью при пониженных температурах, обычно довольно непрочны при температурах горячей формовки и отжига, поэтому необходимо уделять внимание обеспечению стабильности пространственных параметров изделия в ходе этих операций. Для каждого вида стали должны быть разработаны свои базы данных, а после горячей обработки необходимо провести тесты для подтверждения того, что материал обладает требуемыми антикоррозионными свойствами.

| Таблица 8 | | | | |
|--|---|-----------|---|-----------|
| Предлагаемые температурные диапазоны для горячей формовки и температуры обработки на твердый раствор для некоторых видов дуплексных сталей и нержавеющей сталей серий 200 и 300 | | | | |
| Виды стали | Температурные диапазоны для горячей формовки | | Температуры обработки на твердый раствор | |
| | °C | °F | °C | °F |
| Стандартные виды стали, типы 304, 305, 316, 321 и т.д. | 1200-925 | 2200-1700 | мин. 1040 | мин. 1900 |
| Высокотемпературные виды, типы 309, 310 | 1175-980 | 2150-1800 | мин. 1050 | мин. 1925 |
| Виды стали с содержанием 6% молибдена | 1200-980 | 2200-1800 | мин. 1150 | мин. 2100 |
| 201, 202, 204 | 1200-925 | 2200-1700 | 1000-1120 | 1850-2050 |
| S32205 | 1230-950 | 2250-1750 | мин. 1040 | мин. 1900 |
| S32750 | 1230-1025 | 2250-1875 | 1050-1125 | 1925-2050 |

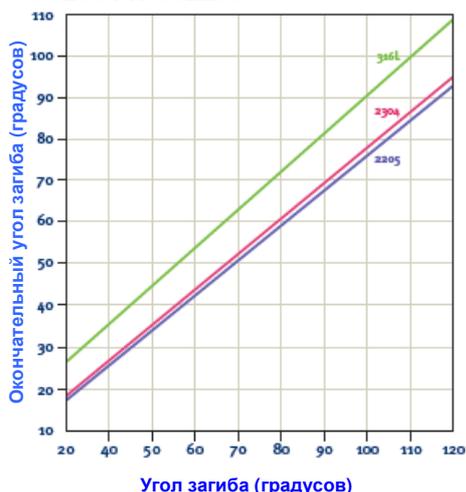
Теплая формовка. Нет ничего необычного в нагревании изделий из аустенитной стали для облегчения процесса формовки. В отличие от ферритных или дуплексных видов, аустенитные стали не подвержены риску охрупчивания при температуре 475 °C, как описано в Главе 3. Низкоуглеродные и стабилизированные аустенитные нержавеющие стали могут выдерживать

короткие периоды температур до 600° C (1100° F) без значительных разрушительных последствий для их коррозионной стойкости. Что касается дуплексных сталей, следует избегать их нагревания свыше 300° C (575° F).

«Формовка стандартной стали типа 304 и его разновидностей могла бы считаться необычной, если бы в течение долгих лет не являлась распространенной практикой»

Холодная формовка. Аустенитные виды стали обладают исключительной вязкостью. Общим критерием приемки является их способность к изгибанию в холодном состоянии на 180° с радиусом, равным половине толщины материала, независимо от направления прокатки. Однако, при формовке дресированной аустенитной нержавеющей стали, направление прокатки имеет значение, и плотные сгибы должны быть ориентированы в направлении, перпендикулярном направлению прокатки. Необходимо увеличить минимальный радиус изгиба по мере возрастания изначальной твердости (прочности) материала. Например, лист стали типа 304 с твердостью ½ с минимальным пределом текучести 760 МПа (110 тыс. футов на кв. дюйм) должен сгибаться на 180° через оправку радиусом, равным толщине листа. В целом, дуплексные нержавеющие стали не настолько пластичны, как аустенитные, но все же достаточно пластичны в условиях отжига. Дуплексные виды, за исключением холоднотянутой проволоки, обычно не применяются в условиях дресировки.

Рисунок 14:
Сравнение характеристик упругого возврата
отожженной стали типа 316L
и дуплексных видов
S32304 и S32205



Большинство дуплексных сталей и стали более высокой прочности серий 200 и 300 более сложно поддаются формовке в связи с их высоким пределом текучести. У оборудования, которое используется на своём пределе с отожженной нержавеющей сталью серии 300, могут возникнуть значительные сложности с материалами такой же толщины, но более высокой прочности. В связи с обработкой холодным способом, упругий возврат является проблемой для аустенитных и дуплексных сталей. Вообще говоря, чем выше изначальная прочность и больше степень холодной обработки, тем больше величина упругого возврата. На рисунке 14 приводится сравнение характеристик упругого возврата для сгибания отожженной стали типа 316L и дуплексной стали 2205. В этом случае, дуплексная сталь

требует большего перегиба, чем аустенитная. Для получения угла загиба 90°, сталь 316L необходимо загнуть на 100°, а для более прочной дуплексной стали требуется загиб до 115°. Профилирование является высокоэффективным и практичным способом производства продукции большой длины, имеющей форму угла или желоба, для всех видов аустенитной и дуплексной стали.

Раскатка и вытяжка. Как аустенитные, так и ферритные виды нержавеющей стали могут обычно проходить процедуры раскатки и вытяжки. Сочетание высокой пластичности и высокой рабочей способности к закаливанию, характерной для нержавеющей сталей, обеспечивает превосходные формовочные свойства листа.

С помощью раскатки или холодной штамповки можно сформировать лист без скрепления заготовки. Металл течет в плоскости листа с минимальной потерей толщины. В целом, аустенитные материалы с пониженным уровнем нагартовки (например, тип 304) предпочтительны для операций простой раскатки. Растяжение – это формовка листа с помощью штампа путем жесткого зажима краев заготовки. Деформация осуществляется посредством вытяжки, с соответствующим утончением листа. Здесь предпочтительным может быть высокий уровень нагартовки стали типа 301, так как она обеспечивает большую глубину штамповки. Технология формовки листа достаточно сложна и, в самых распространенных операциях, формовка представляет собой сочетание этих двух типов. Отделка поверхности, последовательность формовки и смазка очень важны для получения гладкого, высококачественного внешнего вида, характерного для аустенитной нержавеющей стали. Формовка стандартной стали типа 304 и его разновидностей могла бы считаться необычной, если бы в течение долгих лет не являлась распространенной практикой. Даже при высокой пластичности аустенитной нержавеющей стали в ситуациях необычной формовки могут потребоваться один или более этапов отжига для восстановления пластичности и дальнейшего продолжения формовки.



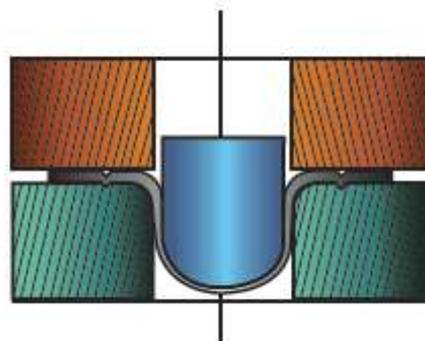
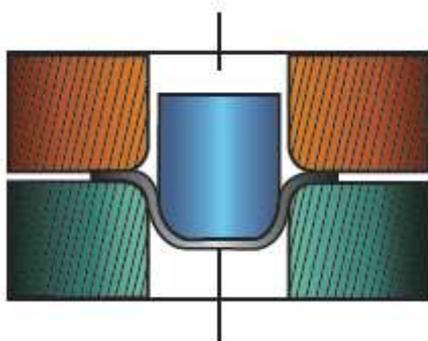
Фото: Getty Images

Раскатка

- металл свободно стекает в форму
- деформация большого круга в узкий цилиндр должна происходить больше за счет ширины, чем за счет толщины

Вытяжка

- металл фиксируется с помощью зажимов для заготовки
- происходит значительное уменьшение толщины
- требуется сильное растяжение (A%) и закалка (n)



Источник: http://www.euroinox.org/fla_113_EN.html

Дуплексные нержавеющие стали нечасто подвергаются формовке посредством раскатки или вытяжки. В случаях, когда удавалось успешно выполнить эти операции, оборудование и форма были изменены с учетом более низкой пластичности и более высокой прочности.

Формовка с помощью центробежного гибочного оборудования Формовка с помощью гибочного оборудования (также известная как токарная обработка) – способ экстенсивной формовки листа или пластины с целью получения осесимметричных деталей. Способ хорошо подходит для изготовления деталей конической формы, которые относительно сложно изготовить другими способами. Деформация листа может быть значительной, поэтому эффективным может быть применение стали с низким уровнем нагартовки, например, типа 305. Сталь типа 305 отличается пониженным содержанием никеля и несколько более низким содержанием хрома, причём они оба служат уменьшению степени нагартовки. Дуплексные виды нержавеющей стали также могут обрабатываться на центробежном гибочном оборудовании, хотя они требуют более мощного оборудования и возможно большего количества промежуточных этапов отжига.

Холодная высадка Для стержневой продукции принято формировать головки для винтов, болтов и других фиксаторов с помощью осевой штамповки внутри формы. Материал должен обладать хорошей пластичностью, небольшая степень нагартовки является предпочтительной. Часто используется сталь типа 305 или типа 18/8 с содержанием меди (иногда называемой тип 302HQ). Сталь серии 200 с низким уровнем нагартовки также может быть пригодна для холодной высадки. Холодная высадка используется также для некоторых видов дуплексных нержавеющих сталей.

Спортивные часы



История применения: Спортивные часы

«Мы гордимся тем, что создали высококачественные часы, которые человек может надеть утром, а затем заниматься своими любимыми делами - погружаться под воду, заниматься серфингом, кататься на лыжах или сноуборде, пойти на вечеринку и при этом не снимать часы с руки», - говорит Джимми Олмс, основатель компании по производству часов Reactor Watches из Калифорнии.

«Мы остановили свой выбор на стали S31603 благодаря ее износостойкости и устойчивости к коррозии, долговечности и механической прочности и относительной легкости обработки. Теперь применение этой стали в индустрии спортивных часов является стандартом». И, как в случае с большинством нержавеющей сталей, ее устойчивость к коррозии означает, что она особенно подойдет людям, страдающим аллергией на никель.

Глава 5

Соединения

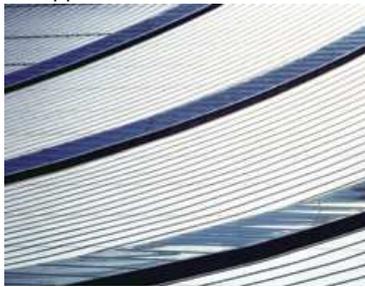


Фото: Архитектурная мастерская Рафаэля Виньоли

«Аустенитные стали обладают неприхотливым характером»

Сварка

Никель играет главную роль в обеспечении свариваемости всех типов и семейств нержавеющей стали. Аустенитные виды стали обладают неприхотливым характером, который позволяет получить хорошие и легко воспроизводимые результаты даже в сложных условиях. При сварке нержавеющей сталей необходимо

предпринять определенные шаги для получения хорошего качества, в том числе чистоты и очистки сварного шва. Нержавеющие стали часто используются в условиях повышенных требований, например, когда необходима коррозионная стойкость или высокотемпературные свойства, поэтому нужно предусмотреть, чтобы сваренный металл не оказался самым слабым звеном в цепи. В целом, чем более высоколегированной является сталь, тем больше должно уделяться внимания мерам предосторожности.

Аустенитные нержавеющие стали Важным свойством аустенитных нержавеющей сталей является то, что они не способны упрочняться как при температурной обработке, так и от выделения тепла при сварке. Поскольку они не подвержены водородной хрупкости, аустенитные стали обычно не требуют ни предварительной температурной обработки, ни нагрева после сварки. Материалы, толщина которых колеблется от малой до очень большой, способны достаточно легко свариваться. Их чистота (отсутствие масла, жира, воды, слоистости и т.д.) также играет важную роль.

Сварка аустенитных сталей может выполняться посредством большинства видов промышленной сварки, за исключением кислородно-ацетиленовой сварки, которая не может применяться ни к одной из нержавеющей сталей. К наиболее распространенным способам сварки относятся SMAW (дуговая сварка в защитной атмосфере), GMAW (дуговая сварка в среде защитного газа), GTAW (дуговая сварка в вольфрамовым электродом в среде защитных газов), SAW (дуговая сварка под сварочным флюсом), FCAW (дуговая сварка порошковой проволокой в среде защитных газов), точечная или сварка сопротивлением, лазерным или электронным лучом. Многие, но не все аустенитные нержавеющие стали, могут свариваться без последующей температурной обработки. Большинство супераустенитных сплавов требуют применения наплавного металла для получения достаточной устойчивости сварочного шва к коррозии. Обычно сваренный металл может отвечать минимальным требованиям к пределам текучести и прочности отожженного базового материала. Пластичность сварных швов обычно ниже, чем у базового материала, но все же они достаточно пластичны. Низкоуглеродистые виды стали (L-виды) обычно используются при необходимости повышенной устойчивости к коррозии. При эксплуатации в условиях высоких температур чем выше уровень углерода в наплавном металле, тем выше его высокотемпературная прочность.

Состав большинства присадочных (наплавных) металлов серии 300 подобран таким образом, что они твердеют при определенном количестве феррита для предотвращения образования горячих трещин во время твердения. Это предусматривает применение более высокого уровня привода тепла, а потому более высокую скорость сварки. Присутствие определенного количества феррита подразумевает небольшую степень ферромагнетизма сварочных швов. Сплавы, которые после твердения становятся полностью или почти полностью аустенитными, должны свариваться с помощью пониженного привода тепла. В некоторых случаях желательны низкоферритные сварочные металлы, и с этой целью производятся определенные наплавные металлы. Для большинства нержавеющей сталей серии 300 номинально подходящим наплавным металлом является самый широко применяемый наплавной металл. Из этого правила есть следующие исключения:

- 1) При сварке стали, стабилизированной титаном, наиболее часто применяются наплавные металлы, стабилизированные ниобием, поскольку титан окисляется при дуговой сварке. Например, сталь 321 сваривается при помощи наплавного металла 347.
- 2) Нержавеющая сталь с содержанием молибдена 6% или более сваривается при помощи наплавных металлов со сплавом никеля типа Ni-Cr-Mo (например, сплав 625 или тип «С») В некоторых случаях сталь с содержанием молибдена 3% сваривается при помощи металла с избыточным легированием молибденом.



Фото: Институт никеля

«Большинство дуплексных наплавных металлов содержат на 2-3% больше никеля, чем базовый металл»

- 3) Сталь серии 200 чаще всего сваривается с наплавными металлами соответствующей прочности серии 300 благодаря их лучшей пригодности и, в определенной степени, лучшей свариваемости. Сталь серии 200 с высоким содержанием азота в процессе сварки может потерять некоторое его количество. В некоторых случаях правильным выбором для получения определенных свойств (хотя и по более высокой стоимости) являются металлы серии 200. Для сталей типов 304L и 316L наиболее подходящими, несомненно, являются стандартные наплавные металлы.
- 4) Легкообрабатываемые аустенитные нержавеющие стали, такие как 303, содержат большие количества серы и обычно считаются не поддающимися сварке. В случаях когда сварка абсолютно необходима, выполняются небольшие сварные швы с применением наплавного металла типа 312. Даже в случае появления небольших множественных трещин они не смогут выдержать большую нагрузку. В большинстве случаев лучше избегать сварки данного вида стали.

Базовые аустенитные металлы обычно обладают превосходными криогенными свойствами. Например, согласно нормам ASME «Коды по котлам и сосудам высокого давления», обработанные аустенитные виды стали, такие как 304, 304L и 316L, не требуют проверки воздействия низких температур в случаях эксплуатации до минус 254° С (минус 450° F). Однако литые изделия и сваренные металлы подлежат проверке, поскольку они содержат ферриты, которые становятся хрупкими при низких температурах. В целях обеспечения соответствия требованиям к воздействию низких температур может быть необходимо применение определенных видов сварки и /или использование определенных наплавных металлов.

При сварке разнородных видов аустенитной стали, таких как 304L и 316L, применяются аустенитные наплавные металлы. Выбор металла зависит от требуемых характеристик - чаще всего коррозионной стойкости - наплавленного металла. При сварке углеродистой стали или ферритной, мартенситной или дисперсионно-твердеющей нержавеющей сталей с аустенитной нержавеющей сталью опять-таки чаще всего применяется аустенитный наплавной металл. Кроме того, требуемые свойства наплавленного металла, такие как прочность и устойчивость к коррозии, должны тщательно оцениваться перед выбором наплавного металла. Такие наплавные металлы, как 309L, 309MoL и 312 производятся с этой целью, и все они обладают составом, который повышает ферритное содержание больше, чем стандартные виды металлов, что делает их менее чувствительными к отдельным примесям и разнице теплового расширения.

Более подробную информацию о сварке аустенитных нержавеющих сталей можно найти в публикации Института никеля № 11007, «Руководство по проведению сварочных работ для сплавов с содержанием никеля для применения в условиях повышенной устойчивости к коррозии».

Дуплексные нержавеющие стали. Базовый металл большинства дуплексных сталей имеет нормированный состав и получает нормированную тепловую обработку для получения 40-55% феррита, который при уравнивании становится аустенитом. При сварке показатели нагрева и охлаждения становятся менее нормированными, что позволяет получать более широкий диапазон возможных ферритов. Важно не допускать сварки в условиях, когда получается 65-70% и более феррита, который влияет либо на наплавленный металл, либо на зону теплового воздействия, так как это может оказать неблагоприятное воздействие на коррозионную стойкость и, возможно, на механические свойства.

По схожим причинам, большинство спецификаций ограничивает минимальное содержание феррита на уровне 25-30%, хотя при таком содержании последствия не являются такими серьезными. Во избежание повышения ферритного уровня большинство дуплексных наплавных металлов содержат на 2-3% больше никеля, чем базовый металл. В целом, необходимо избегать сварки без применения наплавного металла. В случае одного вида ненасыщенной «лёгкой» дуплексной стали с содержанием никеля около 1.5%, наплавной металл должен иметь примерно на 6-7% никеля больше для обеспечения необходимых качеств при сварке. Соответствующий отжиг дуплексных сварочных швов часто может привести к снижению неприемлемо высоких уровней ферритов; в результате, литые изделия и сваренные трубы и фитинги могут свариваться без повышения содержания никеля либо вовсе без наплавного металла.

Сварка дуплексных сталей обычно производится без предварительной или последующей температурной обработки. Сварка дуплексных нержавеющей сталей до получения аустенита производится с использованием дуплексных или аустенитных наплавных металлов. При последнем виде сварки металл может оказаться слабее, чем базовый дуплексный, но прочнее, чем базовый аустенитный. Сварка дуплексных сталей с углеродистыми обычно выполняется с применением одного из наплавных металлов с повышенным ферритным содержанием (309L или 309MoL) или дуплексного наплавного металла. Сварка разнородных металлов - дуплексной стали с углеродистой сталью повышенной прочности (твердости) или низколегированной сталью может потребовать предварительной или последующей температурной обработки ржавеющего металла, а это может повлиять на дуплексную нержавеющую сталь. В таких случаях требуется консультация специалиста.

Дуплексные нержавеющие стали, особенно высоколегированные, которые используются в агрессивных условиях, требуют проведения дополнительных мероприятий для выполнения сварных конструкций, обладающих необходимыми антикоррозионными и механическими свойствами. Более подробную информацию по сварке дуплексных сталей можно найти в работе Международной ассоциации производителей молибдена (IMOA) «*Практическое руководство по обработке дуплексных нержавеющей сталей*» (публикация Института никеля №16000).

Ферритные нержавеющие стали. Для ферритных нержавеющей сталей с содержанием хрома 10.5-12%, которые не должны упрочняться с помощью температурной обработки, сварка чаще всего выполняется без применения наплавного металла либо с подходящим стабилизированным наплавным металлом. Аустенитные наплавные металлы, такие как 308L, иногда используются при условии их наличия в легкой доступности. В некоторые из свариваемых ферритных базовых металлов (например, S41003) специально добавляется никель для контроля размера кристалла как в процессе производства (особенно толстых участков), так и во время сварки. Они не являются собственно нержавеющими сталями и точнее могут быть названы «ферритно-мартенситными сплавами». Они обычно свариваются с металлом типа 309L либо, в отдельных случаях, с другими аустенитными наплавными металлами.

Ферритные виды с содержанием хрома 16-18% и не содержащие молибден, чаще всего свариваются с аустенитными наплавными металлами, хотя могут существовать и более подходящие альтернативы. Они также часто стабилизируются.

Более высоколегированные ферритные нержавеющие стали представляют при сварке особую проблему, обсуждение которой не входит в цели настоящей публикации. На практике для сварки таких сплавов часто применяются аустенитные наплавные металлы. Для получения информации по сварочным работам следует обращаться к справочным материалам производителя сплавов. Поскольку большинство таких сплавов непригодны для использования при более высокой толщине стенки, часто применяется сварка разнородных металлов, например, тонкой ферритной трубы с аустенитной трубной решеткой. Такие сварные швы всегда выполняются с помощью аустенитных наплавных металлов.

Мартенситные и дисперсионно-твердеющие (PH) нержавеющие стали. При сварке этих материалов также возникает ряд проблем. Если необходимо, чтобы наплавленный металл обладал такой же прочностью (твердостью), как и базовый, нужно использовать наплавной металл, прошедший такую же процедуру упрочнения, как и базовый. Чаще всего это не является проблемой, поэтому применяются как аустенитные нержавеющие стали, так и наплавные металлы на основе сплавов никеля. Конечные сварочные швы оказываются слабее, чем базовый материал, но все же достаточно пластичными. Что касается мартенситных сталей, для них обычно требуется предварительная и послесварочная температурная обработка, в то время как для PH сталей она может быть необходима только в случае большей толщины.

«Аустенитные нержавеющие стали часто соединяются при помощи высокотемпературной пайки»

Послесварочная очистка

Поскольку все нержавеющие стали обеспечивают защитную оксидную пленку, защищающую от коррозии, важно провести соответствующие процедуры очистки, согласно конечному применению продукции. Подробное описание таких операций приводится в публикации 10004 Института никеля.

Другие способы соединения

К другим способам соединения, применяющимся для нержавеющих сталей, относятся высокотемпературная и низкотемпературная пайки, а также механические способы соединения, которые будут рассмотрены ниже.

Высокотемпературная пайка. Аустенитные нержавеющие стали часто соединяются при помощи высокотемпературной пайки. Серебряные твердые припои являются, наверно, самыми распространенными припоями, несмотря на их относительную дороговизну. Они могут легко применяться при довольно низкой температуре пайки и хорошей устойчивости к коррозии. Никелевые твердые припои, некоторые с добавлением хрома, обладают лучшей устойчивостью к коррозии, но требуют более высокой температуры пайки. Для ряда особых случаев применяются медные и золотые твердые припои. Каждый выбор припоя должен основываться на критериях прочности, коррозионной стойкости, влияния температуры пайки на базовый металл и возможного разрушительного взаимодействия припоя с базовым металлом.

Низкотемпературная пайка. Все виды нержавеющей стали достаточно легко могут переносить низкотемпературную пайку, проблематичными могут оказаться только виды стали, стабилизированной титаном. Обычно используются свинцово-оловянные и оловянно-серебряные мягкие припои. Важно удалить защитный оксидный слой при помощи флюса. Все мягкие припои обладают гораздо худшей устойчивостью к коррозии и прочностью по сравнению с базовым металлом.

Механические способы соединения. К нержавеющей стали применимы такие методы соединения, как крепление с помощью болтов, винтов, заклепок, фальцевание и склейка. Как правило, такие соединения менее прочны, чем сварочные швы. В образующихся трещинах может появляться коррозия. Водопроводы с питьевой водой внутри зданий часто экономично и надежно соединяются с помощью механических соединений. При соединении различных металлов и слишком разных нержавеющих сплавов следует обращать внимание на образование гальванической коррозии. Например, крепежные детали из алюминия и оцинкованной углеродистой стали менее надежны и могут быстро начать корродировать, особенно по причине их небольшой площади по сравнению с площадью нержавеющей стали.

| Перекрестные ссылки для наплавных металлов, упомянутых в данной главе | |
|---|-----------|
| AWS (A5.4) | EN (1600) |
| 308L | 19 9 L |
| 309MoL | 23 12 2 L |
| 312 | 29 9 |
| 316L | 19 12 2 L |

Глава 6

Никель и устойчивое развитие

«Если что-либо способно выполнять те же функции с меньшим потреблением материала, это уже прогресс»

«Материалоёмкость моста в течение его полного срока службы может быть сокращена на 50%...»

В предыдущих главах рассматривались металлургические аспекты, связанные с проектными и эксплуатационными требованиями. В данной главе поднимаются более широкое значение этих свойств и особое внимание уделяется аспекту их вклада в устойчивое развитие.

С целью удовлетворения своих потребностей люди и общество вкладывают деньги в продукцию и системы организации их производства. В наше сложное время потребности многочисленны и постоянно растут, и обычно существует много путей для их удовлетворения. Подсчет необходимых ресурсов, в том числе последствий потребления этих ресурсов, означает проверку способности планеты обеспечить потребности людей. Материалы, которые могут снизить интенсивность потребления материалов, становятся как никогда жизненно важными, и никель вносит в это большой вклад.

Эффективное использование материалов имеет чрезвычайно важное значение. Роскошь удовлетворения потребностей грубым, примитивным способом, просто выделяя массу материалов и энергии на решение проблемы, больше не позволительна. Применение небольшого по объёму добавок никеля в нержавеющей стали часто позволяет значительно сократить потребление других материалов и энергии, предложить более простые, высокоактивные, эффективные, элегантные решения для удовлетворения потребностей общества. Присутствие или отсутствие никеля во многом является мерой экологической эффективности, поскольку именно никель оказывает положительное воздействие в этом направлении.

Мы предлагаем Вашему вниманию всего лишь несколько примеров, но за ними стоят тысячи других случаев.

Создание долговечной инфраструктуры

Прочность. Если что-либо – часть инфраструктуры, часть оборудования – способно выполнять те же функции с меньшим потреблением материала, это уже прогресс. В силу своей прочности в сочетании с коррозионной стойкостью никельсодержащая строительная арматура может быть более легкой, но в то же время способной выдерживать такие же нагрузки. В связи с уменьшением массы стали в конструкции, количество бетона, необходимого для опор, может быть пропорционально уменьшено. В этом примере присутствие небольшого количества никеля позволяет значительно сократить количество железа, цемента и всего комплекса необходимых материалов при полном сохранении функциональности и полезности.

Повышенная коррозионная стойкость. В климатических и географических регионах с присутствием соли или большого количества промышленных предприятий добавление небольшого количества никеля позволит значительно сократить использование ресурсов в течение всего срока службы конструкции или продукта. Во многих случаях это способно продлить срок службы продукции (и его непрерывную работу) в несколько раз. Это также позволяет – в зависимости от продукции и выполняемых ею функций – полностью ликвидировать потребность в постоянном ремонте и восстановлении: не нужно красить, не нужно дорогостоящих ремонтных работ бетона, растрескавшегося из-за ржавеющей арматуры, никаких задержек (с затратами горючего) и (или) объездов (с увеличением потребления топлива). Кроме того, «покрытие» (глубина необходимого асфальта и бетона), необходимое для защиты арматуры от коррозии, уменьшается. Требуется меньшее количество асфальта и бетона. Меньшее количество асфальта и бетона означает уменьшение переносимого веса и возможность установки более тонких опор и несущих балок, что, в свою очередь, подразумевает использование меньшего количества материала и уменьшение веса. Весь этот эффективный цикл обеспечивается применением никельсодержащей нержавеющей стали.

Устойчивое развитие. Результаты предварительных исследований показывают, что только лишь с помощью применения никельсодержащей нержавеющей стали материалоёмкость моста или виадука в течение всего их срока службы можно сократить на 50%. В данной оценке помимо прочего учитывались и энергозатраты на производство, использование и утилизацию материалов от краски до асфальта, и высокий процент материалов, восстановленных и направленных на вторичную переработку в конце штатного срока службы, так как никельсодержащие нержавеющей стали обладают уникальной способностью сохранять не только свои физические и химические свойства, но и стоимость.

«Использование долговечных кровельных материалов из нержавеющей стали позволяет улучшить тепловой баланс»

Это материал (с точки зрения затраты финансов и рабочей силы), который всегда необходим для удовлетворения общественных потребностей, даже если воздействие на окружающую среду сократится.

Повышение энергоэффективности

Отражательная способность. Актуальной проблемой является сохранение тепла в холодное время года и предотвращение перегрева в жаркое время года. Традиционно это решалось за счёт энергопотребления - энергии для нагрева, энергии для охлаждения, и все это в условиях существенных климатических изменений. Но оптимальным решением той же проблемы является использование продуманного инженерно-конструктивного решения. Применение долговечных кровельных материалов из нержавеющей стали с соответствующей обработкой поверхности и скатов крыши позволит улучшить тепловой баланс. Результатом становится сокращение как материалоемкости – крыша живет столько же, сколько и здание, а затем практически полностью перерабатывается, так и энергетических затрат.



Питтсбургский конференц-центр
Фото: Архитектурная мастерская Рафаэля Виньоли

Повышение коррозионной стойкости. Мы уже рассмотрели очевидные возможности использования никеля в стенах и крышах. Однако множество применений материала для сокращения затрат материалов скрыто от глаз, но и они могут внести существенный вклад в повышение эффективности. Одним из примеров могут служить бойлеры, работающие на конденсирующем газе. Они являются наиболее энергосберегающими из всех доступных бойлеров, их эффективность достигает 90 процентов. Их эксплуатация стала возможной благодаря теплообменным поверхностям, выполненным из никельсодержащей нержавеющей стали. В отсеке конденсирующего теплообмена продукты горения охлаждаются до точки конденсации водяного пара, таким образом направляя дополнительное тепло в здание.

Устойчивое развитие «В настоящее время вторичная переработка сокращает энергетические потребности на 33%, а выработку углекислого газа на 32% на тонну»

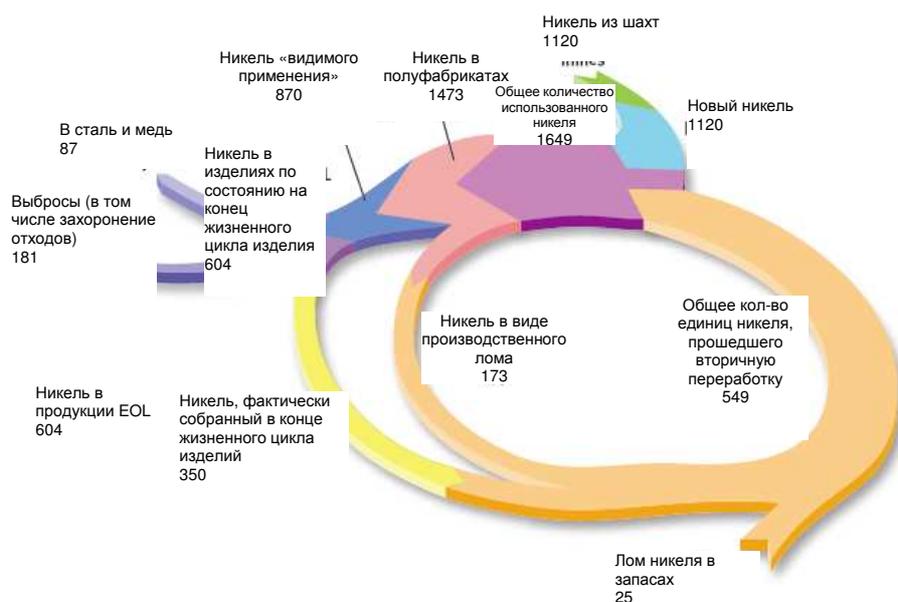
Вторичная переработка по окончании срока службы

Практически любые материалы подлежат вторичной переработке. Разница заключается в количестве усилий, – включая энергию – необходимых для переработки, и качестве переработанного материала. Металлы в этом отношении демонстрируют очень хорошие результаты, а никельсодержащие нержавеющие стали просто превосходно подходят для вторичной переработки. Лом с содержанием никеля имеет значительную экономическую ценность, обеспечивает экономическую целесообразность существования целой индустрии по сбору и первичной подготовке ломов, позволяет постоянно увеличивать производство «новой» нержавеющей стали, содержащей в среднем 60% лома без потери качества.

60%-я доля лома в производимых сейчас товарных сортах нержавеющей стали – это еще не металлургический лимит. Ограничением является лишь предложение лома. Увеличение спроса на нержавеющие стали в сочетании с долговечностью продукции из нержавеющей стали приводит к отставанию в наличии доступного лома. Нет никаких металлургических причин для того, чтобы доля лома в производстве никельсодержащих нержавеющих сталей не достигла 100%.

Вторичная переработка не только сохраняет физические ресурсы – пусть и очень хорошо. Она также сокращает спрос на энергоресурсы на 33%, а выработку углекислого газа на 32% на тонну. Поскольку доля лома (соотношение лома и первичного материала) при производстве нержавеющей стали постоянно увеличивается, потенциально возможная экономия энергии возрастает до 67% , а объем выбросов углекислого газа может сократиться на 70%. *(Иельский университет¹)*

Запасы и потоки никеля в 2000 году, в тысячах метрических тонн.



Большинство современных запасов никеля находится в применении – никель связан в конструкциях долгосрочного применения, механизмах или трубопроводах, которые пока еще не выработали свой жизненный ресурс.

«Нет никаких металлургических причин для того, чтобы доля лома в производстве никельсодержащих нержавеющей сталей не достигла 100%»

Ответственное производство и применение

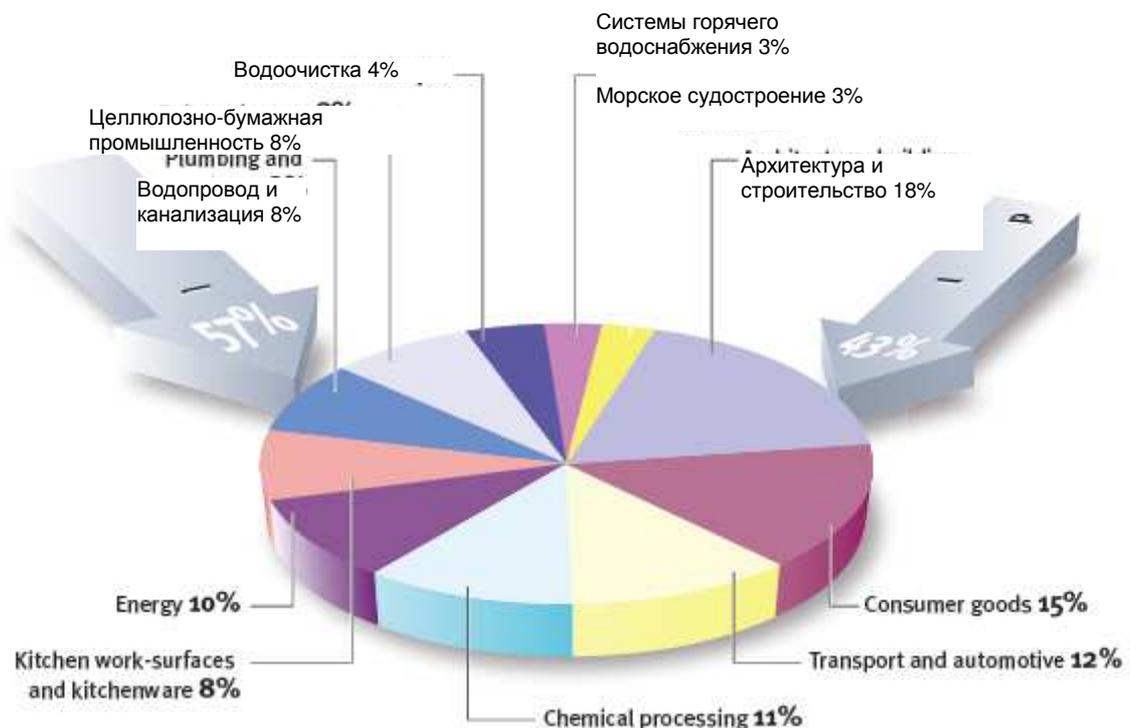
Промышленность, производящая никель, и производственно-сбытовая цепочка, поддерживающая экологическую эффективность применения материалов и энергии, охватывают весь мир. Индустрия первичного никеля присутствует и активно работает во всех климатических и географических регионах мира и, вносит значительный вклад в экономическое развитие стран, находящихся на разных этапах становления развитой национальной экономики.

Руководство отрасли первичного никеля в полной степени привержено принципам ответственного производителя. В одном только этом факте нет ничего необычного, но никелевая промышленность предпринимает осознанные шаги, выводящие эту деятельность за узкоотраслевые рамки. Никелевая промышленность активно использует производственно-сбытовую цепочку для передачи необходимых технологий и методик максимизации эффективности, усовершенствования норм охраны труда и природоохраны, роста интенсивности вторичной переработки и поддержки базовых научных исследований в области здравоохранения и экологии.

Эта приверженность устойчивому развитию закреплена в Декларации Института никеля об устойчивом развитии и претворяется в жизнь на практике посредством реализации специальных программ по сопровождению продуктов и материалов, а также за счёт членства в Международном совете по горному делу и металлам (МСГМ).

В общем, причин для преимущественного использования никеля в технических решениях инженерных и архитектурных проблем много. В то же время, вклад никеля в решение проблем устойчивого развития и борьбы с изменением климата максимален, а сам никель ответственно управляется на протяжении всего своего жизненного цикла всей производственно-сбытовой цепочкой, начиная с индустрии первичного никеля.

Конечное потребление никеля



Никель применяется в самых различных областях. Архитектура и строительство, потребительские товары, транспорт и химическая промышленность используют более 50% всего производимого никеля.

Источник: Pariser, 2007 г.

Существует много источников информации по нержавеющей сталям, в том числе и по никельсодержащим сталям, в которых содержится более подробная информация, чем в данной публикации.

Вот лишь некоторые из них:

Институт никеля: Вы можете обратиться к последнему каталогу публикаций или посетить наш Интернет-сайт www.nickelinstitute.org, которые, помимо информации по нержавеющей сталям, содержат информацию по никелевым сплавам, медно-никелевым сплавам, железо-никелевым соединениям и сталеникелевой металлизации. Кроме того, в журнале *Nickel Magazine* можно найти описания применения никеля, а также публикации прошлых лет, хранящиеся в архивах на нашем сайте. Темы некоторых наиболее популярных и значительных публикаций включают:

| № публикации | Название |
|--------------|---|
| 14056 | Нержавеющие стали: введение в металлургию и устойчивость к коррозии |
| 11021 | Высококачественные нержавеющей стали |
| 11022 | Литье – нержавеющей стали и стали на основе никеля |
| 2980 | Инженерные свойства аустенитной хромово-никелевой нержавеющей стали при повышенных температурах |
| 9004 | Высокотемпературные характеристики нержавеющей сталей |
| 313 | Аустенитная хромово-никелевая нержавеющей сталь при температуре ниже нуля |
| 11023 | Архитектурные сооружения из нержавеющей стали, неподвластные времени |
| 11024 | Нержавеющая сталь в архитектуре и строительстве |
| 10087 | Применение нержавеющей стали на предприятиях по очистке питьевой воды |
| 10076 | Применение нержавеющей стали на предприятиях по очистке сточных вод |
| 12010 | Применение нержавеющей стали в зданиях плавательных бассейнов |
| 11003 | Никельсодержащая нержавеющей сталь в морских условиях, природных и соленых водах |
| 11025 | Нержавеющая сталь и специальные сплавы на современных целлюлозно-бумажных предприятиях |
| 10057 | Выбор и применение нержавеющей сталей и других сплавов с содержанием никеля в серной кислоте |
| 10075 | Выбор и применение нержавеющей сталей и сплавов с содержанием никеля в азотной кислоте |
| 10063 | Выбор и применение нержавеющей сталей и сплавов с содержанием никеля в органических кислотах |
| 10020 | Сплавы, устойчивые к хлорину, соляной кислоте и хлористому водороду |
| 10015 | Выбор сплава для предприятий по производству экстракционной фосфорной кислоты |
| 10074 | Сплавы с содержанием никеля во фтористоводородной кислоте, фтороводороде и фторе |
| 10019 | Выбор сплава для применения с каустической содой |
| 10071 | Обработанные и отлитые термостойкие нержавеющей стали и сплавы никеля для очистки и нефтехимической промышленности |
| 10073 | Устойчивые к коррозии сплавы в нефтегазовой промышленности |
| 14054 | Сплавы для морского флота |
| 11007 | Руководство по проведению сварочных работ для никельсодержащих сплавов для применения в условиях повышенной устойчивости к коррозии |
| 16000 | Практическое руководство по обработке дуплексных нержавеющей сталей (публ. IMOА) |
| 11026 | Производство нержавеющей сталей для водной промышленности |
| 10004 | Производство и последующая очистка нержавеющей сталей |
| 10068 | Описание обработки поверхности нержавеющей стали |

Приложение

ISSF (Международный форум по нержавеющей стали) – www.worldstainless.org

На веб-сайте форума содержится информация по производству и применению нержавеющей стали, в том числе публикации по охране здоровья и экологической безопасности. Предложение курсов для специалистов по нержавеющей стали. Ссылки на другие веб-сайты.

Во многих странах и регионах есть свои организации по применению нержавеющей стали. Основные англоязычные организации:

EuroInox (Европейская ассоциация по развитию нержавеющей стали) – www.euro-inox.org

Превосходные публикации на многих европейских языках. Членами организации являются различные национальные европейские ассоциации развития рынков, в том числе BSSA (Британская ассоциация по нержавеющей стали) www.bssa.org.uk

SSINA (Североамериканская промышленность спецсталей) – www.ssina.com

ASSDA (Австралийская ассоциация по развитию нержавеющей стали) – www.assda.asn.org

NZSSA (Новозеландская ассоциация по развитию нержавеющей стали) – www.hera.org/nz/nzssda/

ISSDA (Индийская ассоциация по развитию нержавеющей стали) www.stainlessindia.org

SASSDA (Южноафриканская ассоциация по развитию нержавеющей стали) – www.sassda.co.za

Другие ассоциации по развитию нержавеющей стали:

Бразилия – www.nucleinox.org.br

Китай – www.cssc.org.cn

Япония – www.jssa.gr.jp

Мексика – www.cendi.org.mx

Таиланд – www.tssda.org

Другие ассоциации:

IMOА (Международная ассоциация производителей молибдена) – www.imoa.info/

ICDA (Международная ассоциация по развитию хрома) – www.icdachromium.com

Приложение

Состав сплавов

| UNS | AISI или общее название | Сорт по EN (примерно) | Углерод (макс.) | Хром | Никель | Молибден | другие |
|-------------------------------|-------------------------|-----------------------|-------------------------|------|--------|----------|-----------|
| Аустенитные серии 300 | | | | | | | |
| S30100 | 301 | 1,4310 | 0,15 | 17 | 7 | - | - |
| S30200 | 302 | 1,4319 | 0,15 | 18 | 9 | - | - |
| S30430 | 302HQ | 1,4567 | 0,10 | 18 | 9 | - | Cu |
| S30300 | 303 | 1,4305 | 0,15 | 18 | 9 | - | S |
| S30400 | 304 | 1,4301 | 0,08 | 19 | 9 | - | - |
| S30403 | 304L | 1,4301 | 0,03 | 19 | 9 | - | - |
| S30409 | 304H | 1,4948 | 0,10 макс. 0,04 мин. | 19 | 9 | - | - |
| S30500 | 305 | 1,4303 | 0,12 | 18 | 12 | - | - |
| S30900 | 309 | 1,4833 | 0,20 | 23 | 13 | - | - |
| S31000 | 310 | 1,4841 | 0,25 | 25 | 20 | - | - |
| S31600 | 316 | 1,4401 | 0,08 | 17 | 11 | 2,2 | - |
| S31603 | 316L | 1,4404 | 0,03 | 17 | 11 | 2,2 | - |
| S31635 | 316Ti | 1,4571 | 0,03 | 17 | 11 | 2,2 | Ti |
| S31703 | 317L | 1,4438 | 0,03 | 19 | 12 | 3,2 | - |
| S31726 | 317LMN | 1,4439 | 0,03 | 19 | 15 | 3,2 | N |
| S32100 | 321 | 1,4541 | 0,08 | 18 | 10 | - | Ti |
| S34700 | 347 | 1,4550 | 0,08 | 18 | 10 | - | Nb |
| S31254 | - | 1,4547 | 0,02 | 20 | 18 | 6,2 | N, Cu |
| S32053 | - | - | 0,03 | 23 | 25 | 5,5 | N |
| S32654 | - | 1,4652 | 0,02 | 24 | 22 | 7,2 | N, Cu, Mn |
| S34565 | - | 1,4565 | 0,03 | 24 | 17 | 4,5 | N, Mn |
| N08020 | Сплав 20 | 2,4660 | 0,06 | 20 | 34 | 2,5 | Cu, Nb |
| N08028 | Сплав 28 | 1,4877 | 0,03 | 27 | 32 | 3,5 | Cu |
| N08330 | 330 | 1,4864 | 0,08 | 18 | 35 | - | Si |
| N08904 | 904L | 1,4539 | 0,02 | 20 | 25 | 4,5 | Cu |
| Аустенитные серии 200 | | | | | | | |
| S20100 | 201 | 1,4372 | 0,15 | 17 | 4,5 | - | Mn |
| S20153 | 201LN | - | 0,03 | 17 | 4,5 | - | Mn, N |
| S20200 | 202 | 1,4373 | 0,15 | 18 | 5 | - | Mn |
| Дуплексные | | | | | | | |
| S32101 | 2101 | 1,4162 | 0,03 | 21 | 1,5 | - | Mn, N |
| S32304 | 2304 | 1,4362 | 0,03 | 23 | 4 | 0,2 | N |
| S32205 | 2205 | 1,4462 | 0,03 | 22,5 | 5,5 | 3,2 | N |
| S32506 | - | - | 0,03 | 25 | 6,5 | 3,3 | N, W |
| S32750 | 2507 | 1,4410 | 0,03 | 25 | 7 | 4 | N |
| Ферритные серии 400 | | | | | | | |
| S40900 | 409 | 1,4512 | 0,08 | 11 | - | - | Ti |
| S43000 | 430 | 1,4016 | 0,12 | 17 | - | - | - |
| S44600 | 446 | 1,4749 | 0,20 | 25 | - | - | - |
| S44800 | 29-4-2 | - | 0,010 | 29 | 2,2 | 4 | - |
| Мартенситные серии 400 | | | | | | | |
| S41003 | - | 1,4003 | 0,03 | 11 | 0,5 | - | - |
| S41000 | 410 | 1,4006 | 0,15 | 12 | - | - | - |
| J91450 | CA6NM | 1,4317 | 0,06 | 13 | 4 | 0,7 | - |
| Другие типы | | | | | | | |
| S17400 | 630/17-4PH | 1,4542 | 0,03 | 17 | 4 | - | Cu, Nb |

Международные офисы Института никеля

Главный офис Института никеля

55 University Avenue
Suite 1801
Toronto, ON Canada M5J 2H7
Тел.: + 1 416 591 7999
Факс: + 1 416 591 7987
ni_toronto@nickelinstitute.org

Институт никеля (Австралия и Океания)

Австралийская ассоциация по развитию
нержавеющей стали (ASSDA)
Level 15, 215 Adelaide Street
Brisbane, QLD 4000 Australia
Тел.: + 61 7 3220 0722
Факс: + 61 7 3220 0733
ni_australasia@nickelinstitute.org

Институт никеля (Китай)

Room 677-678, Poly Plaza Office Building
14 Dongzhimen Nandajie
Beijing, China 100027
Тел.: + 86 10 6553 3060
Факс: + 86 10 6501 0261
ni_china@nickelinstitute.org

Институт никеля (Европейский информационно-технический центр)

The Holloway, Alvechurch
Birmingham, England B48 7QA
Тел.: + 44 1527 584 777
Факс: + 44 1527 585 562
birmingham@nickelinstitute.org

Институт никеля (Европа)

Sixth Floor
Avenue des Arts 13
Brussels 1210 Belgium
Тел.: + 32 2 290 3200
Факс: + 32 2 290 3220
euronickel@euronickel.org

Институт никеля (Индия)

K-36, 1st Floor

Hauz Khas Enclave
(за почтовым отделением Hauz Khas)
New Delhi 110 016 India
Тел.: + 91 11 2686 5631/2686 3389
Факс: + 91 11 2686 3376
nissda@gmail.com
ni_india@nickelinstitute.org

Институт никеля (Южная Корея)

B-1001, Kumho Richensia
Yeouido-dong, Yeongdeungpo-gu
Seoul 150 947 South Korea
Тел./факс: + 82 2 786 5668
ni_korea@nickelinstitute.org

Институт никеля (Бразилия)

ICZ-Instituto de Metais Não Ferrosos
Av. Angélica, 2118, conj 93
Higienópolis
São Paulo – SP Brasil
CEP 01228-000
Тел./факс: + 55 11 3214 1311
Факс: + 55 11 3214 0709
douglas.dallemule@icz.br

Институт никеля (Япония)

Shimbashi Sumitomo Bldg. 1F
5-11-3, Shimbashi, Minato
Токио 105-8716 Japan
Тел.: + 81 3 3436 7953
Факс: + 81 3 3436 2132
ni_japan@nickelinstitute.org

Институт никеля (Ассоциация производителей никеля по исследованиям в области экологии– NiPERA)

2605 Meridian Parkway, Suite 200
Durham, NC 27713 U.S.A
Тел.: + 1 919 544 7722
Факс: + 919 544 7724
info@nipera.org

Институт никеля

www.nickelinstitute.org