## Министерство образования Российской федерации

## Департамент образования и науки Пермской области

##### Профессиональное училище №52

### **Письменная дипломная работа**

**на тему: “Сварка никеля”**

#### Выпускник: Березин В.А.

Специальность:

Электрогазосварщик

Группа №18

Преподаватель по спецтехнологии

Трутнева О.М.

Работа допущена к

защите с оценкой:

г. Пермь

# Введение

Знакомство человека с никелем состоялось, по-видимому, задолго до н.э.. Древ­ние китайцы, например, ещё в III веке до н.э. выполняли сплав никеля с медью и цин­ком – “Пактонг”, который пользовался спросом во многих странах. Бактрийцы же из­готавливали из этого сплава монеты. Одна из таких монет, выпущенная в 235 году до н.э., хранится в Британском музее в Лондоне.

Как элемент никель был открыт 1751 году шведским химиком Кронстедтом, ко­торый обнаружил его в минерале никелине. Но тогда этот минерал назывался иначе – купферникель (“Медный дьявол”). Дело в том, что ещё в средние века саксонские ру­докопы часто встречали минерал красноватого цвета. Из-за своей окраски камень был ошибочно принят ими за медную руду. Долго пытались металлурги выплавит из этой “медной руды” медь, но шансов на успех было едва ли больше, чем у алхимиков, на­деявшихся при помощи “философского камня” получить золото из мочи животных.

Возможно, средневековым аспирантам удалось в дальнейшем научно обосновать эту смелую гипотезу. Во всяком случае, попыток получить из красноватого минерала медь больше уже не предпринимали. А чтобы и впредь никто не соблазнился этой пус­той затеей, минерал решено было назвать “медным дьяволом”.

Кронстедт, вероятно, не был суеверным. Не убоявшись “дьявола”, он всё-таки сумел получить из купферникеля металл, но не медь, а какой-то новый элемент, кото­рый он и нарёк никелем.

Прошло ещё полвека, и немецкому химику Рихтеру удалось выделить из руды относительно чистый никель – серебристо-белый металл, с едва уловимым коричне­вым оттенком, очень ковкий и тягучий. Но о производстве никеля в промышленных масштабах тогда ещё и не было речи.

В 1865 году крупные месторождения никелевых руд были обнаружены в Новой Каледонии. Начальником горного департамента этой французской колонии незадолго до описываемых событий был назначен Жюль Гарнье, обладавший исключительной энергией и глубокими знаниями. Он тотчас развил бурную деятельность, надеясь найти на острове полезные ископаемые. Вскоре его поиски увенчались успехом: недра острова оказались богатыми никелем. В честь энергичного француза новокаледонский никель, содержащий минерал назвали Гарниеритом.

Спустя почти два десятилетия в Канаде при прокладке Тихоокеанской железной дороги рабочие наткнулись на громадные залежи медно-никелиевых руд.

Эти два открытия послужили мощным толчком к освоению промышленной до­бычи никеля. Приблизительно в те же годы было открыто и важное свойство этого элемента – улучшать качество стали. Правда, ещё в 1820 году знаменитый английский учёный Майкл Фарадей провёл несколько опытов по выплавке сталей, содержащих никель, но тогда они не смогли заинтересовать металлургов.

В конце прошлого века Обуховский завод (в Петербурге) получил ответственное задание военно-морского ведомства – освоить производство высококачественной ко­рабельной брони.

Созданием новой отечественной брони занялся замечательный русский метал­лург и металловед А.А. Ржемотарский. Напряжённая работа вскоре была успешно за­вершена. Обуховский завод начал выпускать отличную десятидюймовую броню из никелевой стали.

В наши дни никелевую сталь используют в мирных целях. Из неё изготавливают хирургические инструменты, детали химической аппаратуры, предметы домашнего обихода.

Не менее важное “занятие” никеля – создание разнообразных сплавов с другими металлами. Ещё в начале XIX века металлургов и химиков охватила “эпидемия” поис­ков нового сплава, способного полностью заменить серебро для изготовления посуды и столовых приборов. В роли “вируса” выступала солидная премия, обещанная тому счастливчику, который сможет создать такой сплав. Вот тогда-то и вспомнили о древ­нем китайском сплаве. Почти одновременно различным учёным, взявшим за основу состав пактонга, удалось получить медно-никелевые сплавы, весьма сходные с сереб­ром.

В 1926 году удалось создать медно-никелевый сплав, которому не была проти­вопоказана морская служба. Теперь моряки могли быть твёрдо уверены, что трубки не подведут их в трудную минуту.

Сейчас число никелевых сплавов, находящих широкое применение в технике, в быту, в ювелирном деле, превысила 3000!

Из сплава на основе никеля (до 75 %) выполнены турбинные лопатки воздуш­ного лайнера “ТУ-104”.

Несколько лет назад учёные создали новый сплав – никоси, названный так по первым слогам входящих в него компонентов: 94% никеля, 4% кольбата и 2% кремния (“силиция”). Испытания показали, что никоси поможет создать мощные источники ультразвука.

Широкую известность никель приобрёл благодаря своей способности защищать металлы от окисления. Никелирование не только предохраняет изделия от коррозии, но и предаёт им красивый внешний вид. Весёлый блик кастрюль, кофейников и само­варов – всё это “проделки” никеля, тонким слоем которого покрыты многие предметы обихода.

Впервые попытку использовать этот металл в качестве покрытия предпринял в 1842 году немецкий учёный Бетгер. Однако ему не удалось добиться своей цели, так как никель, которым в то время располагала техника, содержал посторонние примеси, мешавшие гальваническим путём наносить покрытие. Тончайшая плёнка никеля на­дёжно охраняет сегодня железо, позволяя сберечь от коррозии огромные количества этого металла.

Работники пищевой промышленности знакомы с никелем по его соединению – карбонилу, который служит катализатором при производстве маргарина и майонеза.

В начале нашего века владелец Санкт-Петербургского свечного и стеаринового заводов некто Жуков начал варить мыло с применением какого-то вещества, секрет которого предприимчивый заводчик до конца своих дней хранил в строжайшей тайне. Только после его смерти выяснилось, что загадочным веществом был тетракарбонил никеля, при разложении которого выделяется высокодисперсный металлический ни­кель. Он-то и оказывает сильное каталитическое действие на процесс отвердения жи­ров. С этим катализатором нужно быть осторожным: он очень токсичен – в пять раз токсичнее угарного газа.

Из соединений никеля важное значение имеет также его окись, используемая для изготовления щелочных железоникелевых аккумуляторов.

В периодической системе никель расположен рядом с железом и кобальтом. Бу­дучи во многом сходными, эти элементы образуют так называемую триаду. Любо­пытно, что из 104 известных в настоящее время элементов при обычных условиях лишь члены железной природы обладают ферромагнитными свойствами. Эта “семей­ственность” доставляет много хлопот металлургам: отделить никель от кобальта – за­дача не из лёгких. Да и другая соседка никеля по таблице элементов – медь – тоже очень неохотно расстаётся с ним. В природе же и кобальт, и медь, как правило, сопут­ствуют никелю. Разделение этих элементов – сложный многостадийный процесс. Именно по этому никель считается одним из наиболее дорогих и дефицитных про­мышленных металлов.

В земной коре содержится 0,008% никеля. Не думайте, что это мало. Общее ко­личество никеля оценивается приблизительно в 10 тонн.



По разведанным запасам никеля наша страна занимает одно из первых мест в мире. Среди капиталистических стран ведущая роль в добыче никелевых руд принад­лежит Канаде.

В отличие от Земли, где никель встречается лишь “в компании” с другими эле­ментами, многие небесные тела располагают чистым никелем. Если бы вам удалось достать с неба звезду, вы возможно нашли бы на ней изотоп никеля – никель-80 (на Земле этот элемент существует в виде пяти более лёгких изотопов). Удельный вес земного никеля – 8,9 грамма на кубический сантиметр. На звёздах, где плотность ма­терии очень велика (например, на белых карликах), 1 кубический сантиметр никеля весит тонны!

В довольно больших количествах космический никель попадает и на нашу пла­нету. По подсчётам советских учёных, ежегодно на каждый квадратный километр ми­рового океана падает в виде метеоритов до 250 граммов никеля.

# Технологическая часть

При сварке никеля возникают следующие затруднения:

* поглощение газов жидким металлом и резкое падение их растворимости при пере­ходе металла в твёрдое состояние, что приводит к пористости шва. Поэтому лучше применять правую сварку, дающую замедленное охлаждение металла шва, что уменьшает пористость;
* образование тугоплавкой окиси никеля, имеющей температуру плавления 1650 - 1660°С. Удаление окисей осуществляется с помощью флюсов: плавленой буры; смеси из 25% буры и 75% борной кислоты; насыщенного раствора борной кислоты в спирте; смеси из 50% борной кислоты, 30% буры, 10% поваренной соли и 10% уг­лекислого бария. Применяют и более сложные флюсы, содержащие, кроме буру и борной кислоты, хлористые соединения магния, марганца и лития, а также хлори­стый кобальт, феррованадий и титановый концентрат.

Газовой сваркой никель сваривается удовлетворительно. Листы толщиной до 1,5 мм свариваются без присадочного металла, с отбортовкой кромок на высоту (1 + 1,5) S, где S – толщина металла, мм. Листы толщиной до 4 мм свариваются встык без скоса кромок. Для больших толщин делают односторонний скос под углом 35-45°. Сварку внахлёстку не применяют ввиду значительных деформаций при нагревании листов. Листы перед сваркой скрепляют прихватками через каждые 100-200 мм. Сварку ведут отдельными участками обратноступенчатым способом.

Пламя не должно иметь избытка кислорода, который вызывает появление пор, а наплавленный металл получается хрупким. Допустимо применять пламя с небольшим избытком ацетилена. При сварке никеля мощность пламени берут 140-200 дм/ч аце­тилена, а при сварке монельметалла\* - 100 дм/ч на 1 мм толщины металла. В качестве присадки применяют полоску из основного металла или проволоку такого же состава. Диаметр проволоки должен быть равен половине толщины свариваемого листа. Хо­рошие результаты даёт никелевая проволока, содержащая до 2% марганца и не более 0,2% кремния. Предел прочности сварного соединения 26-28 кгс/мм, угол загиба до 90°.



Сварка нихрома (75-80% никель, 15-18% хрома, до 1,2-1,4% марганца), имею­щего температуру плавления 1390°С и малую теплопроводность, затрудняется образо­ванием тугоплавкой плёнки окиси хрома, которую удаляют механическим путём. Сварку следует вести с максимальной скоростью и без перерывов. Повторная и много­слойная сварка вызывает трещины, рост зерна и межкристаллитную коррозию металла шва.

Пламя должно иметь некоторый избыток ацетилена. Мощность пламени 50-70 дм/ч ацетилена на 1 мм толщины металла. Применяют флюс-пасту состава (%): буры 40; борной кислоты 50; хлористого натрия или фтористого калия 10; флюс разводят на воде. В качестве присадочного прутка применяют полоску из свариваемого металла шириной 3-4 мм или проволоку из нихрома ЭХН-80. После отжига сварное соедине­ние имеет предел прочности 35-45 кгс/мм.



Никель относится к переходным d-металлам, расположен в восьмой группе пе­риодической системы элементов Д.И. Менделеева и является одним из важных про­мышленных металлов. Чистый никель имеет высокую прочность и пластичность. Вы­сокие пластические свойства никель сохраняет при низких температурах. При 20 К предел прочности никеля достигает 774 МПа, а относительное удлинение – 48%. Ни­кель обладает высокой химической стойкостью. По сопротивляемости коррозии он превосходит медь и латунь, устойчив против коррозии в морской воде, в нейтральных и щелочных растворах солей, серной, азотной, соляной и угольной кислот. Достаточно стоек в разбавленных органических кислотах и исключительно стоек в щелочах любой концентрации. Температура плавления никеля 1 728 К, плотность 870 – 890 кг/м, ко­эффициент линейного расширения 13,3 \* 10К.



Никель широко применяется в химической промышленности для изготовления аппаратуры, в электронной промышленности для изготовления деталей электроваку­умных приборов и внутриламповой арматуры (анодов, сеток, кернов оксидных като­дов), а так же в других отраслях промышленности. Сложнолегированные никелевые жаропрочные сплавы являются основным конструкционным материалом современных газовых турбин, реактивных и ракетных двигателей, летательных аппаратов (диски, лопатки, роторы и др.). В электрохимической промышленности применяются сплавы никеля с медью и железом типа монель и константан для изготовления катодов.

Особенности диффузионной сварки никеля и его сплавов определяются их свой­ствами и составом, в частности термодинамической прочностью окисной плёнки, со­противлением ползучести и деформационной способностью металла. На чистом ни­келе при нагреве образуется только один окисел NIO, имеющий сравнительно высо­кую упругость диссоциации 1,3 \* 10 - 1,3 \* 10 Па при 1 273 – 1 373 К. Однако ни­кель, как d–переходный металл, образует с кислородом устойчивый хемосорбирован­ный комплекс. Удаление кислорода обусловлено его диффузией при сварке в глубь металла. Растворимость кислорода в никеле составляет 0,012% при 1 473 К и с пони­жением температуры увеличивается. Расчёты показывают, что длительность растворе­ния окисной плёнки толщиной 0,005 мкм в никеле при температуре 1 173 – 1 473 К из­меняется от нескольких секунд до десятых долей секунды. Поэтому окисная плёнка на никеле не вызывает особых затруднений пр сварке. Электротехнические никелевые сплавы типа монель и константан также образуют термодинамически непрочные окислы, близкие к никелю по другим свойствам, и их сварка существенно не отлича­ется от сварки никеля. Жаропрочные никелевые сплавы являются сложнолегирован­ными и имеют в своём составе хром, алюминий, титан, молибден, вольфрам, ниобий и другие элементы, обладающие большим сродством к кислороду и обеспечивающие высокую жаростойкость и жаропрочность. Именно эти свойства и затрудняют диффу­зионную сварку жаропрочных сплавов. Наличие весьма прочной и трудно удалимой окисной плёнки, богатый хромом, алюминием, титаном, препятствует диффузионной сварке. Удаление этих окислов из стыка связана с протеканием сложных окисли­тельно-восстановительных процессов.



Повышение жаропрочности и сопротивления ползучести за счёт молибдена, вольфрама и других элементов, подавляющих диффузионную подвижность атомов. Этим обусловлена также более высокая, чем у обычных сталей, температура рекри­сталлизации жаропрочных сплавов. Естественно, что получение сварных соединений способом, сущность которого заключается в использовании процессов диффузии и рекристаллизации, затруднено. Термодеформационное воздействие при диффузионной сварке жаропрочных сплавов должно быть более сильным, чем при сварке углероди­стых и низколегированных сталей. За нижний предел температуры сварки принимают температуру начала развития процентов рекристаллизации и диффузии. Для большин­ства жаропрочных сплавов эта температура близка к 1 323 – 1 373 К. За верхний пре­дел температуры сварки принимают температуру разупрочнения сплавов. При этом следует учитывать также возможность резкого падения пластичности сплавов с по­вышением температуры.

Приведена диаграмма технологической пла­стичности двух никелевых сплавов. Из диаграммы следует, что при 1 473 К происходит резкое падение пластичности сплавов. Если при диффузионной сварке жаропрочных сплавов в результате пластиче­ской деформации сжатия произойдёт течение ме­талла, то в зоне соединения образуются трещины. Та­кое состояние возможно, несмотря на малые вели­чины деформации при диффузионной сварке, так как с повышением температуры пластичность металла близка к нулю. Таким образом, верхний предел тем­пературы сварки большинства жаропрочных сплавов не превышает 1 473 – 1 523 К. Остальные параметры режимов диффузионной сварки жаропрочных сплавов опреде­ляют так же, как и для других металлов, исходя из условий ползучести и диффузии.



Диффузионную сварку в вакууме никеля и никеля с другими металлами можно выполнять в широком диапазоне параметров режима, однако в большинстве работ ре­комендуется температура 1 273 К, давление сжатия 14,7 МПа, время сварки 10 минут при вакууме 1,3 \* 10Па. С экспериментальными данными согласуются расчётные [5], полученные из условия образования фактического контакта при установившейся пол­зучести по уравнению: t = A exp , где t – длительность сглаживания микро неровностей, с; А – коэффициент, зависящий от чистоты и класса обработки поверх­ности, равный 5 \* 10 при обработке по Rа = 1,25 мкм; В – коэффициент, изменяю­щийся от 5 \* 10 до 7 \* 10; р – давление сжатия, МПа; m – коэффициент, изменяю­щийся обычно от 3 до 5; ΔН - энергия активации ползучести, кДж/моль; R – универ­сальная газовая постоянная; R = 8,315 кДж/моль; Т – температура сварки, К.



Закономерности диффузионных процессов в приконтактной зоне при сварке ни­келя изучены в работе [8]. Установлена неоднородность диффузионного потока в при­контактных слоях никеля, обусловленная рельефом соединяемых поверхностей и не­однородностью пластической деформации приповерхностных слоёв металла. В узкой приконтактной зоне наблюдается высокая скорость диффузии (коэффициент диффу­зии 10 - 10 см/с), что соответствует диффузионной подвижности вдоль границ зё­рен с наиболее благоприятной для диффузии разориентировкой зёрен. Причём в слу­чае предварительного электролитического полирования поверхностей, глубина этой зоны 10 мкм, а при механическом шлифовании эффект ускорения диффузии сохраня­ется на значительном расстоянии от поверхности. С повышением температуры и дав­ления сжатия диффузионный поток становится более однородным по всей прикон­тактной зоне. Энергия активации равна, примерно, половине энергии активации само­диффузии никеля и изменяется в зоне сварки. Минимальное значение энергии актива­ции близко к энергии активации зернограничной диффузии и увеличивается по мере удаления от поверхности контактирования. Выполненные в ряде работ исследования показали, что приведённый режим обеспечивает протекание всех процессов, необхо­димых для получения качественных соединений с пределом прочности до 539 МПа. Повышение температуры сварки до 1 373 К приводит к значительному росту зерна за счёт собирательной рекристаллизации. Увеличение времени сварки также приводит к некоторому разупрочнению металла в зоне соединения. Уменьшение времени сварки возможно при более тщательной подготовке соединяемых поверхностей. Сварку ни­келя можно выполнять не только в вакууме, но и в водороде. В некоторых работах ис­пользовали водород с точкой росы 233 К.



Примером диффузионной сварки изделий из никеля может служить изготовле­ние керна оксидного катода водородного тиратрона, как показано на рисунке.

Диффузионную сварку электротехнических никелевых сплавов типа монель и константан проводят в многоместных приспособлениях, обеспечивающих сварочное давление за счёт различия в коэффициентах линейного расширения свариваемых ме­таллов и металла оправки. Стяжные болты обычно изготавливают из молибдена. Ре­жимы сварки электротехнических сплавов незначительно отличаются от режимов сварки никеля, что обусловлено разницей в их физико-механических свойствах. На­пример, введение меди приводит к снижению сопротивления металла деформирова­нию, к интенсификации диффузионных и рекристаллизационных процессов и к сни­жению температуры сварки до 1 173 К.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Материал | DIN | Шифр | Тип | Химический состав % (по массе) | | | | | | | | | | Применение |
| Ni | Cu | Fe | Ai | Ti | Cr | Mo | Mn | Si | ост |
| Никель | 17740 | 2.4050  2.4060  2.4068 | - | 99,0-99,8 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | Химические аппараты, детали ламп накалива­ния и электрон­ных трубок |
| Никеле­медные сплавы | 17743 | 2.4360  2.4866 | Монель    К-монель | >63  >63 | 28-34  28-34 | 1,0-2,5  1,0-2,0 | 2-4 | 0,3-1,0  - | -  - | -  - | -  - | -  - | -  - | Химические аппараты, корро­зионно-опасные детали конст­рукций (К-мо­нель закали­ваема) |
| Никеле-хроможе­лезистые сплавы | 17742 | 2.4816 | Ин-конель | >72 | - | 6-10 | - | - | 14-17 | - | - | - | - | Жаро- и огне­стойкие детали, химические аппараты |
| Никеле хромовые сплавы | - | - | Нимоник | Ост | - | 7-5 | - | - | 18-21 | - | 1 | 1 | 0-23-со | Химические аппараты |
| Никеле молибде­новые и никеле хромомо­либдено­вые сплавы | 17744 | 2.4810 | Хастелой В Хасте­лой С | >62  >52 | -  - | 4-7  4-7 | -  - | -  - | -  14-18 | 26-30  15-18 | -  - | -  - | 3-5w | Химические аппараты при коррозии под напряжением |

**Влияние легирующих элементов на свариваемость сплавов.**

Чистый никель не представляет трудностей при сварке, так как при его нагреве или охлаждении не происходит аллотропических превращений. Для электрического никеля уже даже следы примесей, которые создают с никелем легкоплавкие эвтектики (сера, кислород), могут приводить к тонким продольным трещинам в зоне термиче­ского влияния.

**Главные легирующие элементы.**

Медь. Медь создаёт с никелем непрерывный ряд твёрдых растворов. Оба ме­талла образуют кубическую гранецентрированную решётку, имеют похожие атомные радиусы и постоянные решётки и находятся в периодической системе элементов рядом друг с другом (под камерами 28 и 29). Медь, которую добавляют в количестве от 15 до 40% (монель), не создаёт трудностей при сварке. Имеются также сплавы Cu - Ni, в ко­торых медь является основным элементом (70/30 и 90/10) и которые при сварке ведут себя подобным образом. При сварке монеля следует учитывать ликвацию кристаллов, из-за чего может ухудшиться коррозийная стойкость. В этом случае рекомендуют по­следующую термообработку.

Если добавить алюминий в дисперсионно-твердеющий сплав (монель), то возни­кает, как для большинства стареющих сплавов, проблема снижения прочности.

Хром. Хром образует с никелем однофазные сплавы из твёрдых растворов с очень узким интервалом кристаллизации. Хром, как таковой, при сварке влияет, по-видимому, благоприятно. Однако при взаимодействии с другими элементами, прежде всего с кремнием, он способствует повышению склонности к образованию горячих трещин. Его высокое сродство с кислородом и азотом, с которыми он образует ста­бильные соединения, уменьшает возникновение пор. В присадочных материалах можно поэтому в присутствии хрома вообще отказаться от других элементов, связы­вающих газы. При сварке инконеля 625 и 718 руководствуются работой [101]. Речь идёт о высокожаропрочных супер сплавах [95].

Железо. Железо вводят для улучшения свойств никелевых сплавов. Трудности при сварке создаёт не само железо, а вносимые вместе с ним примеси, такие как сера, фосфор и кислород. В присутствии железа содержание углерода не должно превышать 0,1%.

Кобальт. Небольшое содержание кобальта (несколько десятых процента) не ока­зывает влияния на процесс сварки. Относительно его влияния, при более высоком со­держании, на улучшение жаропрочности сплавов достаточных сведений пока не име­ется. Вероятно, оно мало, если не происходят, как при наличии хрома и железа, вто­ричные явления в присутствии других элементов.

Молибден. Обычно содержание молибдена так высоко (хастеллой), что сплав может лежать в гетерогенной, а также в двухфазной области. Бинарные никелемолиб­деновые сплавы чувствительны к горячим трещинам. При отжиге сплавов Ni – Cr Mo при температуре 600 - 950°С происходят выделения по границам по границам зёрен, которые снижают коррозийную стойкость. Если эти явления происходят при сварке в зоне термического влияния, то необходимо проводить последующую термообработку (диффузионный отжиг при температуре > 1 150°С с последующей закалкой). При сварке Ni Mo 28 и Ni Mo 16 Cr 16 Ti руководствуются работой [73].

**Второстепенные легирующие добавки.**

Углерод. Обычное содержание углерода 0,01 – 0,15%. Трудности возникают только в области повышенных температур. Свободный углерод (в случае его наличия) переходит в зоне термического влияния в раствор и приводит, при быстром охлажде­нии, к образованию твёрдого раствора, пересыщенного углеродом. В интервале темпе­ратур 315 - 760°С по границам зёрен затем выделяется графит, который ослабляет тон­кую структуру, что может привести к местным трещинам или даже к разрушению де­тали. Вспомогательные мероприятия: С < 0,02% или стабилизация титаном.

В присутствии меди растворимость углерода при высоких температурах так сильно возрастает, что не происходит охрупчивания даже при его содержании до 0,2%. Только в том случае, если при сварке железо поглощается из основного металла, мо­жет произойти горячее растрескивание. Мероприятия: снижение С до < 0,1%.

В присутствии хрома, если только имеется немного таких стабилизаторов, как титан или ниобий, может произойти образование карбидов хрома и при этом местное обеднение хрома. Коррозийная стойкость, однако (в противоположность аналогичным явлениям в аустенитных сталях), ухудшается только в особо агрессивных средах. Со­единение NiС существует только при температуре > 1 500°С и является очень нестой­ким.



Марганец. Обычное его содержание до 1%. Марганец практически не оказывает влияния на сварку. Посредством образования тугоплавкого сульфида марганца можно устранить вредное влияние серы.

Магний. Он, как и марганец, образует тугоплавкий сульфид. Вследствие низкой точки кипения (1 120°С) магний, содержащийся в присадочном материале, при дуго­вой сварке почти полностью испаряется, так что этот эффект нельзя использовать в наплавленном металле.

Наличие магния препятствует горячему растрескиванию в зоне термического влияния, вызываемому малым содержанием серы. Можно исключить вредное влияние серы на качество сварного шва введением таких элементов, как марганец, ниобий ти­тан, алюминий, которые являются малолетучими и поэтому лучше переходят затем в наплавленный металл.

При газовой или WIG – сварке магний, наоборот, может успешно выполнить свою задачу, так как капли расплавленного присадочного материала не могут переме­щаться в месте воздействия дуги.

Ниобий. Его добавляют в богатые никелем сплавы, чтобы противодействовать вредному влиянию кремния; требуемое количество зависит от соотношения никель – железо.

Кремний. Обычное содержание 0,1 – 4%. В большинстве сплавов кремний по­вышает склонность к образования горячих трещин, прежде всего при одновременном присутствии меди или хрома. Важную роль играет также выбранный способ сварки. Склонность к горячим трещинам особенно велика в наплавленном металле и меньше в зоне термического влияния. При наплавке возникает опасность горячих трещин, по­тому что кремний переходит из основного металла в наплавленный. Кремний способ­ствует раскислению металла сварочной ванны.

Цирконий. Добавка циркония всего в десятые доли процента приводит к гетеро­генной фазе, которая сильно повышает склонность сплава к горячим трещинам. По-видимому, это приводит к этентической реакции при температуре 1 090 – 1 150°С. Об­разование трещин происходит как в наплавленном металле, так и в зоне термического влияния. Никеле циркониевые сплавы считают, поэтому, не свариваемыми. Относи­тельно соединений с помощью холодной и диффузионной сварок в настоящее время данные отсутствуют.

Алюминий. Его следует рассматривать, как сопутствующий полезный элемент за его воздействие как средство раскисления и как элемента, сопутствующего дисперси­онному твердению.

При высоком содержании он, однако, повышает чувствительность к горячим трещинам, так как пороговое значение чувствительности зависит, как и для кремния, от присутствия других легирующих элементов. Опасность трещин возникает в наплав­ленном металле и меньше в зоне термического влияния. Допустимое содержание алю­миния часто выше, чем в соответствующих случаях для кремния. Алюминий содер­жится в сварочных присадочных материалах, которые применяют для сварки диспер­сионно твердеющих никелевых сплавов.

Титан. Его вводят в присадочный сварочный материал для того, чтобы получить швы без пор (раскисление). Для сплавов, содержащих хром, это часто не требуется, поскольку хром сам может связывать газы. В отношении дисперсионного отверждения титан влияет подобно алюминию. При определённых критических концентрациях при сварке возникает, однако, опасность появления трещин. Допустимое содержания алю­миния и титана при WIG – сварке выше, чем при дуговой сварке. По этой причине следует предпочитать названный первым способ для сварки дисперсионно-твердею­щих сплавов. Склонность к появлению трещин возникает главным образом в наплав­ленном металле, а не в зоне термического влияния.

Бор. Обычное его содержание 0,03 – 0,10%. Путём добавки бора улучшают ме­ханические свойства сплавов при высоких температурах. Однако самое небольшое со­держание бора (г 0,003%) при сварке приводит к высокой склонности образования го­рячих трещин; по-видимому, на границах зёрен, подобно сере, фосфору и цирконию, бор образует легкоплавкую эвтектику с никелем.

**Не преднамеренно вводимые легирующие элементы.**

Сера. Она является самым вредным элементом в никелевых сплавах. Раствори­мость серы в твёрдом никеле < 0,005%. Количество серы, превышающее это значение, выделяется в виде сульфида никеля вдоль границ зёрен. Эгектика Ni - NiS плавится при температуре 637°C, являющейся чрезвычайно низкой. Никель поглощает серу в критической области температур от 300 до 900°С из твёрдых, жидких, газообразных или парообразных веществ, например из масла, жира, горячих газов, а также из пла­мени при газовой сварке. Поэтому необходима очистка поверхностей металла перед сваркой.



Вспомогательные мероприятия: добавление марганца, магния, ниобия, титана и алюминия. При неочищенных листах влияние этих элементов, однако, недостаточно для того, чтобы помешать горячему растрескиванию. Вследствие низкой температуры плавление эвтектики сера также очень опасна как в зоне термического влияния, так и в наплавленном металле.

Свинец. Он влияет в таких же концентрациях, как и сера. И, однако, его редко рассматривают как примесь. Свинец не растворим в Ni, поскольку является жидким до температуры плавления. Он образует плёнку по границам зёрен, что приводит к горя­чему растрескиванию.

Фосфор. Он влияет также, как сера и свинец. Соответствующая эвтектическая реакция протекает при 870°С. Уже всего сотые доли процента фосфора приводят к го­рячему растрескиванию в наплавленном металле, но не в зоне термического влияния.

Элементарные газы. Кислород, азот и водород создают проблему только в отно­шении парообразования. Образование трещин, наоборот, едва связано с имеющимися растворёнными газами. Содержание титана и алюминия в сварочном присадочном ма­териале достаточно высокое, чтобы исключить влияние газов на образование пор.

**Состояние после термообработки.**

Сплавы сваривают главным образом в не полностью отожженном состоянии. После интенсивной холодной деформации металла в областях в областях выполнения сварки перед сваркой следует ещё раз провести отжиг изделия. Дисперсионно-твер­деющие сплавы также следует сваривать только после неполного отжига, так как в противном случае вследствие малой пластичности сплавов следует учитывать появле­ние трещин от внутренних напряжений. Необходимо также принимать во внимание некоторый спад прочности.

**Очистка.**

Перед сваркой необходимо обезжирить поверхность с обеих сторон листа мини­мум на 25 мм по обе стороны от сварного шва и прошлифовать.

**Газовая сварка.**

Применима для всех никелевых сплавов, кроме сплавов типа Ni – Cr – Fe (нимо­ник 80, 80А и 90); однако этот способ применяют ещё пока редко.

Газы. Ацетилен, находящийся в баллонах, является наиболее предпочтительным горючим газом (более лёгкое регулирование пламени и лучшая очистка). Вносимый вместе с газом ацетон может быть причиной образования трещин. Применяют восста­новительное пламя (лёгкий избыток ацетилена).

Горелка. Сопло такое же, как для стали, однако для сварки чистого никеля выби­рают сопло на один размер больше.

Флюс. Для никеля и сплавов Ni – Mo флюс не требуется. Для обычных никеле­вых сплавов следует применять флюсы, не содержащие бора (в противном случае в наплавленном металле появляются горячие трещины). Сразу же после сварки остатки флюса удаляют стальными щётками или обработкой раствором азотной кислоты (50 частей HNO на 50 частей воды).



**Электрическая дуговая сварка.**

Этот способ применяют чаще всего. Вид тока: = (+).

Присадочный материал: однороден основному металлу с добавками против об­разования пор (по DIN 1 736). Покрытие гигроскопическое, поэтому материалы перед сваркой прокаливают.

Последующая обработка. Угол разделки кромок больше, чем для соединений из стали, так как расплавленная ванна является вязкой.

Положение. Сварку выполняют по возможности в горизонтальном положении.

Техника. С небольшими колебаниями электрода, так как в противном случае вы­горают раскисляющие добавки. Дуга короткая, электроды перемещают в наклонном положении (лучше всего угол наклона 20 - 30° по отношению к вертикали). Зажига­ние дуги производят на выводной планке (иначе образуются поры). Сваривают элек­тродами малого диаметра с небольшой силой тока.

**WIG – сварка.**

Вид тока: = (-); применение переменного тока возможно.

Зажигание дуги – на выводной планке с помощью осциллятора (его воздействие отчасти сохраняется во время сварки).

Скорость сварки – как можно более высокая.

Защитный газ – сушёный неочищенный сварочный аргон, поддув воздуха ис­ключают; расход 1,0 – 2,8 м/ч.



Толщина стенки – до 6 мм за один проход.

Защита с противоположной стороны – аргон или медная подкладка.

Присадочный материал – по DIN 1 736.

**MIG – сварка.**

Вид тока: = (+).

Защитный газ – 99,8%-ный сварочный аргон; расход 1,2 м/ч.



Присадочный материал – по DIN 1 736.

**Атомно-водородная сварка.**

Использование метода возможно, однако его почти не применяют.

**Сварка под флюсом.**

Галогенный флюс, составленный из солей фтора и хлора щелочноземельных ме­таллов, позволяет легирующим элементам с высокой склонностью к кислороду (Ti, Al) переходить из электродной проволоки и основного материала в сварной шов с высо­ким процентным соотношением (80 – 90%).

**Контактная сварка.**

*а) точечная сварка.*

Сила тока та же, как и при сварке сталей, но требуется более высокое давление на электродах.

Электроды – высокопрочные медные сплавы с плоскими или слегка закруглёнными торцами. “Прилипаемость” электрода при сварке никеля можно предотвратить путём короткого времени сварки на повышенном токе. При случае торцы электродов сереб­рят. Прилипаемость отсутствует при сварке монеля вследствие его более высокого со­противления по сравнению с никелем.

Давление. Более высокое давление, чем при сварке сталей, необходимо обеспечивать, прежде всего, при сварке высокожаропрочных сплавов.

*б) Шовная сварка.*

Роликовая сварка прерывистым швом применима для всех никелевых сплавов, ско­рость сварки 80 – 130 точек/мин.

**Роликовая сварка непрерывным швом.**

Сварочное давление следует устанавливать более высоким, чем для стали, за исключе­нием сварки чистого никеля.

*в) Сварка оплавлением.*

При сварке никелевых сплавов требуется большая энергия, чем для стали (так как их электросопротивление меньше). Для того чтобы избежать перегрева, следует распола­гать место сварки по возможности ближе к электродным клеммам. Требуется высокое давление осадки; осадку начинают непосредственно перед окончанием протекания тока. При запаздывающей осадке появляются шлаковые и оксидные включения. Если, наоборот, ток протекает дольше, чем в течении двух периодов после начала осадки, то появляются мелкие поры и межкристаллитные включения. При сварке необходимо очень точное регулирование параметров; целесообразен предварительный подогрев.

**Термообработка.**

*Очистка перед термообработкой.*

Необходима тщательная очистка поверхностей, чтобы предотвратить поглоще­ние серы из жира, смазки и пр. Очистка состоит из обезжиривания обычными средст­вами и последующего промывания в 10%-ной серной кислоте, а затем многократного промывания в воде. Механическую очистку проводить путём песко- или дробеструй­ной обработки или шлифования.

*Атмосфера в печи.*

Следует обеспечить отсутствие поглощения из атмосферы печи серы. Если изде­лие из никеля отжигают длительное время при температуре > 900°С, то наступает ох­рупчивание из-за окисления по границам зёрен. Однако его распространение вдоль границ зёрен в противоположность воздействию серы происходит медленно. Поэтому при не­большой длительности отжига можно не учитывать эти нарушения.

Если никель отжигают при температуре > 900°С в окислительной серосодержа­щей атмосфере, то имеет место особо сильное воздействие серы. Горючий газ должен содержать < 0,2 г/м масла и 0,2% S.



*Неполный отжиг.*

Материалы обычно поставляют в не полностью отожжоном состоянии. Такой отжиг следует проводить перед сваркой изделий, которые были подвергнуты холодной деформации в местах выполнения соединений.

*Отжиг для снятия напряжений.*

Этот отжиг следует проводить при опасности коррозийного растрескивания под напряжением. Никелевые сплавы мало чувствительны к коррозии в водных растворах, однако, наоборот, не стойки против ртути и её солей, а также против кремнефтори­стого водорода.

Рекомендуется нагревать изделия до температуры отжига также быстро, как и при неполном отжиге, выдерживать 1 – 3 ч и быстро охлаждать. Для сплавов Ni – Cr – Fe, Ni – Mo - Fe и Ni – Mo – Cr - W(инконель, хастеллой В) снятие напряжений проис­ходит только при температуре неполного отжига.

*Дисперсионное отверждение.*

Закаливаемые и стареющие никелевые сплавы сваривают в не полностью ото­жжоном состоянии, а затем быстро доводят до температуры отжига для снятия напря­жений (чтобы предотвратить процессы выделения), закаливают и состаривают.

**Состав флюсов для сварки никеля и никелевых сплавов.**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Компонент** | **Состав флюса, %** | | | | | |
| **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** |
| **Бура прокаленная** | 52 | 30 | 25 | - | 50 | 40 |
| **Кислота борная** | 15 | 50 | 75 | - | 50 | 50 |
| **Магний хлористый** | 8 | - | - | - | - | - |
| **Натрий хлористый** | 25 | 10 | - | - | - | - |
| **Кальций фтористый** | - | - | - | 15 | - | 10 |
| **Гашёная известь** | - | - | - | 17 | - | - |
| **Борный ангидрид** | - | - | - | 23 | - | - |
| **Натриевое стекло** | - | - | - | 45 | - | - |
| **Барий углекислый** | - | 10 | - | - | - | - |

Качество шва оценивают по его цвету:

Хороший шов имеет матово – коричневую или серо – жёлтую окраску, сваренный с перегревом – блестящий, сине – чёрного цвета.

**Техника безопасности.**

Рабочее место сварщика должно содержаться в чистоте и порядке. Сварочные кабели нельзя располагать рядом с газосварочными шлангами и трубопроводами, на­ходящимися под давлением, а также вблизи кислородных баллонов и ацетиленовых генераторов. Не должны производиться сварка и резка внутри сосудов с закрытыми люками или не вывернутыми пробками. Для защиты глаз, лица, кожного покрова го­ловы и шеи сварщика от излучения и брызг металла, а также частичной защиты орга­нов дыхания от непосредственного воздействия выделяемых при сварке паров ме­талла, шлака и аэрозолей предназначены защитные щитки. Щитки изготавливаются двух основных видов: головные и ручные. Щитки изготавливаются углублённой формы для того, чтобы они хорошо защищали все открытые части головы и шеи свар­щика. Для защиты от вредного излучения дуги в щитках вставляют стеклянные све­тофильтры тёмно – зелёного цвета, которые не пропускают вредного излучения.

Рабочих, находящихся в зоне сварки, следует снабдить очками и светофильт­рами. Излучение дуги опасно для зрения на расстоянии 20 м.

Сварщики, работающие на строительных площадках, обязаны носить каски. Важными средствами индивидуальной защиты сварщика являются спецодежда и спецобувь.

К средствам индивидуальной защиты относятся также резиновый коврик, рези­новые перчатки и галоши, применяемы при работе в особо опасных местах. Для за­щиты дыхательных путей от вредных аэрозолей применяют респираторы, противо­газы. Для общего очищения воздуха используют вентиляцию местного и общего на­значения.

Опасность поражения электрическим током создают источники сварочного тока, электрический привод (включая пускорегулирующую аппаратуру), электрооборудова­ния подъёмно-транспортных устройств, электрифицированный транспорт, ручные электрические машины и т.д.

Прежде чем заняться сварочными работами сварщик должен проверить заземле­ние, изолированы ли кабели.

При газовой сварке, сварщик должен ставить баллоны на 5 м друг от друга. Смотреть, чтобы не было обратного удара. Ни в коем случае не носит баллоны од­ному.

Освобождение пострадавшего от действия тока можно осуществить следующим образом: отключить рубильник, перерубить провод топором или оттянуть пострадав­шего от токоведущей части, отбросить от него провод деревянной палкой. Сделать массаж сердца, искусственное дыхание, дать понюхать нашатырный спирт, обрызги­вать водой, растирать и согревать тело. Немедленно вызвать скорую помощь.

У сварщика под рукой должно быть всегда средство пожаротушения.

Обязанностью каждого работающего является твёрдое знание и неуклонное вы­полнение существующих требований по безопасным методам работы, а также соблю­дение норм и правил пожарной безопасности.

**Использованная литература.**

1. Б.Д. Малышев
2. В.И. Мельник
3. И.Г. Гетие
4. Ю. Руте

*Справочник материалов.*

Д.Л. Глизманенко.