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:

$$q=\frac{m}{S\*τ}$$

 где

$q- $удельная производительность печи, в кг/м2\*час

$m- $масса садки, кг;

S - площадь подставки, м2

 Тогда 𝜏н

$$τ\_{н}=\frac{127,7}{(0,3^{2}\*3,14)\*100}=4,5 ч.$$

 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 4 печи 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 – 66 м.

*Площадь цеха* составляет 66·12 = 792 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 12 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**·**8 = 896 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 = 896·6610·1·0,4 = 2 369 024 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 = 2369024+1269120+1057600 = 4 695 744 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**·**4 = 67,527 т.

Расчет вспомогательных материалов для технологических нужд.

Защитная атмосфера.

Потребление герметичных печей составляет 5 м3/т.

Количество печей: 12 шт.

Общее потребление составляет:

5·12 = 60 м3/т.

Расход машинного масла - 2% от годовой программы:

0,02**·**67,527 = 1,35 т.

Расход воды на моечные машины – 30% от годовой программы

0,3**·**67,527 = 20,26 т.

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

0,001**·**67,527 = 0,067 т.

**Азотирование** — это технологический процесс химико-термической обработки, при которой поверхность различных металлов или сплавов насыщают азотом в специальной азотирующей среде. 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.

**Основные виды азотирования**

**Газовое азотирование**

Насыщение поверхности металла производится при температурах от 400 (для некоторых сталей) до 1200 (аустенитные стали и тугоплавкие металлы) градусов Цельсия. 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 градусов Цельсия 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.

**Оборудование для азотирования**

Для проведения газового азотирования используются преимущественно шахтные, ретортные и камерные печи. Для подготовки аммиака перед подачей в печь используется диссоциатор.

Для проведения каталитического газового азотирования используются преимущественно шахтные, ретортные и камерные печи, оснащенные встроенными катализаторами и кислородными зондами для определения насыщающей способности атмосферы.

Для проведения процессов ионно-плазменного азотирования применяются специализированные установки, в которых происходит нагрев изделий за счёт катодной бомбардировки ионами и, собственно, насыщение.

Для азотирования из растворов электролитов применяются установки для электрохимико-термической обработки.

**Азотируемые стали**

Азотирование представляет собой процесс поверхностного насыщения стали азотом. Наиболее распространен процесс азотирования в газовых средах на основе аммиака. Как правило, процесс азотирования осуществляется при темпе­ратуре до 600°С (низкотемпературное азотирование).

Азотирование конструкционных сталей проводят для по­вышения их твердости, износостойкости, теплостойкости и коррозионной стойкости. Перед азотированием изделия под­вергают закалке и высокому отпуску.

Строение диффузионного слоя азотированных сталей определяется диаграммой железо—азот (рис. 1). При азотировании стали в области температур ниже эвтектоидной (590 °С) диффузионный слой состоит из трех фаз: ↋, γ/(Fe4N) и α. В общем случае формирование структуры диффузионного слоя азотируемой стали зависит от состава стали, температуры и длительности нагрева, а также и ско­рости охлаждения после азотирования.

Высокая твердость и износостойкость азотируемых кон­струкционных сталей обеспечиваются главным образом нитридами легирующих элементов (N, MoN, A1N). Одна­ко из-за наличия углерода в легированных конструкцион­ных сталях при азотировании фактически образуются карбонитридные фазы.

Легирующие элементы существенно влияют на глубину *h* азотированного слоя и поверхностную твердость (рис. 2). Уменьшение глубины азо­тированного слоя при легиро­вании обусловлено уменьшени­ем коэффициента диффузии азота в феррите. Углерод уменьшает также коэффици­ент диффузии азота.

Рис. 1. Диаграмма состояния си­стемы Fe—N

Из азотируемых конструк­ционных легированных сталей наиболее широко применяют сталь 38Х2МЮА. Однако в по­следнее время разработан ряд новых конструкционных ста­лей, подвергаемых азотирова­нию: З0ХЗВА, 30ХН2ВФА,

40ХНВА, 20ХЗМВФА и др.

При азотировании в интервале температур 500—600°С толщина диффузионного слоя невелика и поэтому высокие механические свойства достигаются в тонком поверхност­ном слое и по мере удаления от поверхности быстро пада­ют. Обычно при легировании несколькими элементами твердость азотированного слоя больше, чем при легирова­нии одним элементом (рис. 3).

Наиболее высокая поверхностная твердость при азоти­ровании достигается в хромомолибденовых сталях, допол­нительно легированных алюминием, типичным представи­телем которых является сталь 38Х2МЮА. Подобные стали для азотирования применяют в США: нитраллой — Nitr135М, в Англии — EN41, в ФРГ — 32А1СгМо4, в Шве­ции — 2940.

Вместе с тем износостойкость стали не всегда коррели­рует с твердостью. Так, повышение температуры азотирования стали 38Х2МЮА с 560 до 620 °С повышает ее изно­состойкость, хотя поверхностная твердость при этом пони­жается. Понижение поверхностной твердости при повыше­нии температуры азотирования связано с уменьшением содержания азота в е-фазе из-за усиления его диффузии с поверхности в глубь изделия.

Для некоторых азотируемых изделий чрезмерно высо­кая поверхностная твердость является нежелательной из- за охрупчивания поверхностного слоя, затруднения опера­ции шлифования и др. В этом случае используют стали с пониженным содержанием алюминия или без алюминия, имеющие меньшую поверхностную твердость, но более плав­ное падение твердости по глубине диффузионного слоя (ста­ли 38Х2ВФЮА, 40ХФА, 40Х, 20ХЗВА и др.).

 h, мм HV

Рис. 2. Влияние легирующих элементов на глубину азотированного слоя (азотирование при 550ºС, 24 ч) и поверхностную твердость (Ю. М. Лахтин)

*h, мм*

Рис. 3. Изменение твердости HV5 и относительной износо­стойкости ↋ по глубине азоти­рованного слоя (азотирование при 540 °С, 33 ч) (Г. Ф. Косолапов, Н. Н. Сидорин, С. А. Ге­расимов):

*1* — техническое железо; 2 — сталь 40Х; *3* — 38ХМЮА

Снижение поверхностной твердости азотированного слоя с HV 900—1000 до 650—900 позволяет повысить износостойкость и сопротивление хрупкому разрушению и применять азотирование для таких деталей станкостроения, как шпин­дели, опоры качения, гильзы, ходовые винты и т. д.

Для деталей машины, работающих в условиях цикличе­ских изгибных или контактных нагрузок, применяют стали 28Х2Н4ВА, 38XH3MA, 30Х3ВА, 20ХГН2МФ и др.

Азотирование повышает предел усталости конструкцион­ных сталей. Так, предел усталости коленчатых валов авиационного двигателя из стали 18Х2Н4ВА после азотирования повышается на 25—60 %. При наличии концентраторов на­пряжений азотирование в большей степени влияет на пре­дел усталости сталей.

Такое влияние азотирования на предел усталости кон­струкционных сталей связывают с образованием в поверх­ностном слое остаточных напряжений.

Азотирование повышает теплостойкость конструкцион­ных легированных сталей. Например, рабочие температуры азотируемых деталей из сталей 38Х2МЮА и 25Х2МФА составляют 400—490 °С, а из сталей 25Х2М1Ф 490—510 °С. Однако при длительных выдержках в условиях высоких температур твердость азотированного слоя может снижаться.

Когда азотирование применяется только для получения коррозионностойкого покрытия изделий, можно использо­вать простые углеродистые стали с содержанием углерода в широких пределах (от 0,1 — до 1,0 %).

При этом получают тонкие нитридные (карбонитридные) слои толщиной 0,015—0,030 мм в зависимости от на­значения детали. В этом случае, кроме коррозионной стойкости, повышается твердость, пределы прочности и текуче­сти, а также усталостная прочность стали.

Азотирование является трудоемким процессом, поэтому в последнее время разработаны различные способы ускоренного азотирования, из которых можно отметить ионное азотирование (азотирование в тлеющем разряде), азотирование под давлением, в активизированных газовых средах и др.

Процесс одновременного насыщения стали углеродом и азотом в газовой среде называется нитроцементацией. Нитроцемента­цию проводят при более низких температурах (850—870 °С) по сравне­нию с цементацией. Это обусловлено тем, что азот, диффундируя в сталь одновременно с углеродом, понижает температуру существования твер­дого раствора на основе у-железа и тем самым способствует науглеро­живанию стали при более низких температурах.

Нитроцементации обычно подвергают легированные стали с содер­жанием до 0,25 % С. Имеется опыт применения для нитроцементации сталей 20Х, 18ХГТ, 25ХГМ, 18Х2Н4ВА и др. Термическая обработка после нитроцементации — закалка с низким отпуском.

Поверхностное упрочнение деталей машин может быть достигнуто и путем поверхностной индукционной закалки. При этом используют стали с пониженной (ПП) или регламентированной (РП) прокаливаемостью, имеющие прокаливаемость более низкую по сравнению со стан­дартными конструкционными сталями с таким же содержанием углерода. При этом после закалки получают мартенситную зону заданной глубины (даже при интенсивном охлаждении) с сохранением пластич­ной вязкой сердцевины. Стали с пониженной и регламентированной прокаливаемостью имеют повышенное содержание углерода (0,5 - 1,0 %) для получения достаточного уровня твердости закаленного поверхност­ного слоя, обеспечивающего высокую износостойкость и контактную вы­носливость, меньшее содержание и разброс легирующих элементов (марганец, хром, кремний и др.), содержат модифицирующие элементы (алюминий, титан, ванадий, цирконий, ниобий), обеспечивающие полу­чение наследственно мелкого зерна аустенита (К. 3. Шепеляковскии и др). Примером такой стали может служить сталь 55ПП (0,55— 0,63 ***%*** С; 0,1—0,3 % Si; ≤0,1 % Ti; ∑Mn, Cr, Ni, Cu≤0,5 %).

**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.