Министерство Образования и Науки Украины

Национальная Металлургическая Академия Украины

Кафедра термической обработки металлов

# Реферат

на тему:

˝Термическая обработка и термомеханическая обработка обсадных труб из стали 36Г2С ˝

Подготовила ст.гр. МТ-97-2 Черных Е.С.

Проверил преподаватель Прядко Е.И.

г.Днепропетровск

2001г.

Содержание:

Стр.

## Введение………………………………………………………………..3

#### 1.Назначение обсадных труб...………………………………..……...4

2.Сортамент и технические требования, предъявляемые к

обсадным трубам………………………………………………………5

3.Материал обсадных труб……..……………………………….…….6

4.Технологическая схема производства обсадных труб…………….7

5.Термическая обработка обсадных труб из стали 36Г2С…………..8

5.1.Нормализация труб………………………………………………...8

5.2.Закалка и отпуск труб……………………………………………..12

5.3.Термическая обработка концов труб……………………………..16

6.Термомеханическая обработка обсадных труб……………………16

7.Контроль качества труб после термической и

термомеханической обработки……………………………………….18

Литература……………………………………………………………..19

### **Введение**

В отличие от других видов металлопродукции для труб характерны развитая поверхность (наибольшее отношение площади поверхности к массе), наличие внутренней полости, значительный сортамент по геометрическим размерам, способам производства и назначению.

По способу производства трубы подразделяют на литые, бесшовные и сварные. Основной объём производства составляют бесшовные и сварные. По назначению трубы подразделяют: на трубы для нефте- и газодобывающей промышленности, теплоэнергетики, магистральных газо- и нефтепроводов, трубы для производства подшипников, химической промышленности, строительства и т.д.

Условия эксплуатации труб различного назначения позволяют сформулировать основные требования, предъявляемые к материалу для их производства. Так, для труб нефтяного сортамента условия эксплуатации весьма разнообразны: интервал рабочих температур от –60 до 150-200ºC, знакопеременные нагрузки (бурильные и насосно-компрессорные трубы), коррозия под напряжением в среде сероводорода. В этой связи трубы для добычи нефти и газа должны обладать высокой прочностью и пластичностью, сопротивлением усталостному и хрупкому разрушению. Для северных районов требуется высокая хладостойкость металла труб.[1]

**1.Назначение обсадных труб**

При бурении нефтяных скважин стальные трубы используют для передачи вращения породоразрушающему инструменту, для крепления стенок скважин в процессе бурения и эксплуатации, для транспортировки нефтепродуктов на поверхность и других целей. Стоимость труб в общей стоимости бурового оборудования составляет около 60%.

По своему назначению трубы нефтяного сортамента разделяют на бурильные, утяжелённые бурильные, рабочие (или ведущие) бурильные, обсадные и насосно-компрессорные трубы.

При бурении и эксплуатации скважин из труб этих видов составляют бурильные, обсадные и насосные колонны, в которых отдельные трубы соединяют между собой с помощью специальных резьбовых соединений.

Передачу вращения породоразрушающему инструменту (в случае роторного способа), транспортировку жидкости или газа для очистки забоя скважины от разрушенной породы осуществляют с помощью бурильной колонны.

Для предохранения скважин от обрушения в скважину опускают колонну обсадных труб. Обычно обсадная колонна состоит из следующих элементов (рис.1):

##### Направление (а) служит для крепления устья

##### скважин и направления потока промывочной

##### жидкости. Направление опускается на глуби-

##### ны порядка 4-6 м.

Кондуктор (б) служит для перекрытия верх

них слабых слоёв пород, для изоляции сква-

жин от возможного притока грунтовых вод и

обеспечения вертикального направления

стволу скважины. Кондуктор обычно опуска

ется на глубину 40-60 м, а в глубоких сква-

жинах – до 600 м.

Промежуточные колонны (в) опускают в за-

висимости от общей глубины скважины на

2000-3000 м, они в основном служат для ра

зобщения пластов.

Эксплуатационная колонна (г) служит для

изоляции продуктивного горизонта от дру-

гих и обеспечивает доступ к нему. Иногда

её используют для извлечения нефти и газа

на поверхность.

Обсадные трубы испытывают три вида нагрузок – растяжение, наружное (сминающее) и внутреннее давление. Растягивающие нагрузки вызываются собственным весом колонны обсадных труб. Обычно напряжения в обсадных трубах соответствуют разности наружного и внутреннего давлений. Но в некоторых случаях трубы могут оказаться под действием только наружного или только внутреннего давления. В этом случае трубы находятся в наиболее тяжёлых условиях работы.

Для транспортировки нефтепродуктов на поверхность используют колонны, составленные из насосно-компрессорных труб.[2]

**2. Сортамент и технические требования, предъявляемые**

**к обсадным трубам**

Изготовление труб для нефтяной и газовой промышленности производится по специальным стандартам или техническим условиями, в которых строго регламентированы: размеры труб по диаметру и толщине стенки, длина труб, размеры соединений, категория прочности материала, а также точность изготовления труб и резьб, виды и методы испытаний.

В СНГ обсадные трубы изготавливают по ГОСТ-632-57 только бесшовными диаметром 114-426 мм с толщиной стенки 6-14 мм. Длина резьбы на трубах увеличивается с 79,5 до 98,5 мм по мере роста диаметра независимо от толщины стенки. Проект стандарта на обсадные трубы, взамен ГОСТ 632- 57, включает размеры труб по диаметрам (как принятые в практике СНГ, так и за рубежом) с толщиной стенки 6-14 мм. Аналогично APIstd5A в проекте предусмотрено изготовление труб с длинной и нормальной (короткой) резьбой. Причём длина резьбы такая же, как и в зарубежных стандартах. Для труб диаметром 127; 139,7; 177,8-298 мм с толщиной стенки 6-8 мм предусмотрена укороченная нормальная резьба.

В СНГ разработан проект специального государственного стандарта на сварные обсадные трубы диаметром 426-530 мм с толщиной стенки 8-12 мм. Для крепления неглубоких скважин более экономично применение сварных тонкостенных труб вместо бесшовных. Поэтому необходима организация производства таких труб диаметрами 114-426 мм с толщиной стенки 4-6 мм для скважин неответственного назначения.

Стандарты на трубы нефтяного сортамента не определяют применяемый материал, а задают только минимальные значения показателей механических свойств (σb, σs, δ, ψ, *ak*).

Таблица 1

##### Механические свойства материала обсадных труб

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Категория прочности | Предел прочности, Мн/м²(кг/мм²) | Предел текучести, Мн/м²(кг/мм²) | Удлинение, % |
| А | 411,9 (42) | 245,2 (25) | 25 |
| С | 539,4 (55) | 313,8 (32) | 18 |
| Д | 637,4 (65) | 372,6 (38) | 16 |
| К | 686,5 (70) | 490,3 (50) | 12 |
| Е | 635,5 (75) | 539,4 (55) | 12 |
| Л | 931,6 (95) | 637,4 (65) | 12 |
| М | 980,6 (100) | 735,5 (75) | 12 |

Обсадные трубы в обязательном порядке подвергают гидравлическим испытаниям для проверки прочности тела трубы и герметичности резьбового соединения. Стандартом API предусмотрено испытание внутренним гидравлическим давлением обсадных труб диаметром до 245мм, вызывающим в теле трубы напряжения, равные 80% от предела текучести материала, а труб большого диаметра – 60%. Для высокопрочных труб, идущих на глубокие скважины, рекомендуют доводить напряжения в теле трубы до 95% от предела текучести материала [3].

**3.Материал обсадных труб**

Техническими условиями на трубы нефтяного сортамента химический состав сталей, за исключением серы и фосфора, не оговаривается и марка стали выбирается изготовителем по технико-экономическим соображениям и регламентируется в технологической документации. Максимальное содержание элементов определяется применяемым исходным сырьём и способом выплавки стали и находится в пределах 0,030-0,065% для серы и 0,035-0,110% для фосфора.

Таблица 2

### Химический состав сталей для обсадных труб, применяемых в СНГ

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Категория прочности (марка стали) | Химический состав, % | | | | | | | | |
| С | Mn | Si | Cr | Ni | Mo | W | S  макс | Р  макс |
| А | 0,18-0,25 | 0,3-0,6 | 0,15-0,23 | - | - | - | - | 0,045 | 0,045 |
| С | 0,3-0,37 | 0,65-0,9 | 0,2-0,35 | - | - | - | - | 0,045 | 0,045 |
| Д | 0,43-0,53 | 0,7-0,9 | 0,15-0,3 | - | - | - | - | 0,045 | 0,045 |
| К | 0,32-0,43 | 1,5-1,6 | 0,4-0,7 | - | - | - | - | 0,045 | 0,045 |
| Е | 0,33-0,43 | 0,75-1,05 | 0,17-0,37 | 0,4-0,7 | 0,4-0,7 | 0,3-0,4 | - | 0,045 | 0,045 |
| 0,43-0,48 | 1,15-1,4 | 0,25-0,35 | 0,4-0,7 | 0,3-0,7 | 0,05-0,15 | - | 0,045 | 0,045 |
| 0,35-0,42 | 0,7-0,9 | 0,15-0,3 | - | - | - | - | 0,045 | 0,045 |
| Л | 0,32-0,38 | 1,4-1,8 | 0,4-0,7 | - | - | - | 0,25-0,4 | 0,045 | 0,045 |
| 0,3-0,43 | 1,25-1,6 | 0,4-0,7 | - | - | - | - | 0,045 | 0,045 |
| М | 0,32-0,43 | 1,5-1,8 | 0,4-0,7 | - | - | - | - | 0,045 | 0,045 |

Для получения труб более высоких категорий прочности возможны два пути [4]:

1)применение легированных сталей с последующей сравнительно простой термической обработкой (нормализация или нормализация и отпуск);

2)применение простых углеродистых или низколегированных сталей с последующей закалкой и отпуском.

**4.Технологическая схема производства обсадных труб**

Технология производства труб нефтяного сортамента определяется видом труб, категорией прочности и применяемым для их изготовления материалом. По категории прочности трубы нефтяного сортамента можно разделить на три группы:

обычной прочности с пределом текучести до 490,3 Мн/м² (50 кг/мм²),

высокой прочности с пределом текучести 539,3-735,5 Мн/м² (55-75 кг/мм²),

особо высокой прочности – более 735,5 Мн/м²(75 кг/мм²).

### Рисунок 2.- Технологическая схема производства обсадных труб

Обсадные трубы обычной прочности с минимальным пределом текучести до 490,3 Мн/м² (50 кг/мм²) изготавливают по следующей технологической схеме (рис.2). Горячая прокатка 1, обрезка концов и снятие фасок 2, нарезка резьбы 9, навёртка муфт 10, гидроиспытание 11 и покраска 12. Термическая обработка этих труб (нормализация) производится только в случае получения неудовлетворительных механических свойств. Опыт эксплуатации труб категории прочности К (минимальный предел текучести 490,3 Мн/м² (50 кг/мм²) )показывает, что трубы этой категории необходимо подвергать нормализации, так как эти трубы имеют неравномерные механические свойства по длине вследствие местной подкалки при прокатке.

Обсадные трубы высокой прочности в зависимости от применяемого материала могут изготавливаться по двум технологическим схемам. Для легированных сталей технологическая схема следующая: после прокатки 1 и обрезки концов 2 трубы подвергают нормализации в печи 3 и отпуску в печи 5. Иногда для труб категории прочности Е применяют нормализацию с прокатного нагрева. После термической обработки трубы калибруют по наружному диаметру 6. Однако в этом случае операцию калибровки опускают вследствие отсутствия калибровочных станов в потоке печей и после термообработки трубы направляют прямо на правильные станы 7. После правки контролируют состояние наружной поверхности труб 8, нарезают резьбу 9 и навинчивают муфты 10. Трубы с муфтой проверяют на прочность и герметичность резьбового соединения путём гидравлических испытаний на прессах 11. После гидроиспытаний трубы окрашивают, маркируют и направляют на склад готовой продукции.

Технологическая схема изготовления высокопрочных труб из углеродистых и низколегированных сталей отличается от описанной выше только термической обработкой. После обрезки концов на станках 2 трубы нагревают до температур закалки в печи 3, охлаждают в специальных устройствах 4 и затем подвергают отпуску в печи 5. При применении закалки и отпуска вследствие искажения точности поперечного сечения и увеличения кривизны операции калибровки и правки обязательны. Для снижения прочности материала труб при калибровке и правке эти операции должны выполняться при температурах 200-500ºC. После правки труб выполняют операции, обозначенные на рис.2 позициями 8-12.[2]

**5.Термическая обработка обсадных труб из стали 36Г2С**

Термическая обработка – важнейшая составная часть технологии производства различных видов стальных труб.

Основные цели термической обработки труб следующие:

обеспечение различных эксплуатационных свойств (трубы для добычи нефти и газа, трубы для котлов теплоэнергетических установок и др.);

подготовка структуры и свойств для дальнейшей обработки в различных областях машиностроения (трубы для подшипников);

восстановление пластичности металла для возможности дальнейшего деформирования в процессе передела (трубы промежуточных размеров);

создание диффузионной связи между различными слоями в биметаллических, многослойных и свертных паяных трубах;

выравнивание структуры и свойств металла сварных и литых труб переменной геометрии по длине (например, бурильных труб с высаженными концами).[5]

**5.1.Нормализация труб**

При производстве труб нефтяного сортамента нормализацию как термическую операцию применяют в тех случаях, когда требуемые механические свойства металла труб (предел текучести до 539,4 Мн/м² (55 кг/мм²) можно получить из стали простой, дешёвой марки типа 36Г2С).

Нормализацию труб следует производить после полного их потемнения после прокатки. В этом случае крупнозернистая и неоднородная структура стали, полученная в результате высокого нагрева перед прокаткой, подвергается по существу перекристаллизации в процессе охлаждения и последующего нагрева под нормализацию.

Температура нормализации труб марки 36Г2С находится в пределах 830-890ºC. Если после нормализации предел текучести или предел прочности ниже обусловленных ГОСТом норм, то температуру повторной нормализации следует повысить на 20-30ºC. Неудовлетворительные результаты испытаний по относительному удлинению, относительному сужению или ударной вязкости можно исправить снижением температуры на 20-30ºC.

Заметное влияние на изменение механических свойств оказывает скорость охлаждения труб. Для труб из стали 36Г2С применение ускоренного охлаждения обдувкой воздухом повышает предел прочности высаженных концов на 4,5%, предел текучести на 5,4%, ударную вязкость на 13,7%, относительное удлинение практически остаётся без изменения.

Точные режимы термической обработки устанавливают при помощи лабораторных и цеховых экспериментов с учётом термической характеристики печи, условий охлаждения и специфичности свойств данной стали. Температура нормализации для стали данной марки должна быть достаточно высокой, чтобы обеспечить получение гомогенно-бейнитной структуры, являющейся основой для получения после отпуска высоких прочностных и пластических свойств.

Если температура нормализации является универсальной для стали данной марки, то температуру отпуска часто устанавливают индивидуально для отдельной плавки в зависимости от её химсостава.

Контроль температуры труб при нагреве и выдержке в методических печах производят термопарой, вставляемой в трубу. Температура печи контролируется по боковым и сводовым термопарам, а температура выдаваемых труб – с помощью оптического пирометра или других приборов. Боковые термопары устанавливают так, чтобы их показания были выше температуры металла на 20-30ºC.

На величину зерна и механические свойства нормализуемых труб, кроме температуры нагрева металла и скорости охлаждения, оказывает также влияние время нагрева и выдержки металла в печи. Для получения мелкозернистой структуры время выдержки не должно превышать определённо величины.

Общая продолжительность нагрева в методических печах с наклонным подом для труб с толщиной стенки от 7 до 30 мм колеблется от 70 до 140 мин, время выдержки от 10 до 25 мин. Меньшее время соответствует трубам меньшими стенкой и диаметром.

Нормализация с охлаждением на воздухе обсадных труб из стали 36Г2С не обеспечивает требований ГОСТа на обсадные трубы марки Е.

Рисунок 3.- Микроструктура стали 36Г2С после нормализации.×400

Микроструктура металла таких труб (рис.3) состоит из крупных, строчечно-расположенных выделений феррита и сорбитообразного перлита. Такая структура свидетельствует о недостаточном охлаждении труб при нормализации. Пределы прочности и текучести имеют низкое значение. Более сильное охлаждение в производственных условиях струёй сжатого воздуха повышает предел прочности и относительное удлинение, однако предел текучести при этом находится на границе норм.

Макроструктура этой стали после охлаждения струёй сжатого воздуха (рис.4) имеет более мелкое зерно, направленность структурных составляющих отсутствует.

Рисунок 4.-Микроструктура стали 36Г2С после охлаждения струёй сжатого воздуха.×400

Возможно, что достаточно сильное охлаждение по всей длине труб при условии их вращения позволит наладить получение обсадных труб из стали 36Г2С марки Е. Об этом свидетельствует мелкозернистая микроструктура стали (рис.5), полученная при интенсивном охлаждении патрубков струёй воздуха. Соответствующие этой структуре механические свойства надёжно гарантируют получение обсадных труб марки Е.

Рисунок 5.- Микроструктура стали 36Г2С после интенсивного воздушного охлаждения с вращением трубы.×400

В таблице 3 приведены механические свойства обсадных труб после нормализации и отпуска при различных температурах.

Таблица 3

Механические свойства обсадных труб после нормализации и отпуска

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Температура отпуска, ºC | Механические свойства в продольном направлении | | | | | |
| Предел прочности, Мн/м²  (кг/мм²) | Предел текучести, Мн/м²  (кг/мм²) | Относительное удлинение, % | Сужение площади поперечного сечения, % | Отношение предела текучести к пределу прочности, % | Ударная вязкость, Мдж/м²  (кгм/см²) |
| После нормализации | 882,6(89,9) | 601,1(61,3) | 23,0 | 44,8 | 67,5 | 4,71(4,8) |
| 500 | 878,6(89,6) | 594,2(60,6) | 24,0 | 48,8 | 67,5 | 5,69(5,8) |
| 550 | 869,8(88,7) | 581,4(59,3) | 23,0 | 48,8 | 66,5 | 5,29(5,4) |
| 600 | 824,6(84,1) | 552,1(56,3) | 22,0 | 48,0 | 67,0 | 5,98(6,1) |
| 650 | 767,8(78,3) | 513,8(52,4) | 26,0 | 47,6 | 67,0 | 6,18(6,3) |
| 680 | 739,3(75,4) | 483,4(49,3) | 27,0 | 52,2 | 65,5 | 6,67(6,3) |

Микроструктура обсадных труб после нормализации состоит из смеси троостита с мелкопластинчатым перлитом и разорванной ферритной сетки. С повышением температуры отпуска в структуре стали появляется сфероидизированный цементит.

Нагрев поверхности трубы и прогрев её по сечению в современных печах скоростного нагрева протекает весьма интенсивно с высокой производительностью. Однако в таких печах весьма трудно, а подчас невозможно осуществить технологическую выдержку, необходимую для протекания диффузионных процессов и фазовых превращений в металле.

Поскольку скорость диффузионных процессов зависит не только от времени, но и от температуры, возникает возможность сократить во времени технологическую выдержку труб при нагреве повышением температуры.

По данным исследования Б.П.Колесника [6], механические свойства стали марки 36Г2С после нормализации с применением скоростного нагрева (1,8-8 град/сек) получаются такими же, а в некоторых случаях и более высокими, чем после нормализации с нагрева с технологической выдержкой. При нормализации с выдержкой наиболее высокие механические свойства у исследованных сталей получали при температуре 840-860ºC, тогда как после скоростной нормализации оптимальная температура составила 900-960ºC. Сталь 36Г2С после скоростной нормализации была наиболее прочной.

Нормализация труб из стали 36Г2С при температуре нагрева 850ºC и выше с применением скоростного нагрева в секционных печах практически не изменяет предела текучести, уменьшает на 9,8-29,4 Мн/м² (1,0-3,0 кг/мм²) временно сопротивление, несколько увеличивает значения относительного удлинения и сужения, а также снимает внутреннее напряжение. Возможно, что более интенсивное охлаждение изменит указанные показатели.[2]

**5.2.Закалка и отпуск труб**

Наивысшие показатели прочностных и пластических характеристик труб можно получить путём закалки с последующим отпуском.

Применение закалки с отпуском позволяет улучшить свойства труб из углеродистой или низколегированной стали до уровня или даже несколько выше свойств нормализованных труб из стали, легированной марганцем, молибденом, ванадием и др.

Внедрение в промышленности закалки с отпуском вместо нормализации позволяет при производстве высокопрочных труб нефтяного сортамента сэкономить большое количество марганца, молибдена, вольфрама и других легирующих элементов при одновременном улучшении свойств труб.

В промышленности имеют место следующие основные технологические приёмы улучшения стали: методический нагрев в проходных печах – закалка в ваннах – отпуск в методических печах, скоростной нагрев в секционных печах – закалка в спреере – отпуск в секционных или роликовых печах. Встречается также нагрев под закалку и отпуск в индукционных нагревательных устройствах и другие сочетания указанных способов нагрева.

*Методический нагрев, закалка в ваннах.* Закалка труб в ваннах не получила большого применения и вряд ли следует ожидать развития этого способа закалки в будущем.

Прочностные и пластические показатели при закалке труб в ванне, впрочем как и при других способах закалки, в сильной степени зависят от температуры закалки и, особенно, от температуры отпуска. Температура закалочной среды также оказывает заметное, хотя и в меньшей степени, влияние на показатели механических свойств.

Исследования (по Ф.В.Вдовину) прочностных и пластических свойств обсадных труб из стали 36Г2С, закалённых в ванне, показали, что предел прочности и предел текучести в сильной степени зависят от температуры отпуска.

С увеличением температуры отпуска для всех режимов нагрева и температур закалочной среды пределы прочности и текучести заметно снижаются, но не настолько, чтобы при самых высоких температурах отпуска не удовлетворять требованиям, предъявляемым к трубам марки Е. Величина относительного удлинения при этом достигает наибольших значений при температуре отпуска 650ºC.

При повышении температуры закалки предел прочности после отпуска понижается. Такая же картина наблюдается и по пределу текучести.

Наибольшие показатели относительного удлинения также зависят от температуры закалки и отпуска и, например, для стали 36Г2С могут быть получены при температуре закалки 850ºС, отпуска 650ºС.

С увеличением температуры закалочной среды предел текучести стали после отпуска понижается, тогда как предел прочности почти не изменяется. Относительное удлинение достигает максимальных значений при закалке в воде, подогретой до температуры 40-60ºС.

Подбирая режим термической обработки, можно получить при определенных условиях наилучшие показатели механических свойств для стали данной марки. Так для стали 36Г2С такими условиями являются: температура закалки 850ºС, отпуска 650ºС, воды 40-60ºС.

Рисунок 6.- Микроструктура стали после закалки и отпуска.×500

Структура закаленной и отпущенной стали в этом случае состоит из мелкодисперсного сорбита (рис.6) без свободных выделений феррита, что свидетельствует о переходе при нагреве за критическую точку *Ас3,* а следовательно, о полной закалке стали.

Высокие пластические и прочностные свойства, соответствующие требованиям марки Е, а по переделу текучести марки Л, обеспечивает полная термическая обработка труб, полученных с автоматического стана из катаной заготовки стали марки 36Г2С.

В данном случае нагрев труб под закалку осуществляли в методической проходной печи с наклонным подом, а отпуск – в камерной печи с выдержкой порядка 2ч.

Закалку производили в ванне с водой, подогретой до температуры 40-60ºС.

Закалка в ванне труб (299х9мм) из сталей марок С, Д и К с температур 840-850ºС с последующим отпуском при 640-650ºС обеспечивает механические свойства более высокого класса, чем труб из этих же сталей, но термически не обработанных (табл.4).

Таблица 4

Механические свойства обсадных труб, закаленных в ванне

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Марка стали | Химический состав, % | | | | | Механические свойства | | | Обеспечивает категорию прочности |
| C | Mn | Si | P | S | Предел прочности, Мн/м²  (кг/мм²) | Предел текучести, Мн/м²  (кг/мм²) | Относительное удлинение, % |
| С | 0,36 | 0,67 | 0,15 | 0,013 | 0,031 | 589,4-642,3  (60,1-65,5) | 407,9-529,6  (41,6-53,9) | 19,9-23,2 | С |
| Д | 0,45 | 0,90 | 0,29 | 0,014 | 0,031 | 693,3-725,7  (70,7-73,9) | 568,8-581,4  (58,0-59,3) | 17,0-22,1 | К |
| К | 0,37 | 1,68 | 0,58 | 0,024 | 0,034 | 745,3-769,8  (75,9-78,5) | 652,1-669,7  (66,5-68,3) | 17,4-20,5 | Е |

Микроструктура всех труб – сорбит различной степени дисперсности.

*Скоростной нагрев, закалка в спреере.* В настоящее время нет достоверных данных о влиянии на механические свойства металла скоростного нагрева под закалку при различных температурах.

При нагреве стали 36Г2С со скоростью 8 град/сек с увеличением температуры закалки от 870 до 1000ºС прочность и пластичность стали повышаются: предел прочности с 961,0 (98) до 1098 Мн/м² (112 кг/мм²), предел текучести с 813,9 (82) до 1029,6 Мн/м² (105 кг/мм²), относительное удлинение с 14 до 16% и ударная вязкость с 7,84 (8) до 10,8 Мдж/м² (11 кг·м/см²).

Закалка от температуры 800-1000ºС при обычном нагреве с выдержкой практически не изменяет предела прочности и предела текучести.

Ударная вязкость и относительное сужение достигают наиболее высоких значений после закалки от 840ºС. Дальнейшее повышение температуры закалки ведет к понижению пластичности.

Скоростная термическая обработка позволяет получать механические свойства даже несколько более высокие, чем при обычной термической обработке, однако температура нагрева при скоростной закалке должна быть несколько более высокой.

Гладкие обсадные и другие трубы при скоростной закалке подвергают только наружному струйному охлаждению.

Из стали низколегированной марки 36Г2С путем скоростного нагрева в сочетании со струйным охлаждением можно получать трубы марок Л и М.

Трубы размером 73х9х7000мм из стали 36Г2С химического состава С=0,38%, Mn=0,54%, Si=1,52%, P=0,028%, S=0,023%, Cr=0,09%, Ni=0,10% нагревали под закалку в секционной печи со скоростью 4,6 –5,0 град/сек до температуры 860-870ºС.

Охлаждение водой осуществляли в спреере соплового типа. Длина спреера и давление воды обеспечивали охлаждение труб до комнатной температуры за время прохождения их через спреер.

Скорость нагрева труб в секционных печах под отпуск 5,5-6,5 град/сек. Температура отпуска 660ºС. Охлаждение после отпуска на воздухе.

Все обработанные указанным способом трубы удовлетворяли требованиям стандарта марки М (95%) и марки Л (5%) по всем характеристикам механических свойств, за исключением предела прочности.

У основной массы труб (75% из стали 36Г2С) предел текучести превышал 833,6 Мн/м2 (85 кг/мм2), а характеристики пластичности и ударной вязкости не только соответствовали требованиям стандарта для сталей Л и М, но в большинстве случаев значительно превышали их.

Относительное удлинение для 88% из стали 36Г2С было выше 16%, ударная вязкость для 90% труб выше 8,82 Мдж/м (9кг\*м/см2).²

Типичной микроструктурой металла труб после термической обработки является сорбит отпуска. Вследствие недостаточного нагрева труб под закалку иногда наблюдалась структура сорбита с ферритной составляющей по границам аустенитных зерен.

Высокая температура горячей деформации труб приводила к крупнозернистой структуре металла труб (балл 2-3), представляющей собой перлит с ферритной сеткой по границам аустенитных зерен. Такая исходная структура затрудняет аустенизацию стали при скоростном нагреве под закалку. Для улучшения качества термообработанных труб целесообразно горячекатаные трубы перед закалкой подвергать нормализации.

Увеличение давления и расхода охлаждающей воды при одностороннем охлаждении не дает положительного эффекта.

Опытные данные показали, что двустороннее охлаждение в спреере обеспечивает сквозную прокаливаемость концов обсадных труб и дает возможность получать из стали 36Г2С обсадные трубы марки Л и М, а из стали Д трубы марки Е и К.

Уменьшение механических свойств высаженных концов термически обработанных труб объясняется не только изгибом волокон, что имеет место и в трубах просто нормализованных, но также и возможной неполной прокаливаемостью стенок. Однако, как показали исследования, в условиях достаточного нагрева и охлаждения при скоростной термической обработке можно получить трубы, у которых механические свойства тела трубы и высаженных концов будут равномерными и достаточно высокими. Этому в значительной мере способствует нормализация обсадных труб перед окончательной термической обработкой, которая измельчает зерно стали, выросшее в процессе высадки. Более дисперсная структура металла, как известно, ускоряет его аустенизацию при нагреве, что особенно важно при скоростной термической обработке.

Предварительная нормализация повышает прочностные характеристики высаженных концов примерно на 10%, а характеристики пластичности – на 40-60%.

*Нагрев токами высокой частоты, закалка в спреере*. Установка для закалки состоит из индуктора для нагрева движущейся трубы под закалку. Нагретый участок трубы охлаждается в спреере вращающимся потоком воды, установленным непосредственно за индуктором. Отпуск закаленного участка трубы производится также путем нагрева токами высокой частоты во втором индукторе, находящемся за спреером. Труба при термообработке движется горизонтально со скоростью примерно 1 м/мин.

Для уменьшения осевого искривления труб последние приваривают друг к другу в непрерывную полосу.

Такой термической обработке подвергали обсадные трубы диаметром 168 и 141 мм с толщиной стенки 8-14 мм из стали марки 36Г2С. Скоростной нагрев проводили на частоте 2500 гц.

Температура нагрева под закалку составляла 850-950ºС, температура отпуска 500-725ºС в зависимости от марки стали и толщины стенки трубы.

После термической обработки значительно повышаются не только запас прочности труб, но их пластические свойства. Недостатком такой установки является низкая ее производительность.[2]

**5.3.Термическая обработка концов труб**

Недостатком муфтовых резьбовых соединений обсадных труб является ослабленное тело трубы в нарезке.

Одним из способов достижения равнопрочности является упрочнение концов самой трубы при помощи термической их обработки.

Технологию упрочнения концов труб ведут путем нагрева всей трубы с последующей закалкой концов в спреерной установке. В этом случае концы труб подвергают закалке, а всю остальную часть трубы – нормализации.

По другой технологии нагревают только концы труб с последующей их закалкой.

При нагреве под закалку только концов труб наблюдаются две переходные зоны: зона перехода от закалочного участка к нормализованному (температура выше Ас3) и зона с градиентом температур критического интервала и высокого отпуска. Вторая переходная зона характеризуется снижением прочностных свойств примерно на 5-12%, по отношению к исходным при одновременном повышении относительного удлинения и относительного сужения.[2]

**6.Термомеханическая обработка обсадных труб**

В последнее время получают развитие новые технологические процессы комбинированного термомеханического воздействия на структуру и свойства обсадных труб, позволяющие значительно улучшить их эксплуатационные характеристики и обеспечить существенную экономию металла в народном хозяйстве.

На линии для комбинированного высокотемпературного термомеханического упрочнения обсадных труб горячекатаные трубы-заготовки после прокатки на автоматстане поступают на входную сторону раскатных станов и прокатываются здесь до необходимого по технологии размера. Существующие раскатные станы в соответствии с результатами проведенных ранее исследований заменяются более мощными двухвалковыми с осевой выдачей раската для осуществления прокатки с обжатиями по толщине стенки до 20%(вместо 3-5%на существующих станах).

После раскатки трубы подвергают закалке в спрейерных охлаждающих устройствах, совмещенных с оборудованием выходной стороны раскатных станов. Трубы, имеющие температуру на выходе в раскатные станы, более низкую, чем задано по технологии ВТМО, после охлаждения автоматически исключаются от потока высокопрочных труб и сбрасываются в карман. Закаленные трубы с выходной стороны станов поступают на центральный рольганг и перекладывателем через устройство для слива воды направляются на выходной рольганг отпускной печи с шагающими балками (с поперечным перемещением труб). Эта печь (с газовым обогревом) имеет две технологические зоны: нагрева и выдержки. Топливо сжигают в специальных, вынесенных из рабочего пространства надсводовых топках с рециркуляцией разбавленных продуктов сгорания в рабочем пространстве печи. Конструкция шагающих балок предусматривает перекатывание труб не только на рабочем, но и на холостом ходу балок, что обеспечивает равномерный нагрев труб по периметру. Шагающие балки стационарные и не охлаждаются.

Далее нагретые до заданной температуры отпуска трубы поступают на рольганг выдачи, а затем в калибровочный стан. Клети этого стана нерегулируемые, с индивидуальным приводом. Стан предназначен для тёплой и горячей калибровки труб.

После калибровки трубы с температурой, близкой к температуре отпуска, подвергают тёплой правке на правильном стане и охлаждают на колёсном холодильнике. При охлаждении благодаря быстрому вращению труб искривление их по длине почти отсутствует. Поэтому для высокопрочных труб холодную правку, как обязательную технологическую операцию можно не предусматривать. В конце холодильника есть обводной рольганг перед станами холодной правки, по которому высокопрочные трубы направляются непосредственно для отделки. В таблице приведены показатели механических свойств металла труб после ВТМО.

Таблица 5

Механические свойства металла труб после ВТМО

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Группа прочности по ГОСТ632-64 | Температура тепловой деформации,ºС | Временное сопротивление, кг/мм² | Предел текучести, кг/мм² | Относительное удлинение, % | Относительное сужение, % |
| Сталь 10 | | | | | |
| Л | 600 | 81,0 | 74,1 | 17,5 | 72,0 |
| Сталь 36Г2С | | | | | |
| М | 600 | 100,0 | 84,0 | 20,0 | 62,5 |

Внедрение новой технологии позволит улучшить качество труб, применить для их изготовления исходную заготовку из более дешёвого металла и снизить эксплуатационные затраты.[7]

**7. Контроль качества труб после термической**

**и термомеханической обработки**

С целью обеспечения высоких эксплуатационных свойств труб нефтяного сортамента при их изготовлении осуществляется тщательный пооперационный контроль геометрических размеров, механических свойств и состояния внутренней и наружной поверхностей.

Заключительной операцией технологического контроля обсадных труб является испытание внутренним гидравлическим давлением. Цель гидравлического испытания – проверка прочности тела трубы и герметичности резьбового соединения.

Применение закалки и отпуска в некоторых случаях вызывает появление дополнительных дефектов, обусловленных термической обработкой (закалочные трещины и др.). Поэтому в технологии производства высокопрочных труб особую важность, кроме гидравлических испытаний, приобретает контроль качества поверхностей трубы и особенно резьбовых концов. Наружные и внутренние дефекты значительно снижают сопротивление трубы действующим нагрузкам и могут служить причиной аварий.

Наиболее распространёнными видами контроля труб на отечественных и зарубежных заводах являются визуальный осмотр, а также контроль с помощью магнитного, ультразвукового методов и гамма-дефектоскопии.[2]

Литература:

[1]- Ю.А.Башнин, Б.К.Ушаков, А.Г.Секей, Технология термической обработки, М., Металлургия, 1986.

[2]- А.А.Шевченко, В.И.Стрижак, Производство труб для нефтяной промышленности, М., Металлургия, 1965.

[3]- А.А.Гайворонский, Крепление нефтяных и газовых скважин в США, Гостоптехиздат, 1962.

[4]- Ю.М.Матвеев, производство высокопрочных обсадных труб, Сталь, 1953, №10.

[5]-Металловедение и термическая обработка стали. Справочник. т.III, М.: Металлургия, 1983.

[6]-Б.П.Колесник, Механические свойства углеродистой и низколегированной трубной стали после нормализации с применением скоростного нагрева, Производство труб, сб. статей УкрНИТИ, вып. 9, Металлургиздат, 1963.

[7]-В.М.Янковский и др., Чёрная металлургия, Бюл. Научн.-техн. журн., 1976, №10, ст.41.