МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное автономное образовательное учреждение высшего образования

«Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»

Кафедра «ТЕХНОЛОГИЯ И ИССЛЕДОВАНИЕ МАТЕРИАЛОВ»

**КУРСОВАЯ РАБОТА**

по дисциплине

**«Оборудование и проектирование термических цехов»**

на тему:

**«Проектирование участка для азотирования стали»**

по направлению 22.03.02 – Металлургия

Выполнил:

студент гр.43314/1 <подпись> Сидоров Н.А.

Руководитель:

доцент, к.т.н. <подпись> Кисленков В.В.

Санкт-Петербург

2016

**Введение**

В данном курсовом проекте разработан технологический процесс азотирования двух валов и вала-шестерни разного диаметра из легированных сталей.

Вал — деталь машины, предназначенная для передачи вращающего момента и восприятия действующих сил со стороны расположенных на нём деталей и опор.

Вал-шестерня выполняет аналогичную функцию с небольшой разницей в конструкции.

Выбраны азотируемые марки сталей, применяющиеся для изготовления валов и указан их химический состав.

Описан путь детали по термическому цеху: от поступления в термический цех до склада готовой продукции. Разработана маршрутная технология. Установлен план и метод термической обработки изделий, разработан пооперационный технологический процесс обработки. Выбрано оборудование, приспособления, определены нормы времени и методы технического контроля. Разработана планировка оборудования участка; разработаны технико–экономические вопросы, связанные с проектируемым термическим участком.

1. **ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ**
   1. **Чертеж изделия и технические условия его изготовления**

Исходными данными для разработки технологического процесса термической обработки является чертеж изделия и технические условия на изготовление. Чертежи изделий прилагаются.

1. **ВЫБОР МАТЕРИАЛА ДЛЯ ЗАДАННЫХ ИЗДЕЛИЙ И РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ИЗДЕЛИЯ**
   1. **Выбор материала**

Конструкционные стали должны обладать высокой конструктивной прочностью, обеспечивать длительную и надежную работу конструкции в условиях эксплуатации. Поэтому особенность требований, предъявляемых к конструкционным материалам, состоит в необходимости обеспечения комплекса высоких механических свойств.

Также конструкционные материалы должны наряду с высокой прочность и пластичностью хорошо сопротивляться ударным нагрузкам, обладая запасом вязкости. При знакопеременных нагрузках конструкционные материалы должны обладать высоким сопротивлениям усталости, а при трении – сопротивлением износу. Учитывая, что в деталях всегда имеются дефекты, являющиеся концентраторами напряжений, конструкционные материалы должны обладать высоким сопротивлением хрупкому разрушению и распространению трещин.

Помимо высокой надежности и конструктивной прочности конструкционные материалы должны иметь высокие технологические свойства – обрабатываемость давлением, резанием, хорошую свариваемость.

А также не менее необходима их коррозионная стойкость.

**2.2 Технологический процесс термической обработки изделия**

**Деталь №1**: вал (рис.1)

Марка стали: cталь 38Х2МЮА

Твёрдость после окончательной термообработки: НV 950-1100

1. Расшифровка марки стали

**Сталь 38Х2МЮА** – сталь жаропрочная релаксационностойкая легированная. Используется в азотируемых деталях: шестерни, валики, пальцы, втулки и т.д., работающие при температурах до 450 град.

Таблица 1. 38Х2МЮА (хромомолибденоалюминиевая) ГОСТ 4543-71

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Химический состав, % | | | | | | | | | |
| C | Si | Mn | S | P | Сr | Ni | Mo | Al | Cu |
| 0,35-0,42 | 0,20-0,45 | 0,3-0,6 | <0,025 | <0,025 | 1,35-1,65 | <0,30 | 0,15-0,25 | 0,7-1,1 | <0,30 |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Критические точки | | | |
| При нагреве | | При охлаждении | |
| Ac1 | Ac3 | Ar1 | Ar3 |
| 800˚ | 900˚ | 730˚ | - |

1. Анализ влияние углерода и легирующих элементов стали на технологию термообработки и полученные результаты.

Хром – очень распространенный легирующий элемент. Температура эвтектоидного превращения стали в присутствии хрома повышается, а содержание углерода в эвтектоиде понижается. С углеродом хром образует карбиды более прочные и устойчивые, чем цементит. Растворяясь в феррите, хром повышает его твердость и прочность, незначительно снижая вязкость. Хром значительно увеличивает устойчивость переохлажденного аустенита.

Хром значительно уменьшает критическую скорость закалки, поэтому хромистая сталь обладает глубокой прокаливаемостью. Температура мартенситного превращения при наличии хрома снижается. Хром препятствует росту зерна и повышает устойчивость против отпуска, поэтому отпуск хромистых сталей проводится при более высоких температурах по сравнению с отпуском углеродистых сталей. Хромистые стали подвержены отпускной хрупкости и поэтому после отпуска детали следует охлаждать быстро (в масле).

Молибден - существенно повышает кратковременную и длительную прочность, сохраняет предел текучести конструкционной стали на высоком уровне при повышенных температурах нагрева. Влияние молибдена объясняется смещением в сторону более высоких температур района возврата и рекристаллизации стали при нагревании.

Алюминий – повышает коррозионную стойкость металла.

Ведение легирующих элементов оказывает влияние на перлитное превращение. Температура перлитного превращения под влиянием различных легирующих элементов может повышаться или понижаться, а концентрация углерода в перлите уменьшается. Следовательно, при введении легирующих элементов происходит смещение равновесных точек на диаграмме Fe-Fe3C.

1. Выбор вида термической обработки

Сталь 38Х2МЮА поставляется в холоднокатаном состоянии. Подготовка структуры к окончательной термической обработке не требуется.

1. Режим операций предварительной и окончательной термообработки деталей.

Последовательность операций обработки вала, изготовленного из стали 38Х2МЮА:

Механическая обработка – закалка – отпуск – азотирование;

Назначение режимов закалки:

1. Температуру нагрева рассчитаем по формуле:

tн = Ас3 +(30…50)ºС = 900 + (30…50)ºС = 930…950ºС

1. Время нагрева деталей определяем по формуле:

где

удельная производительность печи, в кг/м2\*час

масса садки, кг;

S - площадь подставки, м2

Тогда 𝜏н

Аналогичный расчет времени проводим и для остальных деталей.

Время нагрева 𝜏н = 270 мин.

1. В качестве закаливающей среды выбираем масло
2. Температура нагрева при отпуске: tн = 640ºС
3. Продолжительность отпуска: 1,5 - 2 часа.
4. Охлаждение в масле

Для отжига и закалки – закалочная печь с защитной атмосферой.

Назначение режимов азотирования:

1. Температура процесса: tн = 510ºС
2. Степень диссоциации аммиака: 30-50%
3. Продолжительность: 35 часов
4. Глубина слоя: 0,45-0,55 мм
5. Получаемая поверхностная твердость: HV 950-1100
6. Минимальная поверхностная твердость по ТУ: HV 950

**Деталь №2**: вал (рис.2)

Марка стали: сталь 18ХН2ВА

Твёрдость после окончательной термообработки: НV 650-750

1. Расшифровка марки стали

**Сталь 18ХН2ВА** – сталь конструкционная легированная высококачественная. Применяется в авиастроении, в цементированном состоянии для изготовления валов роторов, коленчатых валов, редукторов, шестерней и в нецементированном виде для изготовления ответственных болтов, шпилек и прочего специального крепежа.

Таблица 2. 18ХН2ВА (хромоникельванадиевая) ГОСТ 4543-71

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Химический состав, % | | | | | | | | | |
| C | Si | Mn | S | P | Сr | Ni | Mo | V | Cu |
| 0,14-0,20 | 0,17-0,37 | 0,25-0,55 | <0,025 | <0,025 | 1,35-1,65 | 4,00-4,40 | - | 0,30-0,40 | <0,30 |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Критические точки | | | |
| При нагреве | | При охлаждении | |
| Ac1 | Ac3 | Ar1 | Ar3 |
| 700˚ | 810˚ | - | - |

1. Анализ влияние углерода и легирующих элементов стали на технологию термообработки и полученные результаты.

Хром – очень распространенный легирующий элемент. Температура эвтектоидного превращения стали в присутствии хрома повышается, а содержание углерода в эвтектоиде понижается. С углеродом хром образует карбиды более прочные и устойчивые, чем цементит. Растворяясь в феррите, хром повышает его твердость и прочность, незначительно снижая вязкость. Хром значительно увеличивает устойчивость переохлажденного аустенита.

Хром значительно уменьшает критическую скорость закалки, поэтому хромистая сталь обладает глубокой прокаливаемостью. Температура мартенситного превращения при наличии хрома снижается. Хром препятствует росту зерна и повышает устойчивость против отпуска, поэтому отпуск хромистых сталей проводится при более высоких температурах по сравнению с отпуском углеродистых сталей. Хромистые стали подвержены отпускной хрупкости и поэтому после отпуска детали следует охлаждать быстро (в масле).

Никель повышает вязкость стали, прокаливаемость, сопротивление удару и пластичность.

Ванадий повышает кратковременную и длительную прочность в нагретом состоянии, но уменьшает пластичность.

1. Выбор вида термической обработки.

Поставляется в качестве холоднокатаных прутков. Подготовка структуры к окончательной термической обработке не требуется.

1. Режим операций предварительной и окончательной термообработки деталей.

Последовательность операций обработки вала, изготовленного из стали 38Х2МЮА:

Механическая обработка – закалка – отпуск – азотирование;

Назначение режимов закалки:

1. Температуру нагрева рассчитаем по формуле:

tн = Ас3 +(30…50)ºС = 810 + (30…50)ºС = 840…860ºС

1. Время нагрева 𝜏н = 250 мин.
2. В качестве закаливающей среды выбираем масло
3. Температура нагрева при отпуске: tн = 550ºС
4. Продолжительность отпуска: 1,5 - 2 часа.
5. Охлаждение в масле

Для отжига и закалки – закалочная печь с защитной атмосферой.

Назначение режимов азотирования:

1. Температура процесса: tн = 500ºС
2. Степень диссоциации аммиака: 15-30%
3. Продолжительность: 55 часов
4. Глубина слоя: 0,45-0,50 мм
5. Получаемая поверхностная твердость: HV 650-750

Минимальная поверхностная твердость по ТУ: HV 600

**Деталь №3**: вал-шестерня (рис.3)

Марка стали: cталь 40ХН2МА

Твёрдость после окончательной термообработки: НV 550-650

1. Расшифровка марки стали

**Сталь 40ХН2МА** – конструкционная легированная высококачественная. Применяется для изготовления коленчатых валов и других тяжело нагруженных деталей, азотируемых деталей авиастроения.

Таблица 3. 40ХН2МА (хромоникельмолибденовая) ТУ 14-1-950-74

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Химический состав, % | | | | | | | | |
| C | Si | Mn | S | P | Сr | Ni | W | Cu |
| 0,37-0,44 | 0,17-0,37 | 0,5-0,8 | <0,025 | <0,025 | 0,6-0,9 | 1,25-1,65 | 0,8-1,2 | <0,30 |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Критические точки | | | |
| При нагреве | | При охлаждении | |
| Ac1 | Ac3 | Ar1 | Ar3 |
| 730˚ | 820˚ | 380˚ | 550˚ |

1. Анализ влияние углерода и легирующих элементов стали на технологию термообработки и полученные результаты.

Хром – очень распространенный легирующий элемент. Температура эвтектоидного превращения стали в присутствии хрома повышается, а содержание углерода в эвтектоиде понижается. С углеродом хром образует карбиды более прочные и устойчивые, чем цементит. Растворяясь в феррите, хром повышает его твердость и прочность, незначительно снижая вязкость. Хром значительно увеличивает устойчивость переохлажденного аустенита.

Хром значительно уменьшает критическую скорость закалки, поэтому хромистая сталь обладает глубокой прокаливаемостью. Температура мартенситного превращения при наличии хрома снижается. Хром препятствует росту зерна и повышает устойчивость против отпуска, поэтому отпуск хромистых сталей проводится при более высоких температурах по сравнению с отпуском углеродистых сталей. Хромистые стали подвержены отпускной хрупкости и поэтому после отпуска детали следует охлаждать быстро (в масле).

Никель повышает вязкость стали, прокаливаемость, сопротивление удару и пластичность.

Ванадий повышает кратковременную и длительную прочность в нагретом состоянии, но уменьшает пластичность.

1. Выбор вида термической обработки.

Поставляется в качестве холоднокатаных прутков. Подготовка структуры к окончательной термической обработке не требуется.

1. Режим операций предварительной и окончательной термообработки деталей.

Последовательность операций обработки вала, изготовленного из стали 40ХН2МА:

Механическая обработка – закалка – отпуск – азотирование;

Назначение режимов закалки:

1. Температуру нагрева рассчитаем по формуле:

tн = Ас3 +(30…50)ºС = 820 + (30…50)ºС = 850…870ºС

1. Время нагрева 𝜏н = 300 мин.
2. В качестве закаливающей среды выбираем масло
3. Температура нагрева при отпуске: tн = 600ºС
4. Продолжительность отпуска: 1,5 - 2 часа.
5. Охлаждение в масле

Для отжига и закалки – закалочная печь с защитной атмосферой.

Назначение режимов азотирования:

1. Температура процесса: tн = 500ºС
2. Степень диссоциации аммиака: 15-30%
3. Продолжительность: 50 часов
4. Глубина слоя: 0,45-0,50 мм
5. Получаемая поверхностная твердость: HV 550-650

Минимальная поверхностная твердость по ТУ: HV 500

1. **УСТАНОВЛЕНИЕ МАРШРУТНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИЗДЕЛИЯ**

Деталь поступает на склад сырой продукции после предварительной механической обработки. Далее все детали размещаются на приспособлении и погружаются в печь, в которой происходит нагрев под закалку. После происходит закалка в масле. Затем детали вместе с приспособлением загружаются в моечную машину. Далее загружаются в печь для отпуска. После отпуска детали поступают в моечную машину. Затем детали загружаются в печь для азотирования. Далее деталь из партии поступает в экспресс-лабораторию для контроля твердости и отсутствия обезуглероживания. После все детали поступают на склад готовой продукции.

1. **ВЫБОР ОСНОВНОГО И ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ**
   1. **Выбор основного оборудования**

**4.1.1 Выбор печи под закалку**

Для закалки деталей необходимы высокотемпературные печи. Так как одним из требований к деталям является отсутствие обезуглероживания, выбираем высокотемпературные печи с защитной атмосферой:

Тип печи: СШЗ – 8.12/10;

Габариты рабочего пространства (диаметр, высота, мм): 800, 1200;

Масса загрузки: 900 кг;

Мощность печи: 100 кВт;

Максимальная температура печи: 1000ºС.

**4.1.2 Выбор печи под азотирование**

Для азотирования деталей необходимы печи с регулируемой атмосферой:

Тип печи: США – 8.12/7;

Габариты рабочего пространства (диаметр, высота, мм): 800, 1200;

Масса загрузки: 700 кг;

Мощность печи: 80 кВт;

Максимальная температура печи: 700ºС;

Среда в рабочем пространстве: аммиак+азот+водород;

Расход аммиака:

на продувку: 2,2 м3/ч;

на тех. процесс: 0,8 м3/ч;

Расход воды: 0,2 м3/ч.

**4.1.3 Выбор масляного бака**

Исходя из размеров приспособления и массы деталей, а также необходимого объема масла для охлаждения деталей габариты закалочного бака следующие:

Диаметр: 800 мм;

Высота: 1250 мм;

Объем: 2 м3;

Необходимый объем масла: 1,3 м3 (1 кг садки – 10 л масла).

**4.1.4 Выбор моечной машины**

Исходя из размеров подставки, выбираем моечную машину модели CR 120/2 (120 – объем корзины, 2 – количество стадий в цикле), которая применяется в малом и среднем серийном производстве.

Габаритные размеры (ширина, длина, высота, мм): 1600, 2400, 3800;

Цикл работы: отмывка/фосфатное обезжиривание – споласкивание.

**4.1.5 Выбор печи для отпуска**

Так как одним из требований к деталям является отсутствие обезуглероживания, выбираем печи с защитной атмосферой:

Тип печи: СШЗ – 8.12/7;

Габариты рабочего пространства (диаметр, высота, мм): 800, 1200;

Масса загрузки: 900 кг;

Мощность печи: 72 кВт;

Максимальная температура печи: 700ºС.

* 1. **Выбор вспомогательного оборудования**

**4.2.1 Разработка приспособлений для проведения термической обработки**

Приспособление для загрузки деталей в печь изображено на рис. 4.

1. **РАСЧЕТ ПОТРЕБНОГО КОЛИЧЕСТВА ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ОСНОВНЫХ ОПЕРАЦИЙ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ**

Для процесса закалки устанавливаем 4 печи СШЗ – 8.12/10. Для отпуска устанавливаем 4 печи СШЗ – 8.12/7 тех же габаритов, что и закалочные. Для азотирования устанавливаем 8 печей США – 8.12/7. Объем рабочего пространства всех печей одинаков.

1. **РАЗРАБОТКА КОМПАНОВОЧНОЙ СХЕМЫ И ПЛАНИРОВКА. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОЩАДИ УЧАСТКА И ГРУЗОПОТОКОВ**
   1. **Выбор здания, планировка и площадь**

*Выбор здания***.** Выбираем одноэтажное здание шириной пролета L = 12 м. Величина шага колонн принимаем 6 м. Высота здания от пола до нижней части верхнего перекрытия Н = 10 м. Расстояние от пола до головки подкранового рельса Н1 = 8 м. Длина цеха – 72 м.

*Площадь цеха* составляет 72·12 = 864 м2.

*Планировка* представлена на рис. 5.

1. **ПЛАН РАЗМЕЩЕНИЯ ОСНОВНОГО И ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

План размещения оборудования приведен на рисунке 5.

После механической обработки детали поступают в термический цех. С помощью кран-балки и рольганга детали поступают на склад «сырой» продукции, где производится визуальный осмотр поверхности изделий, проверка размеров (выборочно) и формируется садка (детали устанавливаются на приспособление вручную).

С помощью кран-балки приспособления с деталями доставляются к печам СШЗ – 8.12/10. При помощи того же крана приспособления загружаются и выгружаются из печей. После нагрева до определенной температуры детали попадают в закалочные баки при помощи кран-балки, затем на участок мойки, где происходит промывка деталей в воде с последующей сушкой.

После проводится высокий отпуск в печах СШЗ – 8.12/7 с последующей промывкой, затем детали перемещаются в печь для азотирования США – 8.12/7. После чего детали поступают в экспресс-лабораторию для контроля качества, где замеряется твердость, проверяется структура (выборочно), а затем они доставляются на склад готовой продукции.

1. **РАСЧЕТ ПОТРЕБНОГО КОЛИЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ И ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ НУЖД**

**8.1 Технико-экономические показатели**

На 1 технологический поток приходится 16 нагревательных печей, 8 закалочных бака и 8 моечных машины.

Точный расчет расхода электроэнергии в электропечах производится по их мощности и количеству часов работы с учетом коэффициента использования мощности печи по следующей формуле:

Э = Nуст · Фд · ŋз · Ки, кВт·час,

где Э – годовой расход электроэнергии, кВт\*час;

Nуст  - установленная мощность печей, кВт,

Nуст = 80**·**4+72**·**16 = 1472 кВт;

Фд  - действительный годовой фонд времени работы оборудования, час;

Фд = 6610, час.

ŋз – коэффициента загрузки оборудования;

Ки – коэффициент полезного использования печей по мощности, равный 0,4.

Э1 = 1472·6610·1·0,4 = 3 891 968 кВт·час.

Рассчитываем годовой расход электроэнергии на моечные машины, учитывая, что мощность моечной машины составляет 24 кВт:

Nуст = 24·8 = 192 кВт;

Э2 = 192·6610 = 1 269 120 кВт·час.

Рассчитываем годовой расход электроэнергии для электромешалки закалочных баков:

Nуст = 20 кВт,

Nуст = 20·8 = 160 кВт;

Э3 = 160**·**6610 = 1 057 600 кВт**·**час.

Суммарный годовой расход электроэнергии составляет:

Эобщ = Э1 **+** Э2 + Э3;

Эобщ = 3891968+1269120+1057600 = 6 218 688 кВт**·**час.

Расчет годовой программы изделия №1 осуществляется по формуле:

Q=P**·**E**·**N,

где Р – часовая производительность оборудования, кг/час;

Е – действительный (расчетный) фонд времени работы оборудования;

N – число печей в основном отделении участка.

Q = (127,7/50) **·**6610**·**8 = 134,315 т.

Расчет вспомогательных материалов для технологических нужд.

Защитная атмосфера.

Потребление герметичных печей составляет 5 м3/т.

Количество печей: 16 шт.

Общее потребление составляет:

5·16 = 80 м3/т.

Расход машинного масла - 2% от годовой программы:

0,02**·**134,315 = 2,69 т.

Расход воды на моечные машины – 30% от годовой программы

0,3**·**134,315 = 40,29 т.

Расход на дробеструйную очистку – 0,1% от годовой программы

0,001**·**134,315 = 0,13 т.

**Литература:**

А.Н. Минкевич Химико-термическая обработка металлов и сплавов. М.: Машиностроение, 1965.

М.И. Гольдштейн, С.В. Грачев, Ю.Г. Векслер Специальные стали. М.: Металлургия, 1985.

Ю.М. Лахтин, Я.Д. Коган, Г. Шпис, З. Бемер Теория и технология азотирования. М.: Металлургия, 1991.

**Азотирование** — это технологический процесс химико-термической обработки, при которой поверхность различных металлов или сплавов насыщают азотом в специальной азотирующей среде. Азотирование чаще проводится при 500 - 600˚С (низкотемпературное азотирование) в α-фазе, азотирование жаропрочных сталей, сплавов и тугоплавких металлов (Ti, Mo, Nb, V и др.) при 600 - 1200˚С (высокотемпературное азотирование). Поверхностный слой изделия, насыщенный азотом, имеет в своём составе растворённые нитриды и приобретает повышенную коррозионную стойкость и высочайшую микротвёрдость. По микротвёрдости азотирование уступает только борированию, в то же время превосходя цементацию и нитроцементацию (незначительно).

**Металлы и сплавы, подвергаемые азотированию:**

* Стали углеродистые и легированные, конструкционные и инструментальные.
* Высокохромистые чугуны, высокохромистые износоустойчивые сплавы, хром.
* Титан и титановые сплавы.
* Бериллий.
* Вольфрам.
* Ниобиевые сплавы.
* Порошковые материалы.

**Назначение азотирования:**

* Упрочнение поверхности
* Защита от коррозии
* Повышение усталостной прочности

В зависимости от назначения используемые технологические процессы азотирования могут существенно отличаться.

**Классификация процессов азотирования**

*По составу среды:*в газах, жидких и твердых средах (в пастах или порошках).

*По температуре процесса:* низкотемпературные (t < A1 в системе Fe-N), среднетемпературные (t > A1 в системе Fe-N, но t < A1 в системе Fe-C), высокотемпературные (t > A1 в системе Fe-C).

*По диффундирующему элементу:* азотирование, карбоазотирование (углеродоазотирование), оксиазотирование, оксикарбоазотирование (оксиуглеродоазотирование), сульфоазотирование.

*По давлению в реакторе:* при повышенном, пониженном и пульсирующем давлении.

*По способу подвода энергии:* нагрев за счет конвекции, излучения, низкотемпературной плазмы, индукционного электронного и лазерного нагрева.

*По типу печного устройства:* азотирование в камерных, шахтных и других печах

*И другие.*

**Основные виды азотирования**

**Газовое азотирование**

Насыщение поверхности металла производится при температурах от 400 ˚С (для некоторых сталей) до 1200 ˚С (аустенитные стали и тугоплавкие металлы). Средой для насыщения является диссоциированный аммиак. Для управления структурой и механическими свойствами слоя при газовом азотировании сталей применяют:

* двух-, трёхступенчатые температурные режимы насыщения;
* разбавление диссоциированного аммиака:
  + воздухом,
  + реже водородом.

Контрольными параметрами процесса являются:

* степень диссоциации аммиака
* расход аммиака
* температура
* расходы дополнительных технологических газов (если применяются).

**Каталитическое газовое азотирование**

Это последняя модификация технологии газового азотирования. Средой для насыщения является аммиак, диссоциированный при температуре 400—600˚С на катализаторе в рабочем пространстве печи. Для управления структурой и механическими свойствами слоя при каталитическом газовом азотировании сталей применяют изменение (перенаправление) потенциала насыщения. В целом применяются более низкие температуры, чем при газовом азотировании.

**Ионно-плазменное азотирование**

Технология насыщения металлических изделий в азотсодержащем вакууме (примерно 0,01 атм.), в котором возбуждается тлеющий электрический разряд. Анодом служат стенки камеры нагрева, а катодом — обрабатываемые изделия. Для управления структурой слоя и механическими свойствами слоя применяют (в разные стадии процесса):

* изменение плотности тока
* изменение расхода азота
* изменение степени разрежения
* добавки к азоту особо чистых технологических газов:
  + водорода
  + аргона
  + метана

**Азотирование из растворов электролитов**

Использование анодного эффекта для диффузионного насыщения обрабатываемой поверхности азотом в многокомпонентных растворах электролитов, один из видов скоростной электрохимико-термической обработки (*анодный электролитный нагрев*) малогабаритных изделий. Анод-деталь при наложении постоянного напряжения в диапазоне от 150 до 300 В разогревается до температур 450—1050 °C. Достижение таких температур обеспечивает сплошная и устойчивая парогазовая оболочка, отделяющая анод от электролита. Для обеспечения азотирования в электролит, кроме электропроводящего компонента, вводят вещества-доноры, обычно нитраты.

**Технология азотирования**

Технологический процесс изготовления азотируемых изделий включает следующие этапы: предварительная термическая обработка; механическая обработка, включая шлифование; защита мест, не подлежащих азотированию; азотирование; окончательное шлифование или доводка изделий в соответствие с заданными допусками.

Собственно процесс азотирования включает три стадии:

1. Начальный период, включающий нагрев садки до получения постоянной температуры и состава атмосферы.
2. Выдержка при заданной температуре, при которой поддерживаются необходимые условия для протекания соответствующих реакций. На поверхности изделий устанавливается состояние, близкое к равновесному, и изменения в поверхностном слое имеют диффузионный характер.
3. Охлаждение, выгрузка садки.

*Предварительная термическая обработка* – закалка с высоким отпуском обычно проводится в заготовках. Наличие на деталях, подвергаемых азотированию, обезуглероженных поверхностей, недопустимо, так как это влечет за собой резкое увеличение хрупкости азотированного слоя, а иногда его «шелушение».

Во всех случаях, отпуск после закалки должен на 40 - 70˚С превышать температуру азотирования, чтобы исключить влияние фазовых превращений сердцевины деталей на качество азотирования.

*Газовое азотирование в аммиаке:*

Азотирование в аммиаке осуществляется при подаче газообразного аммиака из баллонов или аммиачной станции в рабочее пространство печи со скоростью, гарантирующей получение заданной степени диссоциации аммиака – азотного потенциала атмосферы.

Подготовленные для азотирования изделия загружают в печь таким образом, чтобы они не соприкасались между собой и чтобы продукты разложения аммиака свободно омывали поверхности, подлежащие азотированию. После загрузки изделий печь герметично закрывают и присоединяют резиновые шланги для отвода и подачи аммиака. После этого включают подачу аммиака в муфель печи и продувают муфель до полного удаления из него воздуха.

Для снижения хрупкости азотированного слоя и экономии аммиака рекомендуется азотирование в аммиаке, разбавленном азотом (аргоном) до 70 - 80 %. Толщина диффузионного подслоя при этом сохраняется такой же или несколько увеличивается по сравнению с азотированием в чистом аммиаке.

**Дефекты азотирования**

*Деформация и коробление* – в процессе насыщения стали азотом происходит изменение размеров и возможно коробление деталей. Склонность к короблению зависит от сложности формы изделия, температуры процесса и глубины слоя.

*Хрупкость и шелушение* – характеризуется большим разнообразием пороков по конфигурации, строению, размерам, частоте повторения, области распространения и топографии расположения и в большинстве случаев вызывается пресыщением поверхностного слоя азотом. Хрупкость и шелушение могут быть вызваны несоблюдением режимов предварительной термообработки, азотирования и шлифования.

*Пониженная и пятнистая твердость слоя* – обычно обусловливается следующими причинами: нарушением технологии процесса азотирования, несоблюдением технологии предварительной термической обработки.

*Пониженная толщина слоя* – причинами могут быть понижение температуры процесса, повышение степени диссоциации аммиака и сокращение выдержки.