

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего
образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный
исследовательский университет)»
Заочный факультет Политехнического института
Кафедра «Материаловедения и физикохимии материалов»

РАБОТА ПРОВЕРЕНА

Рецензент

_____ 2019г.

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой

Г.Г. Михайлов

_____ 2019г.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА
ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ АВИАЦИОННЫХ ТОРМОЗНЫХ ДИСКОВ

ПОЯНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ (ПРОЕКТУ)
ЮУрГУ–22.04.02.2019.235 ПЗ ВКР

Руководитель проекта
профессор, д.т.н
Ю.Д. Корягин

_____ 2019г.

Автор проекта
студентка группы ПЗ-343 м
Е.К. Григоревская

_____ 2019г.

Нормоконтролер
профессор, д.т.н
Ю.Д. Корягин

_____ 2019г.

Челябинск 2019

АННОТАЦИЯ

Григоревская Е.К. Совершенствование технологического процесса термической обработки авиационных тормозных дисков. – Челябинск: ЮУрГУ, ПЗ; 2019, 64 с., 15 ил. библиогр. список – 19 наим., 1 лист чертежей ф. А1, 2 листа чертежей ф. А2

Магистерская диссертация выполнена с целью оптимизации технологического процесса термической обработки тормозных дисков для самолетов.

В работе проанализирована информация из литературных источников и химическом составе, механических свойствах, термической обработке материалов, из которых изготавливаются тормозные диски.

В настоящее время тормозные диски изготавливаются из среднелегированной конструкционной стали 30 ХГСА, в работе предложено заменить сталь 30ХГСА на титановый сплав ВТ14 и осуществлять закалку в закалочных прессах.

ВВЕДЕНИЕ

В наше время уделяется большое внимание сокращению используемых ресурсов, оптимизации производства, упрощению технологических процессов без потери качества продукции. Выполнение этих требований осуществляется за счет изменения методов, материалов, оборудования для изготовления той или иной детали. Работа посвящена актуальной теме - совершенствованию процесса термической обработки авиационных тормозных дисков.

Задачи работы:

1. Рассмотреть принципы и условия работы тормозных дисков;
2. Изучить химический состав, механические свойства, характеристики представленных материалов;
3. Выбрать оборудование для термической обработки

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1 ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.....	7
1.1 Анализ условий работы авиационных тормозных дисков.....	7
1.2 Выбор и обоснование стали.....	9
1.3 Контроль качества и анализ возможного брака.....	14
2 ОПИСАНИЕ И РАСЧЕТ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДИСКОВ ИЗ СТАЛИ 30ХГСА.....	16
2.1 Выбор и описание оборудования.....	16
2.2 Расчет времени нагрева изделия при термической обработке...	16
2.3 Тепловой расчет печи.....	20
2.4 Тепловой баланс и мощность электрической печи периодического действия.....	27
2.5 Расчёт электрических нагревателей	29
3 ВТ14: ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ, МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА, ТЕРМООБРАБОТКА, ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ.....	32
4 ПЛАНИРОВКА УЧАСТКА.....	44
4.1 Выбор, описание основного оборудования.....	44
4.2 Выбор и описание вспомогательного оборудования.....	45
4.3 Расчет необходимого количества основного, вспомогательного и дополнительного оборудования.....	46
5 СТРОИТЕЛЬНАЯ ЧАСТЬ.....	48
5.1 Разработка плана расположения оборудования.....	48
5.2 Расчет площадей и описание основных элементов здания.....	50
6 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ И ОХРАНА ТРУДА... ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	52 60
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	61

1 ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

1.1 Анализ условий работы авиационных тормозных дисков

Тормозной диск (представленный на рисунке 1) - основной элемент тормозной системы. Предоставляет фрикционную поверхность для тормозных колодок. При торможении колодки прижимаются к диску и за счёт силы трения останавливают его вращение. По принципу сохранения энергии, согласно которому энергия видоизменяется, а не исчезает бесследно, кинетическая энергия вращающегося диска переходит в тепловую энергию, и тормозной диск нагревается.



Рисунок 1 – Тормозной диск [18]

Тормозные устройства колес бывают колодочные, дисковые, камерные с гидравлическими, электрическими, воздушными и механическими приводами.

Дисковые тормоза на самолета применяют чаще других, так как они обладают большим тормозным эффектом при одном и том же размере колеса, по сравнению с колодочными и камерными, более надежны и обеспечивают плавное торможение.

Колеса с дисковыми тормозными устройствами тормозятся трением между неподвижными дисками, закрепленными на корпусе тормоза, и дисками подвижными, вращающимися вместе с колесом, с которым эти диски сцеплены и могут перемещаться в направлении оси ступицы колеса.

Наиболее распространены в наше время (и наиболее эффективны) многодисковые тормоза самолета. Такие устройства сейчас используются практически на всех современных гражданских лайнерах и военных самолетах.

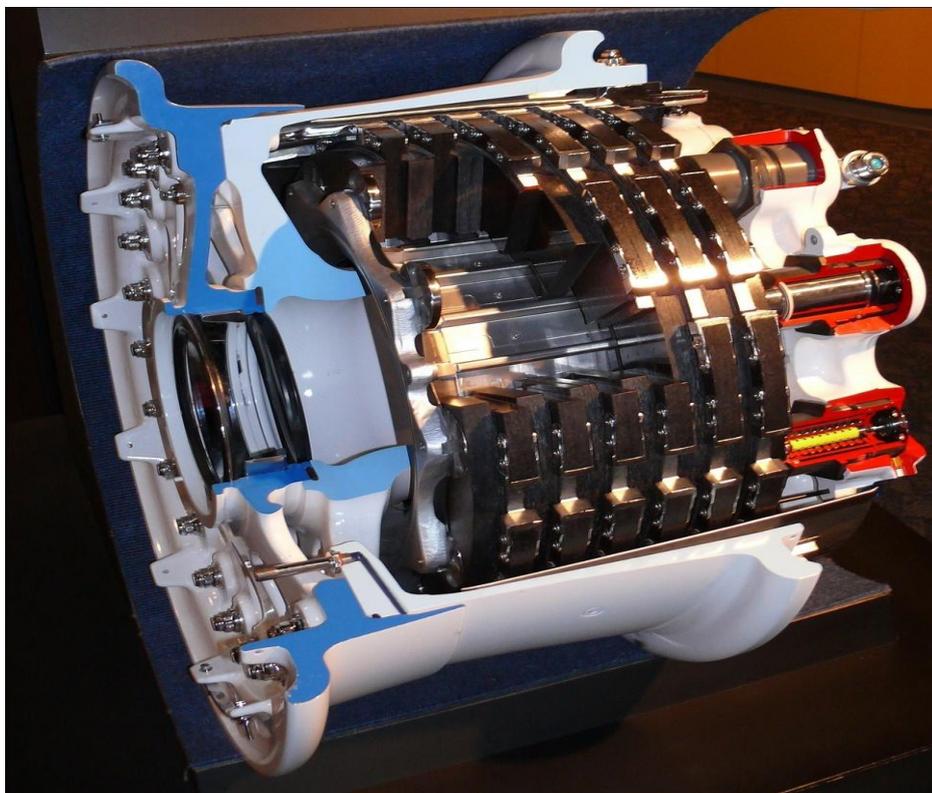


Рисунок 2 – Многодисковый тормоз самолета [18]

Многодисковый тормоз представляет собой пакет, состоящий из нескольких тормозных дисков. Часть из них вращаются вместе с колесом, часть неподвижны в плоскости вращения. Они расположены друг за другом через один. Вращающиеся диски имеют специальные выступы, а в корпусе колеса сделаны прорези для этих выступов (для совместного вращения) [18].

Все диски имеют возможность в некоторой степени перемещаться в осевом направлении (можно сказать на оси колеса вдоль нее), и при выключенном тормозе между ними имеется зазор. При этом колесо (вместе с вращающимися дисками) имеет возможность свободно поворачиваться на своей оси.

При введении тормоза в действие, специальные поршни с гидравлическим (или пневматическим) управлением сжимают все эти диски в

один пакет. Из-за больших сил трения, возникающих при сжатии вращающихся и невращающихся дисков, возникает тормозной момент. При отключении тормоза пружинные механизмы возвращают поршни в исходное положение.

Дисковые тормоза создают большое тормозное усилие и очень энергоемки. Однако, именно из-за последнего их большим недостатком является то, что они при неоднократном торможении довольно быстро нагреваются и своевременный отвод тепла от них затруднен. Поток тепла может быть очень большим, и оно отрицательно влияет на элементы тормозного механизма, на корпус колеса и на его резиновую шину (пневматик).

Исходя из вышесказанного, можно сделать вывод, что авиационные тормозные диски должны отвечать следующим требованиям:

- 1) Должны быть легкими, прочными;
- 2) Жаростойкими, учитывая температуру работы;
- 3) Устойчивы к трению и др.

1.2 Выбор и обоснование стали

Чтобы определить целесообразность и экономическую эффективность использования той или иной стали или сплава, необходимо разобрать их химический состав, механические свойства и другие характеристики, влияющие на работу выбранной детали.

Рассмотрим среднелегированную сталь 30ХГСА. Ее химический состав приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Химический состав стали 30ХГСА

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu
0.28 - 0.34	0.9 - 1.2	0.8 - 1.1	до 0.3	до 0.025	до 0.025	0.8 - 1.1	до 0.3

30 — значение содержания углерода (до 0,34%). Он способствует повышению твердости и прочности, но скажется на пластичности и

свариваемости. Содержание хрома около 1% - для повышения закаливается, коррозионной стойкости и жаропрочности сплавов. Наблюдается положительная динамика относительно сопротивления абразивному износу. Марганец (не более 1,1%). Легирование марганцем производится для удаления вредных серовых и кислородных примесей. Минимизация появления сколов и трещин в процессе работы. Поверхности становятся более качественными. Металл обретает пластичность, его легко сваривать. Кремний - сильный раскислитель, наряду с марганцем. Увеличивает пластичность, не влияя при этом на показатель прочности. Материал становится восприимчивым к действию высоких температур. А — расшифровка улучшения. Значит, сталь закалили, применяя метод высокого отпуска. Главная особенность заковки состоит в том, что металл быстро нагревают, пока температура не достигнет 870 градусов Цельсия, а потом резко охлаждают в обычной воде либо масляном растворе. Таким путем достигают значительного преобразования внутренней структуры, что повышает механические характеристики полученного сплава примерно в 2,9 раза. Закалочное напряжение снимает высокий отпуск: нагрев до 560 градусов. Вместе со снятием напряжения происходит увеличение такого свойства, как упругость. Сера и фосфор (до 0,25%) - элементы из категории «вредные примеси». Их молекулы значительно больше от всех вышеперечисленных компонентов. При прохождении в кристаллическую сетку, они уменьшают устойчивость стали, что приведет к снижению устойчивости всего сплава.

Одним из важных факторов при выборе стали являются механические свойства, в зависимости от диаметра образца (см. таблицу 2).

Таблица 2 - Механические свойства,
в зависимости от диаметра образца [14]

Диаметр образца, мм	Состояние материала	$\sigma_{\text{плц}}$	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_{\text{в}}$	$S_{\text{к}}$	Ψ %
		Кгс/мм ²				

5	Закаленный и отпущенный при 600 °С , 2 часа	79	81	93	164	62
10		69	75	88	156	63
20		66	75	91	151	58
5	Закаленный (изотермическая закалка в селитровой ванне) при 320 °С	42	84	422	252	52
10		36	78	121	20	50
20		34	74	119	195	46

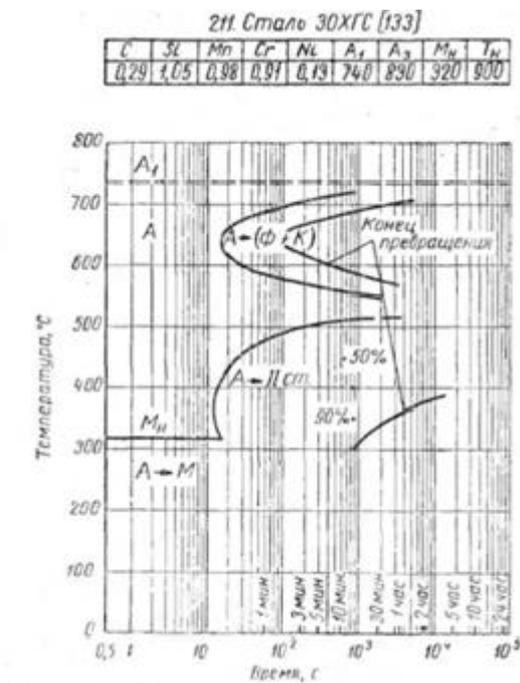


Рисунок 3 – диаграмма распада
переохлажденного аустенита стали 30 ХГСА [12]

Сталь 30ХГСА, характеристики которой свойственны многим среднелегированным сталям, получила широкое применение. Расширенную область применения можно связать с следующими качествами:

1. При проведении инженерных расчетов учитывается плотность стали 30ХГСА, которая составляет 7850 кг/м^3 . Стоит учитывать, что подобный

показатель может варьировать в большом диапазоне в зависимости от температуры окружающей среды.

2. Температура плавления составляет 1500 °С. Этот показатель определяет сложности, которые возникают при литье, а также высокую устойчивость к воздействию температуры.

3. Высокая прочность и устойчивость к ударной нагрузке также определяют широкое распространение стали. Структура разрушается только при воздействии ударной нагрузки 980 Мпа.

Сталь 30ХГСА может применяться при создании различных изделий и конструкций. При выборе этого металла следует учитывать:

1. Коррозионная стойкость низкая. При длительном воздействии высокой влажности на поверхности может появиться коррозия. Это качество следует учитывать при выборе легированной стали. В некоторых случаях коррозионная стойкость повышается за счет нанесения на поверхность гальванического покрытия, которое состоит из цинка и хрома. Для получения подобной поверхности применяется метод электролиза. Однако, создаваемый поверхностный слой характеризуется низкой устойчивостью к механическому воздействию – после повреждения незамедлительно появится коррозия.

2. Высокая пластичность, так как относительное удлинение составляет 11%. Она также существенно расширяет область применения металла, так как многие детали должны выдерживать переменную нагрузку.

3. Материал характеризуется высокой устойчивостью к переменным нагрузкам. Предел выносливости при испытании может варьироваться в зависимости от температуры окружающей среды.

4. Показатель твердости по шкале Роквелла составляет 50 единиц.

5. Механические свойства не изменяются при температуре до 400 °С. Эксплуатация при более высокой температуре не допускается, так как это приведет к повышению пластичности и снижению твердости поверхности.

6. Сталь 30ХГСА, термообработка которой проводится для повышения твердости и снижения хрупкости, характеризуется пластичностью. Именно поэтому она может применяться при ковке или штамповке.

7. Отличная упругость позволяет проводить обработку заготовок резанием. Именно поэтому заготовки поставляются для зенкерования, фрезерования или точения.

Для повышения производительности часто проводится отжиг. Рассматриваемая марка среднелегированных сталей относится ко второй группе по степени свариваемости. Именно поэтому рекомендуется проводить предварительный подогрев структуры, что снижает вероятность образования структурных трещин. Для обеспечения наиболее благоприятных условий зачастую заготовки нагревают до температуры 250 °С.

Для улучшения эксплуатационных характеристик получаемых изделий проводится следующая термическая обработка:

Предварительная термическая обработка включает в себя неполный отжиг при 780 °С, охлаждение деталей тонких сечений в печи до 650 °С, далее на воздухе, деталей толстых сечений – на воздухе; высокий отжиг при 900 °С, охлаждение в печи до 650 °С, далее на воздухе, изотермический отжиг – нагрев до 900 °С, перенос в печь с температурой 650 °С, выдержка 15-20 минут, охлаждение на воздухе.

Окончательная термическая обработка: нормализация с 900 °С, закалка с 900 °С в масле и отпуск при температуре, обеспечивающей требуемую прочность (см. таблицу 3).

Таблица 3 – Прочность стали в зависимости от температуры отпуска [14]

Температура отпуска	660-680	620-640	580-600	540-560	520-540	480-500
σ_B , кгс/мм ²	70-90	80-110	90-110	100-120	110-130	120-140

Максимальная толщина деталей, подвергаемых закалке в масле и отпуску, составляет 25 мм (цилиндры) и 15 мм (пластины).

При обработке на $\sigma_B=110-145$ кгс/мм² может применяться изотермическая закалка в горячей селитровой ванне. Максимальная толщина деталей при этом составляет: цилиндра -15 мм, пластины – 8 мм.

При обработке деталей различной толщины на $\sigma_B=110-145$ кгс/мм², рекомендуются следующие температуры закалочных ванн (таблица 4):

Таблица 4 – Температура закалочной ванны [14]

Условная толщина деталей, мм	Температура закалочной ванны, °С
До 4	400
4,1-8,0	390
8,1-10,0	380
10,1-15,0	370

Время выдержки в ванне 15-20 минут, охлаждение в проточной воде.

1.3 Контроль качества и анализ возможного брака

При проведении термической обработки возможно появление следующих видов брака[4]:

1) Недогрев – получается в случае, если температура нагрева ниже требуемой или выдержка недостаточна. При недогреве снижаются пластические свойства. Исправить недогретую деталь можно повторной обработкой при нормальной температуре.

2) Перегрев - значительное превышении температуры нагрева. Перегрев приводит к росту зерна, а при сильном перегреве образуется структура, характеризующаяся пластинчатой формой ферритных участков, расположенных под углом друг к другу с образованием треугольников и низкими свойствами, особенно ударной вязкостью. Исправить перегрев можно проведением отжига.

3) Неудовлетворительная твердость – несоответствие нормам твердости является одним из основных видов брака. Если твердость выше – необходимо применить повторный отжиг, учитывая равномерный прогрев металла. При

твердости ниже требуемой – необходимо применить нормализацию с кратковременным отжигом.

4) Пережог – неисправимый брак, вызванный чрезмерно высокой температурой или большой выдержкой в окислительной атмосфере. Такой пережог вызван проникновением кислорода по границам зерен насквозь через все сечение изделия и образованием окислов на межзеренных границах: показатели при этом могут упасть до нуля.

2 ВЫБОР, ОПИСАНИЕ И РАСЧЕТ ОБОРУДОВАНИЯ

2.1 Выбор и описание оборудования

Детали из стали 30 ХГСА подвергались следующей технологии термической обработки: закалка 900 °С и отпуск при температуре 550 °С.

Печь для термической обработки выбрана как камерная, СНО 7.11.7/13 с размерами внутренней части печи 700x1100x700 мм с температурой эксплуатации до 1300 °С, мощностью 40 кВт. Закалка в закалочном баке, для закалки принимается вода. Футеровка печи состоит из двух слоев – шамот класса Б, шамот легковес ШЛ-0,4.

Отпуск проводится в печи аналогичной, как для закалки, СНО 7.11.7/13, размеры внутренней части печи 700x1100x700мм, температура эксплуатации до 1300°С. Дальнейшее охлаждение в воде.

Ниже представлен расчет времени нагрева под закалку для ванной печи, рассчитан тепловой баланс.

2.2 Расчет времени нагрева изделий при термической обработке

Температура печи выбирается как температура закалки плюс 50 °С: 950°С.

Относительная температура равна:

$$\theta = \frac{t_{\text{п}} - t_{\text{пов}}}{t_{\text{п}} - t_0} = \frac{950 - 860}{950 - 25} = 0.054 \quad (1)$$

Для определения числа Bi , которое необходимо для определения массивности изделия, необходимо воспользоваться формулой:

$$Bi = \frac{\alpha * S}{\lambda} \quad (2)$$

Если коэффициент $Bi > 0.25$, то расчет проводят для массивных изделий, при $Bi < 0,25$ – для тонких изделий.

Коэффициент теплоотдачи α характеризует интенсивность теплообмена между поверхностью детали и окружающей средой. Его можно определить, как сумму коэффициентов теплоотдачи лучистое и конвективное:

$$\alpha = \alpha_{\text{л}} + \alpha_{\text{к}} \quad (3)$$

Коэффициент теплоотдачи конвективное принимается равным 10 Вт/(м²*К). Коэффициент теплоотдачи лучистое в общем случае определяется по формуле:

$$\alpha_L = C_{\text{Пр}} * \frac{\left[\left(\frac{T_{\text{п}}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{\text{мсп}}}{100} \right)^4 \right]}{T_{\text{п}} - T_{\text{мсп}}} \quad (4)$$

Где $T_{\text{п}}$ и $T_{\text{мсп}}$ - текущие значения температур печи и средняя температура нагрева металла соответственно, К; $C_{\text{Пр}}$ - приведенный коэффициент излучения, Вт/(м²*К).

$$T_{\text{мсп}} = \frac{1}{3} * (t_{\text{МН}} + 2 * t_{\text{МК}}) + 273 = \frac{1}{3} * (25 + 2 * 900) + 273 = 881 \text{ К} \quad (5)$$

$$C_{\text{Пр}} = \frac{C_0}{\frac{1}{\varepsilon_{\text{М}}} + \frac{F_{\text{М}}}{F_{\text{П}}} \left(\frac{1}{\varepsilon_{\text{П}}} - 1 \right)} = \frac{5,67}{0,85 + \frac{0,15112}{4,06} * \left(\frac{1}{0,9} - 1 \right)} = 4,8 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 * \text{К}} \quad (6)$$

где $C_0=5,67$ Вт/(м²*К) – константа излучения абсолютно черного металла, $\varepsilon_{\text{М}}$ - степень черноты металла, $\varepsilon_{\text{П}}$ -степень черноты кладки печи, $F_{\text{М}}$ – тепловоспринимающая поверхность нагреваемого металла, м², $F_{\text{П}}$ поверхность нагревательной камеры печи, м².

$$\alpha_L = C_{\text{Пр}} \frac{\left[\left(\frac{T_{\text{п}}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{\text{мсп}}}{100} \right)^4 \right]}{T_{\text{п}} - T_{\text{мсп}}} = 4,8 \frac{\left[\left(\frac{1223}{100} \right)^4 - \left(\frac{881}{100} \right)^4 \right]}{1223 - 881} = 229 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 * \text{К}} \quad (7)$$

$$\alpha = \alpha_L + \alpha_{\text{К}} = 229 + 10 = 239 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 * \text{К}} \quad (8)$$

Коэффициент теплопроводности λ , Вт/(м*К), характеризующий способность тела проводить теплоту, зависит от природы вещества, его

структуры и др. Для расчета используем средний коэффициент теплопроводности между 20 и 800 °С.

$$\lambda = \frac{\lambda_{800} + \lambda_{20}}{2} = \frac{38 + 30}{2} = 34 \frac{\text{Вт}}{\text{м} * \text{град}(\text{К или } ^\circ\text{C})} \quad (9)$$

Число Bi будет равно:

$$Bi = \frac{\alpha * S}{\lambda} = \frac{239 * 0,277}{34} = 1,947 \quad (10)$$

Число Bi является отношением внутреннего термического сопротивления к внешнему, т.е. показывает величину перепада температуры по толщине изделия. Расчет будем производить по формуле для массивных изделий.

$$\tau = \frac{G * c}{\alpha F \varphi} 2,3lg \frac{t_{\text{п}} - t_{\text{мн}}}{t_{\text{п}} - t_{\text{мк}}}$$

c – теплоемкость материала равная 0,562 кДж/(Кг*К), где τ – время нагрева, с;

$$\tau = \frac{5,68 * 562}{239 * 0,15112 * 0,6426} 2,3lg \frac{950 - 25}{950 - 900} = 400 \text{ с} = 0,11 \text{ часа} \quad (12)$$

Примем, что $t_{\text{п}}$ – температура поверхности, тогда $t_{\text{пов}}$ будет равна температуре внутри металла:

$$t_{\text{пов(внутри материала)}} = t_{\text{п}} - \theta * (t_{\text{п}} - t_0) \quad (13)$$

$$t_{\text{пов(внутри материала)}} = 1223 - 0,054 * (223 - 298) = 1173 \text{ К} \quad (14)$$

или 900 °С.

2.3 Тепловой расчет электрической печи периодического действия

Тепловой расчет печи сводится к составлению теплового баланса, который показывает приход и расход тепла. Тепловой баланс составляется для определения технических и экономических показателей эффективности ее работы. Для электрических печей учитываются только расходные статьи теплового баланса.

2.3.1 Тепло, расходуемое на нагрев металла

Тепло, расходуемое на нагрев металла можно рассчитать по следующей формуле:

$$Q_M = \frac{G}{\tau} \cdot c \cdot (t_{MK} - t_{MH}) \quad (15)$$

где G – масса изделия, кг;

τ_H – время нагрева изделия в печи ($\tau_H = 400$ с)

c_M – средняя теплоемкость стали в интервале температур от τ_H до τ_K ;

$c_M = 562$ Дж/кг·К;

t_{MH} – начальная температура металла, $t_{MH} = 25$ °С;

t_{MK} – конечная температура нагрева металла, $t_{MK} = 900$ °С;

$$Q_M = \frac{5,68}{400} 562 \cdot (950 - 25) = 7381,87 \text{ Вт}$$

2.3.2 Тепло, теряемое вследствие теплопроводности кладки печи

Тепло, теряемое вследствие теплопроводности кладки печи можно рассчитать по формуле:

$$Q_{KL} = 2 \cdot Q_{\text{бок.ст.}} + 2 \cdot Q_{\text{торц.ст.}} + Q_{\text{свод}} + Q_{\text{под}} \quad (16)$$

Потери тепла в результате теплопроводности через стены печи, свод и под можно рассчитать по формуле:

$$Q = \frac{t_n - t_o}{\frac{S_1}{\lambda_1 F_1} + \frac{S_2}{\lambda_2 F_2} + \dots + \frac{S_n}{\lambda_n F_n} + \frac{1}{\alpha_v F_{\text{нар}}}}, \text{ Вт} \quad (17)$$

где t_n – температура рабочего пространства печи, $t_n = 1120$ °С;

t_o – температура окружающего воздуха, $t_o = 20$ °С;

S_1, S_2, \dots, S_n – толщина отдельных слоев кладки, м;

$\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ – коэффициенты теплопроводности слоев кладки, Вт/(м·К);

F_1, F_2, \dots, F_n – средние расчетные поверхности слоев кладки, м²·;

α_v – коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности кладки печи в окружающую среду, $\alpha_v = 12$ Вт/(м²·К);

$F_{\text{нар}}$ – наружная поверхность кладки, м²·.

Средние расчетные поверхности слоев кладки рассчитываются по формулам:

$$F_1 = \sqrt{F_{вн} \cdot F_{1,2}}$$

$$F_2 = \sqrt{F_{1,2} \cdot F_{нар}}$$

где $F_{вн}$ – внутренняя поверхность кладки, m^2 ;

$F_{1,2}$ – поверхность между первым и вторым слоями кладки, m^2 .

Размеры слоев кладки печи представлены в таблице 5.

Таблица 5 – размеры слоев кладки печи

Длина, мм	Ширина, мм	Высота, мм
$L_{вн}=700$	$B_{вн}=1100$	$H_{вн}=700$
$L_{1,2}=1200$	$B_{1,2}=1600$	$H_{1,2}=1200$
$L_{нар}=1700$	$B_{нар}=2100$	$H_{нар}=1700$

Расчет боковых стенок

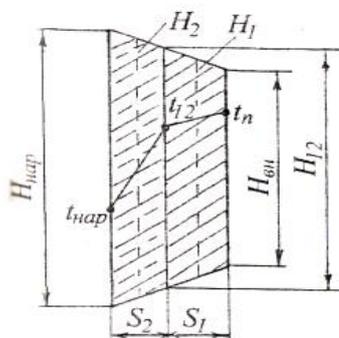


Рисунок 4 - Эскиз боковых стенок печи [8]

Боковые стенки печи состоят из двух слоев: огнеупорного материала – шамот класса Б, толщиной $S1=250$ мм; шамот легковес ШЛ-0,4, толщиной $S2=250$ мм.

Используя данные, приведенные в таблице 6, находятся площади боковых стенок:

$$F_{вн} = H_{вн} \cdot L_{вн} = 0,7 \cdot 0,7 = 0,49 m^2; \quad (18)$$

$$F_{1,2} = H_{1,2} \cdot L_{1,2} = 1,2 \cdot 1,2 = 1,44 m^2; \quad (19)$$

$$F_{нар} = H_{нар} \cdot L_{нар} = 1,7 \cdot 1,7 = 2,89 m^2. \quad (20)$$

Средние площади слоев:

$$F_1 = \sqrt{0,49 \cdot 1,44} = 0,84 \text{ м}^2;$$

$$F_2 = \sqrt{1,44 \cdot 2,89} = 2,04 \text{ м}^2;$$

$$\lambda_1 = 0,923 + 0,438 \cdot 10^{-3} t, \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$$

$$\lambda_2 = 0,1 + 0,286 \cdot 10^{-3} t, \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$$

Зададимся температурами между слоями футеровки и наружной поверхности кладки соответственно равными $t_{1,2} = 700^\circ\text{C}$, $t_{нар} = 60^\circ\text{C}$, тогда:

$$t_1 = \frac{t_n + t_{1,2}}{2} = \frac{950 + 700}{2} = 825^\circ\text{C}; \quad (21)$$

$$t_2 = \frac{t_{1,2} + t_{нар}}{2} = \frac{700 + 60}{2} = 380^\circ\text{C}$$

Значения коэффициентов теплопроводности:

$$\lambda_1 = 0,923 + 0,438 \cdot 10^{-3} \cdot 825 = 1,28435 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$$

$$\lambda_2 = 0,1 + 0,286 \cdot 10^{-3} \cdot 380 = 0,20868 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$$

$$Q_{бок.ст.} = \frac{950 - 25}{\frac{0,25}{1,28435 \cdot 0,84} + \frac{0,25}{0,20868 \cdot 2,04} + \frac{1}{12 \cdot 2,89}} = 1091,03 \text{ Вт}$$

Проверка:

$$R_1 = \frac{S_1}{\lambda_1 \cdot F_1} = \frac{0,25}{1,28435 \cdot 0,84} = 0,23173^\circ\text{C}/\text{Вт}; \quad (22)$$

$$R_2 = \frac{S_2}{\lambda_2 \cdot F_2} = \frac{0,25}{0,20868 \cdot 2,04} = 0,58726^\circ\text{C}/\text{Вт}; \quad (23)$$

где R_1, R_2 – тепловые сопротивления слоев кладки; $^\circ\text{C}/\text{Вт}$.

$$t_{1,2} = t_n - Q_{бок.ст.} \cdot R_1 = 950 - 1091,03 \cdot 0,23173 = 697,21^\circ\text{C}; \quad (24)$$

$$t_{нар} = t_n - Q_{бок.ст.} \cdot (R_1 + R_2) = 950 - 1091,03 \cdot (0,23173 + 0,58726) = 56,58^\circ\text{C} \quad (25)$$

Полученные в результате проверки температуры отличаются от выбранных не более чем на 10 °С, расчет произведен правильно.

Расчет торцевых стенок.

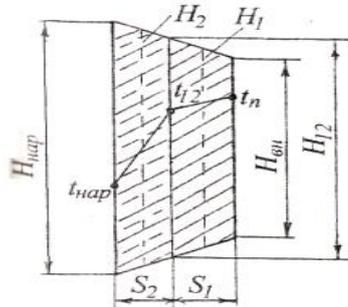


Рисунок 5 - Эскиз торцевых стенок печи [8]

Количество слоев, их состав торцевых стенок такие же, как у боковых стенок, толщина стенок $S_1=250\text{мм}$ и $S_2=250\text{мм}$.

Используя данные, приведенные в таблице 5, находятся площади торцевых стенок:

$$F_{\text{вн}} = H_{\text{вн}} \cdot B_{\text{вн}} = 0,7 \cdot 1,1 = 0,77 \text{ м}^2; \quad (26)$$

$$F_{1,2} = H_{1,2} \cdot B_{1,2} = 1,2 \cdot 1,6 = 1,92 \text{ м}^2; \quad (27)$$

$$F_{\text{нар}} = H_{\text{нар}} \cdot B_{\text{нар}} = 1,7 \cdot 2,1 = 3,57 \text{ м}^2; \quad (28)$$

Рассчитываются средние площади слоев:

$$F_1 = \sqrt{0,77 \cdot 1,92} = 1,2158 \text{ м}^2;$$

$$F_2 = \sqrt{1,92 \cdot 3,57} = 2,618 \text{ м}^2$$

Коэффициенты теплопроводности для шамота класса Б, толщиной $S_1=250\text{ мм}$ и шамота легковеса ШЛ-0,4, толщиной $S_2=250\text{ мм}$ соответственно:

$$\lambda_1 = 0,923 + 0,438 \cdot 10^{-3} t, \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{°C})$$

$$\lambda_2 = 0,1 + 0,286 \cdot 10^{-3} t, \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{°C})$$

Зададимся температурами между слоями футеровки и наружной поверхности кладки соответственно равными $t_{1,2} = 710\text{°C}$, $t_{\text{нар}} = 55\text{°C}$, тогда:

$$t_1 = \frac{t_n + t_{1,2}}{2} = \frac{950 + 710}{2} = 830^\circ\text{C}$$

$$t_2 = \frac{t_{1,2} + t_{нар}}{2} = \frac{710 + 55}{2} = 382,5^\circ\text{C}.$$

Значения коэффициентов теплопроводности:

$$\lambda_1 = 0,923 + 0,438 \cdot 10^{-3} \cdot 830 = 1,28654 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$$

$$\lambda_2 = 0,1 + 0,286 \cdot 10^{-3} \cdot 382,5 = 0,2093 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$$

$$Q_{торц.ст.} = \frac{950 - 50}{\frac{0,25}{1,28654 \cdot 1,2158} + \frac{0,25}{0,2093 \cdot 2,618} + \frac{1}{12 \cdot 3,57}} = 1446 \text{ Вт}.$$

Проверка:

$$R_1 = \frac{S_1}{\lambda_1 \cdot F_1} = 0,1598^\circ\text{C}/\text{Вт};$$

$$R_2 = \frac{S_2}{\lambda_2 \cdot F_2} = 0,4562^\circ\text{C}/\text{Вт};$$

$$t_{1,2} = t_n - Q_{торц.ст.} \cdot R_1 = 718,9^\circ\text{C};$$

$$t_{нар} = t_n - Q_{торц.ст.} \cdot (R_1 + R_2) = 59,2^\circ\text{C};$$

Результаты расчета удовлетворительны.

Расчет свода

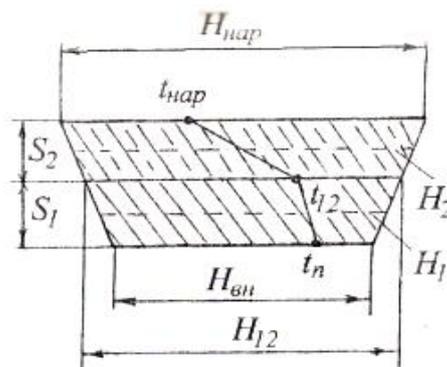


Рисунок 6 - Эскиз свода печи [8]

Используя данные, приведенные в таблице 5, находятся площади свода:

$$F_{вн} = B_{вн} \cdot L_{вн} = 1,1 \cdot 0,7 = 0,77 \text{ м}^2; \quad (29)$$

$$F_{1,2} = B_{1,2} \cdot L_{1,2} = 1,6 \cdot 1,2 = 1,92 \text{ м}^2; \quad (30)$$

$$F_{нар} = B_{нар} \cdot L_{нар} = 2,1 \cdot 1,7 = 3,57 \text{ м}^2; \quad (31)$$

Рассчитаем средние площади слоев:

$$F_1 = \sqrt{0,77 \cdot 1,92} = 1,21589 \text{ м}^2;$$

$$F_2 = \sqrt{1,92 \cdot 3,57} = 2,618 \text{ м}^2$$

Коэффициенты теплопроводности для шамота класса Б, толщиной $S_1=250$ мм и шамота легковеса ШЛ-0,4, толщиной $S_2=250$ мм соответственно:

$$\lambda_1 = 0,923 + 0,438 \cdot 10^{-3} t, \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$$

$$\lambda_2 = 0,1 + 0,286 \cdot 10^{-3} t, \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$$

Зададимся температурами между слоями футеровки и наружной поверхности кладки соответственно равными $t_{1,2} = 720^\circ\text{C}$, $t_{нар} = 60^\circ\text{C}$ тогда:

$$t_1 = \frac{t_n + t_{1,2}}{2} = \frac{950 + 720}{2} = 835^\circ\text{C}$$

$$t_2 = \frac{t_{1,2} + t_{нар}}{2} = 390^\circ\text{C}.$$

$$\lambda_1 = 1,28873 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$$

$$\lambda_2 = 0,21154 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$$

$$Q_{свода} = \frac{950 - 25}{\frac{0,25}{1,28873 \cdot 1,21589} + \frac{0,25}{0,21154 \cdot 2,61809} + \frac{1}{12 \cdot 3,57}} =$$

$$= 1458,33 \text{ Вт}.$$

Проверка:

$$R_1 = 0,15954^\circ\text{C}/\text{Вт};$$

$$R_2 = 0,4514^\circ\text{C}/\text{Вт};$$

$$t_{1,2} = 717,332^{\circ}\text{C};$$

$$t_{нар} = 59,0412^{\circ}\text{C};$$

Результаты расчета удовлетворительны.

Расчет пода.

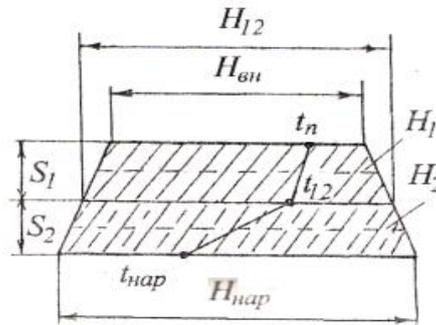


Рисунок 7 - Эскиз пода печи [8]

Под состоит из двух слоев того же материала толщиной $S_1=250\text{мм}$ и $S_2=250\text{мм}$.

$$F_{вн} = B_{вн} \cdot L_{вн} = 1,1 \cdot 0,7 = 0,77 \text{ м}^2; \quad (32)$$

$$F_{1,2} = B_{1,2} \cdot L_{1,2} = 1,6 \cdot 1,2 = 1,92 \text{ м}^2; \quad (33)$$

$$F_{нар} = B_{нар} \cdot L_{нар} = 2,1 \cdot 1,7 = 3,57 \text{ м}^2; \quad (34)$$

Рассчитаем средние площади слоев:

$$F_1 = \sqrt{0,77 \cdot 1,92} = 1,21589 \text{ м}^2;$$

$$F_2 = \sqrt{1,92 \cdot 3,57} = 2,618 \text{ м}^2$$

Зададимся температурами между слоями футеровки и наружной поверхности кладки соответственно равными $t_{нар} = 715^{\circ}\text{C}$, $t_{вн} = 58^{\circ}\text{C}$ тогда:

$$t_1 = \frac{t_n + t_{1,2}}{2} = \frac{950 + 715}{2} = 832,5^{\circ}\text{C}$$

$$t_2 = \frac{t_{1,2} + t_{нар}}{2} = \frac{715 + 58}{2} = 386,5^{\circ}\text{C}.$$

$$\lambda_1 = 1,28764 \text{ Вт} / (\text{м} \cdot \text{К})$$

$$\lambda_2 = 0,21054 \text{ Вт} / (\text{м} \cdot \text{К})$$

$$Q_{свода} = \frac{950 - 25}{\frac{0,25}{1,28873 \cdot 1,21589} + \frac{0,25}{0,21054 \cdot 2,61809} + \frac{1}{12 \cdot 3,57}} =$$

$$= 1453,1 \text{ Вт}.$$

Проверка:

$$R_1 = 0,15968 \text{ } ^\circ\text{C} / \text{Вт};$$

$$R_2 = 0,45355 \text{ } ^\circ\text{C} / \text{Вт};$$

$$t_{1,2} = 717,969 \text{ } ^\circ\text{C}; \quad t_{нар} = 58,9192 \text{ } ^\circ\text{C};$$

Результаты расчета удовлетворительны.

Тепло, теряемое вследствие теплопроводности кладки печи найдем, подставив численные значения потерь тепла в результате теплопроводности через под, свод и стены печи в формулу:

$$Q_{кл} = 2 \cdot 1091,03 + 2 \cdot 1447,16 + 1458,33 + 1453,1 = 7987,81 \text{ Вт}.$$

2.3.4 Потери тепла через открытые загрузочные, разгрузочные окна и другие отверстия в футеровке

Расчет потерь тепла излучением в окружающую среду производится по формуле:

$$Q_{изл} = C_0 \cdot \varepsilon \cdot \varphi \cdot F_{отв} \cdot \left[\left(\frac{T_n}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_в}{100} \right)^4 \right] \cdot \Delta\tau, \text{ Вт}, \quad (35)$$

где $C_0 = 5,67 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}^4}$ - константа излучения абсолютно черного тела

φ - коэффициент диафрагмирования;

$F_{отв}$ - площадь поперечного сечения отверстия, м^2 ;

T_n - температура печи, К;

$T_в$ - температура окружающей среды, К;

ε - степень черноты излучающего тела, $\varepsilon = 0,8$;

$\Delta\tau$ - доля времени, в течение которого открыто окно.

Доля времени определяется:

$$\Delta\tau = \frac{\tau_{\text{откр}}}{\tau_{\text{общ}}} = \frac{20}{400} = 0,05 \quad (36)$$

Исходя из размеров окна загрузки–выгрузки, определяется его площадь:

$$F_{\text{отв}} = H_{\text{отв}} \times B_{\text{отв}} = 0,7 \cdot 0,7 = 0,49 \text{ м}^2 \quad (37)$$

Согласно справочным данным (рисунок 8) коэффициент диафрагмирования принимаем равным $\varphi=0,55$.

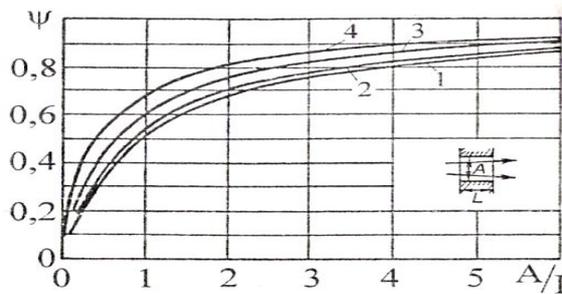


Рисунок 8 - Коэффициент диафрагмирования отверстий [8]

Форма отверстий: 1 – круглое отверстие; 2 – квадратное отверстие; 3 – прямоугольное отверстие при ширине окна $B=2A$ (A – высота, L – глубина окна); 4 – узкая щель высотой A ($B \gg A$).

Подставляем полученные данные в формулу:

$$Q_{\text{изл}} = 5,67 \cdot 0,8 \cdot 0,55 \cdot 0,49 \cdot \left[\left(\frac{1223}{100} \right)^4 - \left(\frac{298}{100} \right)^4 \right] \cdot 0,05 = 1362,61 \text{ Вт}$$

2.3.5 Потери тепла вследствие тепловых коротких замыканий

В большинстве случаев эти потери не могут быть точно учтены и их принимают обычно равными 50...100% от потерь теплоты через стенки, то есть

$$Q_{\text{мкз}} = (0,5 \dots 1,0) \cdot Q_{\text{кл}}, \text{ Вт} \quad (38)$$

$$Q_{\text{мкз}} = 0,5 \cdot 23441,39 = 11720,7 \text{ Вт}.$$

2.4 Тепловой баланс и мощность электрической печи периодического действия

Тепловой баланс приведен в сводной таблице 6.

Таблица 6 – Тепловой баланс камерной электрической печи сопротивления

Статьи прихода	Вт	%	Статьи расхода	Вт	%
Тепло выделяемое электрическими нагревателями при прохождении электрического тока.	16726,1	100	Полезное тепло на нагрев металла	3381,8	20,22
			Потери тепла вследствие теплопроводности кладки печи	7987,8	47,76
			Потери тепла излучением через открытые загрузочные и разгрузочные окна и другие отверстия в футеровке	1362,6	8,15
			Потери тепла вследствие тепловых коротких замыканий	3993,9	23,87
Итого	16726,1	100	Итого	16726,1	100

Тепловая мощность печи и коэффициент полезного действия:

Для электрических печей установленная мощность определяется по формуле:

$$N_{уст} = k \cdot N_{расч}, \text{ Вт} \quad (39)$$

$$N_{уст} = 1.5 \cdot 16726,1 = 25089,15 \text{ Вт}$$

где k – коэффициент запаса мощности, принимаемый в пределах 1.2...1.6;

$N_{расч}$ – общий расход теплоты, Вт.

Обычно коэффициент полезного действия электрических печей 50...80%. КПД для печи определяется по формуле:

$$\eta = \frac{Q_M}{Q_{\text{расх}}} \cdot 100\% \quad (40)$$

где Q_M - полезное тепло, идущее на нагрев металла, Вт;

$Q_{\text{расх}}$ – суммарные затраты тепла печью выбранной конструкции, Вт.

$$\eta = \frac{3381,8}{16726,1} \cdot 100\% = 20\%$$

2.5 Расчет электрических нагревателей

Исходные данные электрической печи:

- 1) Мощность 40 кВт;
- 2) Внутренние размеры: длина 700мм, ширина 1100мм, высота 700мм.

Печь имеет 3 электрические зоны. Мощность одной зоны составит:

$$N_1 = \frac{N_{\text{уст}}}{3} = \frac{40}{3} = 13,3 \text{ кВт}$$

Нагреватели подключены схемой звезда.

Напряжение в сети 380 вольт. Напряжение на нагревателе:

$$U_{\phi} = \frac{U_L}{\sqrt{3}} = \frac{380}{1,73} \approx 220\text{В}$$

Рабочая температура нагревателя равна

$$T_H = T_M + 125 = 900 + 125 = 1025^{\circ}\text{C}$$

Из справочных пособий выбирают материал нагревателя и определяют величину удельного сопротивления. Из приложения учебного пособия выбираем материал нагревателя – хромаль Х27Ю5Т.

Сопротивление нагревателя равно 1,48 мкОм*м.

В идеальном случае допустимая удельная поверхностная нагрузка определяется по формуле:

$$W_{\text{ид}} = C_{\text{пр}} \cdot \left[\left(\frac{T_H}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_M}{100} \right)^4 \right] \cdot 10^{-4}, \frac{\text{Вт}}{\text{см}^2} \quad (41)$$

Где $C_{\text{пр}} = \frac{5,67}{\frac{1}{\varepsilon_M} + \frac{F_M}{F_{\text{СТ}}} \left(\frac{1}{\varepsilon_H} - 1 \right)}$, Вт/(м²·К⁴), ε_H и ε_M – степени черноты

нагревателя и нагреваемого металла соответственно; $F_{\text{СТ}}$ – поверхность стенок печи, на которых размещены нагреватели. Для ε_H и $\varepsilon_M = 0,9$ и $0,85$ и $F_M / F_{\text{СТ}} > 0,8$ принимают $C_{\text{пр}} = 3,9$ Вт/(м²·К⁴).

$$C_{\text{Пр}} = \frac{C_0}{\frac{1}{\varepsilon_M} + \frac{F_M}{F_{\text{П}}} \left(\frac{1}{\varepsilon_{\text{П}}} - 1 \right)} = \frac{5,67}{0,85 + \frac{0,277}{2,31} \cdot \left(\frac{1}{0,9} - 1 \right)} = 4,7 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \quad (42)$$

$$W_{\text{ид}} = 4,7 \cdot \left[\left(\frac{1025 + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{900 + 273}{100} \right)^4 \right] \cdot 10^{-4} = 4,4 \frac{\text{Вт}}{\text{см}^2} \quad (43)$$

Связь реально допустимой удельной поверхностной мощности W_d с идеальной $W_{\text{ид}}$ выражается зависимостью:

$$W_d = W_{\text{ид}} \cdot \alpha_{\text{эф}} \cdot \alpha_{\Gamma} \cdot \alpha_{\text{С}} \cdot \alpha_{\text{Р}} \cdot \alpha_{\text{рол}} \quad (44)$$

Где $\alpha_{\text{эф}}$, α_{Γ} , $\alpha_{\text{С}}$, $\alpha_{\text{Р}}$, $\alpha_{\text{рол}}$ – поправочные коэффициенты;

$\alpha_{\text{эф}}$ – коэффициент эффективности излучения, для проволочной спирали равен 0,32;

α_{Γ} – при шаге $t/d=2,4$, равен 1,18, согласно таблице 3.2 учебного пособия;

$\alpha_{\text{С}}$ – 1,4 – коэффициент, учитывающий зависимость действительной мощности от $C_{\text{пр}}$;

$\alpha_{\text{Р}}$ – коэффициент соотношения тепловоспринимающей и теплоизлучающей поверхностей $F_{\text{СТ}}$, учитывает влияние размеров садки и зависит от отношения $F_M / F_{\text{СТ}}$: $F_M / F_{\text{СТ}} < 0,3$ – нагреватель «не видит» садку и рассчитывать систему нужно «нагреватель-кладка» $\alpha_{\text{Р}}=1$;

$\alpha_{\text{рол}}$ – коэффициент, учитывающий затемнение подовых нагревателей роликами в рольганговых печах; для других печей $\alpha_{\text{рол}}=1$.

Допустимая удельная поверхностная мощность равна:

$$W_d = 4,4 \cdot 0,32 \cdot 1,18 \cdot 1,4 \cdot 1 \cdot 1 = 2,32 \frac{\text{Вт}}{\text{см}^2} \quad (45)$$

Определяем диаметр нагревателей (для круглого сечения):

$$d_n = 34,3 \sqrt[3]{\frac{N_1^2 \cdot \rho_t}{U^2 \cdot W_d}} = 34,3 \sqrt[3]{\frac{13,3^2 \cdot 1,48}{220^2 \cdot 2,32}} \approx 4,5 \text{ мм}$$

Длина проволоки нагревателя:

$$l_n = 0,927 \sqrt[3]{\frac{N_1 \cdot U^2}{\rho_t \cdot W_d^2}} = 0,927 \sqrt[3]{\frac{13,3 \cdot 220^2}{1,48 \cdot 5,3824}} = 40 \text{ м}$$

Расчет завершается проверкой размещения нагревателей на соответствующих стенках печи. Для размещения нагревателей находят их длину в свернутом виде L и площадь, занимаемую ими.

Шаг проволоки равен 8,7 мм при $t/d=2,4$

Диаметр спирали вычисляем по уравнению, используя коэффициент 8

$$D = d_n \cdot 8 = 4,5 \cdot 8 = 36 \text{ мм}$$

$$L_c = l_n \cdot \frac{t}{\pi \cdot D} = \frac{40 \cdot 0,0087}{3,14 \cdot 0,036} = 0,32 \text{ м}$$

Выберем расстояние между центрами спирали:

$$k = D \cdot 1,15 = 41,4 \text{ мм}$$

Высота боковой стенки равна 700 мм

Посчитаем количество смотанной спирали, которую можно расположить на стенке:

$$n = \frac{0,7 \text{ м}}{0,032 \text{ м}} \approx 20 \text{ штук}$$

Длина 20 штук будет зависеть от длины камеры

$$20 \cdot 0,7 \text{ м} = 14 \text{ м}$$

На противоположную боковую стенку и под будет расположено такое же количество спиралей – 20. Умножив 60 шт на длину, получаем максимальное место для расположения нагревателей

$$60 \cdot 0,7 \text{ м} = 42 \text{ м}$$

Длина трех нагревателей будет равна:

$$0,32 \cdot 3 = 0,96 \text{ м}$$

3 СПЛАВ ВТ14: ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ, МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА, ТЕРМООБРАБОТКА, ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ

Чистый титан характеризуется невысокой прочностью, высокой пластичностью и технологичность при обработке давлением, включая холодную штамповку. В связи с невысокой плотностью он обладает преимуществами перед многими материалами по удельным прочностным характеристикам. Титан отличается высокой коррозионной стойкостью во многих агрессивных средах, а так же в естественных средах, в том числе морской воде.

Эффективность применения титана во многих назначениях можно значительно повысить легированием и термической обработкой. [1]

Сплав ВТ14 относится к высокопрочным термически упрочняемым титановым сплавам мартенситного класса, с высокими прочностными и антикоррозионными свойствами. Сплавы этого класса соотносят в себе хорошую прочность и пластичность в отожженном состоянии. Их в большей или меньшей степени можно подвергать упрочняющей термической обработке.

Химический состав его приведен в таблице 7.

Таблица 7 – Химический состав сплава ВТ14, % [15]

Ti	Al	Mo	V	C	Fe	Si	Zr	O	N	H	Прочие примеси
				Не более							
86,6-93,1 (основа)	3,5-6,3	2,5-3,8	0,9-1,9	0,1	0,3	0,15	0,3	0,15	0,05	0,015	0,3

ВТ14- сплав, в основе которого находится титан – до 93 процентов. Он отличается высокими антикоррозийными показателями в агрессивных средах и при механических воздействиях.

Алюминий, как легирующий элемент, значительно повышает ударную вязкость и нейтрализует крайне вредное влияние фосфора. Как и кислород, алюминий повышает точку A_{c3} .

Молибденом легируют для увеличения красностойкости, упругости и предела прочности при растяжении сплава, сопротивления коррозии, так же, он способствует повышению сопротивления окислению металла при нагреве до высоких температур.

Ванадий – особый легирующий элемент, который улучшает комплекс механических свойств титановых сплавов, особенно жаропрочных, повышая их термическую стабильность.

В небольшом количестве встречается содержание в сплаве углерода, железа, азота, водорода, кислорода и др. В таком соотношении кислород, азот и углерод повышают твердость, временное сопротивление и предел текучести, однако при этом значительно уменьшается пластичность, снижается коррозионная стойкость, ухудшаются свариваемость и штампуемость. Поэтому, содержание этих примесей в титане ограничено сотыми, а иногда тысячными долями процента. Аналогичным образом, но в меньшей степени, оказывают влияние на свойства титана железо и кремний. Очень вредная примесь в титане - водород. Присутствуя в весьма незначительном количестве, водород выделяется в виде тонких хрупких пластин гидридной фазы на границах зерен, что значительно охрупчивает титан. За счет легирования существенно повышаются основные эксплуатационные качества материала.

Механические свойства титана в значительно большей степени, чем у других металлов, зависят от скорости приложения нагрузки. Поэтому, механические испытания титана следует проводить при более строго регламентированных и фиксированных условиях, чем испытания других конструкционных материалов.

Ударная вязкость титана существенно возрастает при отжиге в интервале 200— 300°C, заметного изменения других свойств не наблюдается. Наибольшее повышение пластичности титана достигается после закалки с

температур, превышающих температуру полиморфного превращения, и последующего отпуска.

Важной особенностью титана является его способность образовывать твердые растворы с атмосферными газами и водородом. При нагревании титана на воздухе на его поверхности, кроме обычной окалины, образуется слой, состоящий из твердого раствора на основе α -Ti, стабилизированного кислородом, толщина которого зависит от температуры и продолжительности нагрева. Этот слой имеет более высокую температуру превращения, чем основной слой металла, и его образование на поверхности деталей или полуфабрикатов может вызвать хрупкое разрушение.

Титановые сплавы обладают следующими свойствами:

1. Высокая коррозионная стойкость. Недостатком большинства металлов можно назвать то, что при воздействии высокой влажности на поверхности образуется коррозия, которая не только ухудшает внешний вид материала, но и снижает его основные эксплуатационные качества. Титан менее восприимчив к воздействию влажности, чем железо.

2. Хладостойкость. Слишком низкая температура становится причиной того, что механические свойства титановых сплавов существенно снижаются.

3. Титан и титановые сплавы имеют относительно низкую плотность, что существенно снижает вес.

4. Высокая удельная прочность и низкая плотность – характеристики, которые довольно редко сочетаются.

5. Технологичность при обработке давлением определяет то, что сплав применяется часто в качестве заготовки при прессовании или другом виде обработки.

6. Отсутствие реакции на воздействие магнитного поля также назовем причиной, по которой рассматриваемые сплавы получили широкое применение.

7. Эти основные преимущества титановых сплавов определили их достаточно большое распространение в таких сферах, как авиационная и ракетостроительная, а также в сфере изготовления морских судов. Для изготовления деталей авиадвигателей другие металлы не подходят по причине того, что при нагреве до относительно невысоких температур начинают плавиться, за счет чего происходит деформация конструкции. Также увеличения веса элементов становится причиной потери КПД.

В целом можно сказать, что область применения титановых сплавов весьма обширна.

Механические свойства титана в большей степени определяются присутствующими в нем фазами, чем составом сплава. Легирующие элементы частично замещают атомы титана в решетке и тем самым изменяют его свойства. В действительности же, содержание той или иной фазы в сплаве в большей мере зависит от циклов нагревания и охлаждения, чем от такого замещения.

α -фаза, кристаллизующаяся в гексагональной решетке, сравнительно мягка, вязка и пластична, тогда как β -фаза обладает большими твердостью и прочностью, но меньшей пластичностью. Таким образом, изменяя относительное содержание этих фаз, можно изменять механические свойства сплава. Для этого пользуются закалкой, отпуском, непрерывным охлаждением, изотермическим превращением, гомогенизацией и старением.

Наиболее важные факторы, влияющие на разработку технологии и выбор режимов обработки титановых сплавов, следующие. Низкая теплопроводность титана и его сплавов практически в 15 раз ниже, чем у алюминия и его сплавов, и примерно в 5 раз ниже, чем у железа и сталей. Значения теплопроводности, теплоемкости, плотности титана и его сплавов таковы, что их температуропроводность – наиболее важная характеристика многих процессов теплообмена – примерно в 15 раз ниже, чем у алюминиевых сплавов, и в 3,5 раза меньше, чем у сталей. Следствием этого являются значительные перепады температур по сечению слитков и заготовок при

нагреве и возникновение значительных термических напряжений, которые могут приводить к образованию трещин. Это обуславливает ограничение скоростей нагрева, особенно слитков и заготовок большого размера. При неблагоприятном выборе режимов индукционного нагрева слитков возможно даже расплавление подповерхностных слоев и выплескивание жидкого металла при последующей деформации.

В технологическом процессе изготовления изделий необходимо учитывать способность титана и его сплавов поглощать большие количества водорода при нагреве и травлении. Превышение установленных норм содержания водорода в сплаве (на уровне 0,002–0,003 мас. %) может привести к замедленному разрушению конструкций в процессе эксплуатации. В целях уменьшения загрязнения готовых полуфабрикатов водородом предпочтительнее использовать печи с нейтральной атмосферой, индукционного или контактного нагрева, печи сопротивления.

Характер термообработки выбирают исходя из требуемых свойств, однако продолжительность операции и температура будут в этом случае определяться составом сплава. Термообработке не поддаются только нелегированный титан и его двойные сплавы с алюминием.

Таблица 8 – Рекомендуемая термическая обработка [15]

Вид термической обработки	Температура, °С	Выдержка, час	Условия охлаждения
Неполный отжиг	550-650	2-8	На воздухе
Отжиг	740-760	15-60 мин	На воздухе
Закалка	870-910	5-60 мин	В воде
Старение	480-560	8-16	На воздухе
Изотермический отжиг	790-810 + 640-660	15-60 мин 0,5	В печи до 640-660 °С На воздухе

Закалка. При быстром охлаждении в воде или в соляном растворе из β -области (минимальная температура которой зависит от состава сплава)

тенденция к образованию α -фазы подавляется, что ведет к сохранению β -фазы. Структура сплава ВТ14, закаленного из α + β -области, представлена весьма мелкими зернам α - и β -фаз или первичной α -фазы на фоне α' -мартенсита. Структура сплава, закаленного из β -области, состоит из крупных пластин α' -фазы. После закалки с температур α + β -области, близких к точке A_{c3} , структуру можно назвать предмартенситной. Она представлена сравнительно мелкими равноосными частицами первичной α -фазы на фоне четко выраженного мартенсита.

Закалка ВТ14 сопровождается существенными изменениями его свойств и структуры. С повышением температуры нагрева под закалку до 800 °С временное сопротивление разрыву несколько уменьшается, а характеристики пластичности растут. Это объясняется снятием наклепа и увеличением метастабильной β -фазы, фиксируемой закалкой с «докритических» температур.

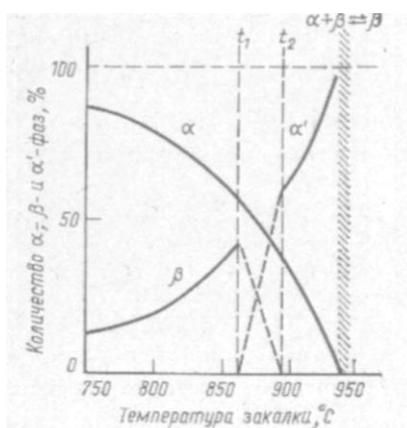


Рисунок 9 – Схема изменения фазового состава сплава ВТ14 в зависимости от температуры нагрева под закалку [2]

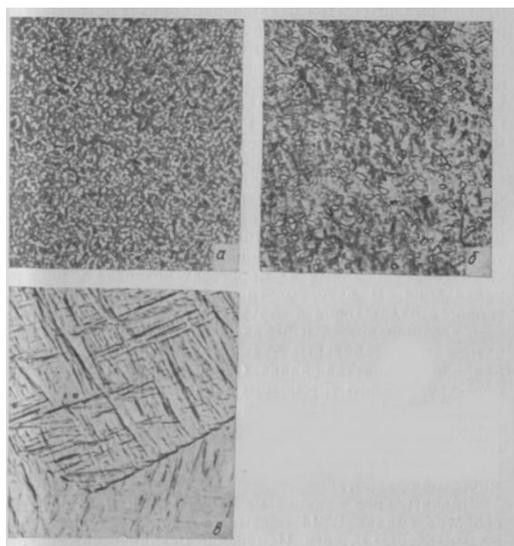


Рисунок 10 – изменение микроструктуры сплава ВТ14 в зависимости от температуры нагрева под закалку
а)880°С б)910°С в)940°С [2]

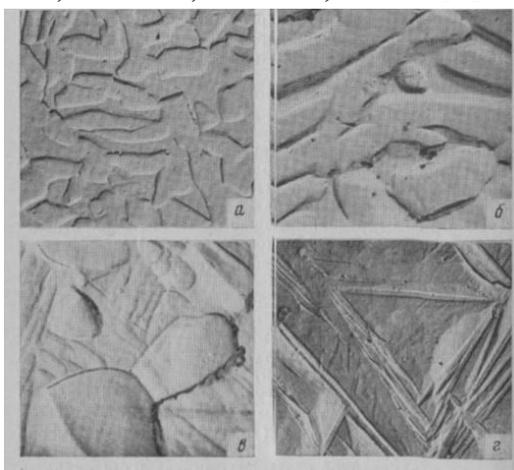


Рисунок 11 – Структура сплава ВТ14 после закалки в воде с различных температур: а- 820°С ($\alpha+\beta$), б-850 °С ($\alpha+\beta$), в-880 °С ($\alpha+\alpha'+\beta$), г-950 °С (α') [2]

Отжиг сплава поводят для придания ему повышенной пластичности и умеренной прочности и жаропрочности. Для устранения остаточных напряжений, разупрочнения, преобразования структуры из волокнистой в равноосную, уменьшения анизотропии применяют отжиг, основанный на процессах возврата рекристаллизации. В зависимости от температуры отжига и скорости охлаждения в структуре сплава ВТ14 изменяется соотношение α - и β -фаз, а так же могут образовываться метастабильные фазы, оказывающие большое влияние на свойства сплава. Отжиг сплава ВТ14 поводят при температурах $\alpha + \beta$ области, при которых не наблюдается заметного роста

зерна. Нагрев выше температуры $\alpha + \beta \rightarrow \beta$ -перехода ведет к резкому росту зерна, которое не удастся измельчить путем последующей термообработки.

При медленном охлаждении образуется сравнительно равновесная $\alpha + \beta$ структура и сплав имеет наиболее низкую прочность при повышенной пластичности. Так, при охлаждении сплава с температуры отжига на воздухе временное сопротивление и пределе текучести с повышением температуры отжига выше 750°C увеличиваются, а характеристики пластичности несколько падают. Это объясняется тем, что при ускоренном охлаждении возможно образование определенного количества мартенситной α' -фазы, ответственной за упрочнение сплава.

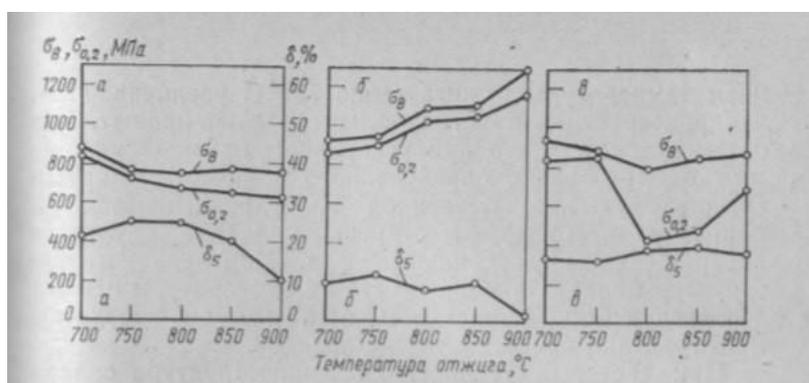


Рисунок 12 – изменение механических свойств сплава ВТ14

в зависимости от температуры отжига и последующего охлаждения:

а-с печью со скоростью 2-3 град/мин; б – на воздухе; в – в воде [2]

Изменение микроструктуры сплава ВТ14 в зависимости от температуры отжига с последующим охлаждением с печью со скоростью 2-3 градуса/мин представлено на следующем рисунке:

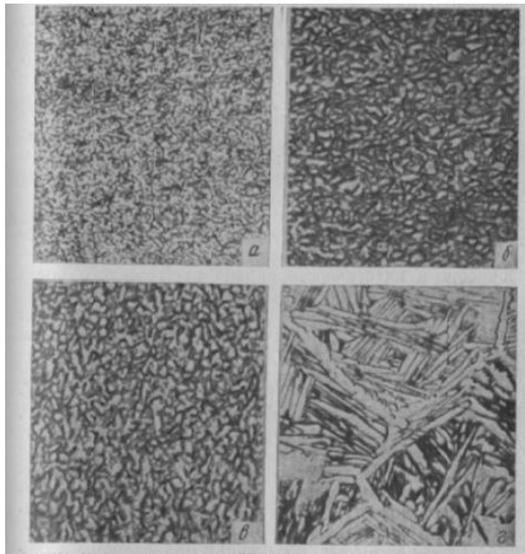


Рисунок 13 – Микроструктура сплава VT14 в зависимости от температуры отжига с последующим охлаждением с печью со скоростью 2-3 градуса/мин: а) 850 б)900 в)925 г)950 [2]

Отпуск. Если титановый сплав закалить с высокой температуры и затем, нагреть его до температуры ниже β - превращения, выдержать при этой температуре определенное время и быстро охладить, то такая операция будет называться отпуском. Отпуск характеризуется тремя факторами: фазовым составом сплава, продолжительностью и температурой отпуска.

Гомогенизация и старение. Если титановый сплав закалить из β -области или из верхней части $(\alpha + \beta)$ -области и затем нагреть вновь до температур $(\alpha + \beta)$ -области, то принято говорить, что этот сплав подвергся гомогенизации и старению. Подобная обработка титановых сплавов приводит к тем же результатам, что и отпуск, если не считать того, что исходная структура в этом случае состоит преимущественно из β -фазы. Кратковременное старение обеспечивает максимальную твердость, обусловленную образованием β' -фазы. При более длительном старении эта β' -фаза распадается с выделением α -фазы, что приводит к снижению твердости и повышению пластичности.

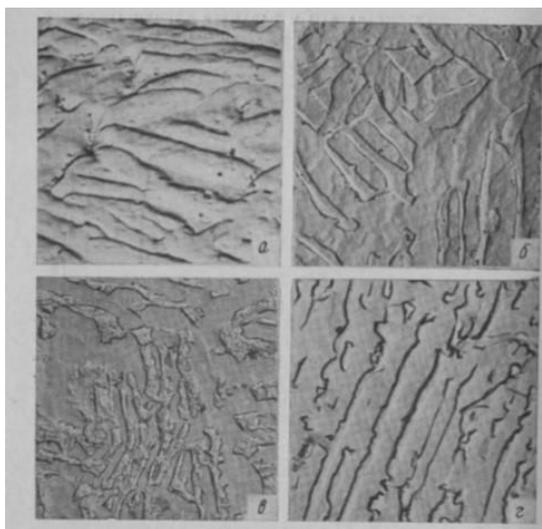


Рисунок 14 – Микроструктура сплава VT14 после закалки с 850 °С и старения при различных температурах в течение 16 часов:

а)300 б)400 в)500 г)600 [2]

Изотермическое превращение. При охлаждении сплава из β -области до температур ($\alpha + \beta$)-области и выдержке при них в течение определенного времени с последующим быстрым охлаждением до комнатной температуры происходит изотермическое превращение с выделением α -фазы из β -фазы. При высоких температурах α -фаза выделяется сначала по границам зерен β -фазы, а затем и внутри них самих. Если эту обработку проводить при температурах несколько ниже температуры превращения, то сначала вследствие образования β' -фазы получается весьма высокая твердость. Если же продолжительность выдержки увеличить, то твердость и прочность материала снижаются, а его пластичность и вязкость возрастают. При более низких температурах происходит постепенное повышение твердости и хрупкости, причем при длительных выдержках можно достичь более высокой твердости, чем при кратковременной высокотемпературной термообработке.

Термическая обработка авиационных тормозных дисков из высокопрочного сплава VT14 должна обеспечивать необходимые прочностные характеристики, которые отвечают требованиям к изготовлению данного вида деталей:

- 1) Диски должны быть легкими, прочными;
- 2) Жаростойкими, учитывая температуру работы;
- 3) Устойчивы к трению и др.

Предложено заменить материал тормозных дисков (сталь 30 ХГСА) титановым сплавом ВТ14 и заменить используемое оборудование.

Термическая обработка после штамповки для тормозного диска из сплава ВТ14 включает в себя:

- 1) Отжиг при 750 °С;
- 2) Закалка в зафиксированном состоянии при 890 °С с охлаждением в воде;
- 3) Старение на воздухе при 520 °С.

Для отжига и старения можно использовать ту же камерную печь СНО 7.11.7/13, с размерами внутренней части 700x1100x700 и рабочей температурой до 1300 °С. Электрод печь состоит из жесткого металлического каркаса, внутреннее пространство которого обкладывается огнеупорными и теплоизоляционными материалами. По стенкам печи и на поду расположены нагреватели в виде спиралей. Футеровка печи выполняется из волокнистых прессованных блоков. Под печи перекрывается высоконикелевой литой подовой плитой. Необходимое силовое и регулирующее оборудование смонтировано в пульте (либо шкафу) управления.

Чтобы исключить такой дефект, как коробление, для закалки необходимо использовать закалочный пресс.

Преимущества:

- контролируемый и воспроизводимый процесс закалки;
- сокращение времени на переоснастку;
- высокая точность;
- минимизация доли брака и др.

Для закалки был выбран закалочный пресс фирмы Heess серии SP (рисунок 14).



Рисунок 15 – Закалочный пресс Heess серии SP [19]

Детали для закалки помещаются на загрузочный стол, запускается установка, стол подается в термическую камеру, после чего она закрывается. Оправка входит во внутреннее отверстие снизу, пока удерживающее устройство, которое может пульсировать при необходимости, прижимает деталь и удерживает ее. Затем подается охлаждающая жидкость.

В зависимости от конфигурации детали, набор оснастки обычно состоит из сердечника, базовой пластины и одного или двух зажимных устройств.

Манипулятор перемещает две заготовки из магазина в карусельную печь, а затем, после нагрева в печи, к прессу. После чего приемное устройство загружает их непосредственно в пресс. Заготовки закаливаются одновременно и затем по конвейеру перемещаются в охлаждающую ванну для сокращения времени цикла до минимального. Детали моются и складываются перед транспортировкой в печь отпуска.

4 ПЛАНИРОВКА УЧАСТКА

4.1 Выбор, описание основного оборудования

Применение высокопроизводительного, надежного в эксплуатации оборудования позволяет снизить в проектируемом термическом участке себестоимость ТУ, повысить производительность и обеспечить высокое качество продукции.

Все оборудование можно разделить на три группы:

- основное оборудование, связанное с нагревом и охлаждением изделия
- дополнительное оборудование
- вспомогательное оборудование (установки для приготовления контролируемых атмосфер и карбюратора, теплоэнергетическое оборудование).

Тип оборудования для проектируемого цеха выбирается на основании разработанного технологического процесса термической обработки и режимов термической обработки. Выбор оборудования зависит также от способа выполнения операций, устанавливается в зависимости от следующих факторов:

1) Характер загрузки:

а) поштучный или партиями, садками – применяется в цехах индивидуального и мелкосерийного производства, осуществляется на оборудовании периодического действия (камерные и шахтные печи), способном к быстрой переналадке технологического режима;

б) непрерывный – применяется в цехах массового и крупносерийного производства и осуществляется на поточном оборудовании непрерывного действия (агрегаты, конвейерные и толкательные печи).

2) Положение изделий в процессе обработки:

- а) стационарное;
- б) перемещение по повторяющейся траектории;
- в) поступательное перемещение.

3) Сочетание операций:

- а) последовательное;
- б) параллельное;
- в) параллельно-последовательное.

4) Режим работы оборудования:

- а) периодический;
- б) полунепрерывный;
- в) непрерывный.

Для термической обработки тормозного диска из сплава ВТ14 используется печь СНО 7.11.7/13 для закалки с температур 900°С с последующим охлаждением в закалочном прессе и отпуском при температуре 550°С, дальнейшим охлаждением в воде.

Печь представляет собой металлический каркас, футерованный огнеупорным и теплоизоляционными материалами. Нагревательные элементы устанавливаются преимущественно из хромалей и нихрома.

Нагреватели установлены на двух боковых стенках и на своде.

В таблице 9 приведены основные показатели характеристики печи .

Таблица 9 – основные показатели характеристики печи СНО 7.11.7/13

Параметры	Размерность	Показатель
Мощность установленная	кВт	60
Число фаз	-	3
Размеры:		
длина	мм	1900
ширина		2400
высота		2500
Вес	кг	2100
Температура максимальная	°С	1300

Закалочный бак выполнен из теплоизоляционного материала в виде минераловатных плит. В закалочном баке предусмотрен подогрев масла с помощью ТЭНов с целью уменьшения коробления деталей при охлаждении.

Все контрольно-измерительные приборы находятся на торцевой стенке печи, а на лицевой стенке кнопки управления механизмами.

Также в баке предусмотрено охлаждение масла с помощью змеевика.

Для процесса отпуска была выбрана печь СНО 7.11.7/13.

В таблице 9 приведены основные показатели характеристики печи СНО 7.11.7/13.

4.2 Выбор и описание вспомогательного оборудования

Кроме основного оборудования в термических цехах есть вспомогательное и дополнительное оборудование.

В качестве дополнительно оборудования в термическом цехе могут применяться:

-оборудование для получения контролируемых атмосфер – эндотермические и экзотермические установки;

- вентиляторы и воздуходувки;

- маслоохладительные системы;

- средства механизации – конвейеры, толкатели, подъемники и другие.

Для разгрузки и загрузки приспособлений с деталями в печи, ремонта печей, для внутрицеховой транспортировки используются однобалочные мостовые краны, у которых управление тельфером и передвижением крана производится подъемно-кнопочным механизмом – электрокранбалки (ЭКБ-3,2).

4.3 Расчет необходимого количества основного, вспомогательного и дополнительного оборудования

Для расчета потребного количества основного вспомогательного оборудования следующие данные:

– расчет объема годового производства по данной операции;

– часовая производительность оборудования;

– действительный фонд времени работы оборудования в течение года.

Годовой фонд эффективного времени работы оборудования зависит от установленного режима работы, продолжительности смены, потерь времени

на ремонт и переналадку оборудования и рассчитывается по формуле за 2018 год:

$\Phi_d = (365 - B - П) \cdot C \cdot t \cdot K_p$, где Φ_d – действительный фонд времени работы оборудования, ч; В– количество выходных дней в году (за вычетом выходных, совпадающих с праздничными днями); П– количество праздничных дней в году; С — количество смен в сутках; t – средняя длительность одной смены; K_p – коэффициент использования номинального времени работы оборудования, учитывающий потери времени, составляет 4% от номинального времени. Для двухсменного графика работы $K_p = 0,94 \dots 0,96$.

$$\Phi_d = (365 - 118) \cdot 3 \cdot 8 \cdot 0,94 = 5573 \text{ ч}$$

Определение потребного количества часов работы производится по формуле:

$E = A_r / P$, где A_r - годовая программа, в т. = 1,276, P - производительность, кг/ч= 0,232.

$$E = \frac{1,276}{0,232} = 5500$$

Количество печей на это время работы

$$\frac{5500}{5573} = 0,98 \approx 1 \text{ печь}$$

Принимаем $N_{пр} = 1$ печь СНО 7.11.7/13

Коэффициент загрузки рассчитывается по следующей формуле:

$$K_3 = N_p / N_{пр} = 0,98 / 1 = 0,98$$

По результатам расчетов для обработки 1276 кг тормозных дисков для закалки нужна 1 печь СНО 7.11.7/13 1 печь для отпуска СНО 7.11.7/13.

5 СТРОИТЕЛЬНАЯ ЧАСТЬ

5.1 Разработка плана расположения оборудования

В основу расстановки оборудования на плане и разрезах цеха должны быть положены:

- намеченная компонованная схема технологического грузопотока, не допускающая пересечения путей движения обрабатываемых деталей. Исключение может быть только для цехов индивидуального и мелкосерийного производства, но при этом общий грузопоток должен идти в одном направлении;

- возможность обслуживания и ремонта оборудования;

- организация межоперационного транспорта обрабатываемых изделий

При установлении схемы расположения оборудования необходимо учесть, что печи не должны располагаться вдоль наружных остекленных стен.

Участки с токсическим, шумопроизводящим оборудованием должны располагаться в обособленных помещениях, изолированных от печного зала. К такому оборудованию относятся установки для приготовления защитных атмосфер, воздуходувки высокого давления, установки для очистки дробью.

Проезды и походы желательнее размещать по периметру с обязательным расположением ворот и дверей у наружных стен.

Все элементы здания термического цеха относятся к категории Г по признаку пожароопасности и должны выполняться из негорючих материалов, отвечающих I и II ступеням огнеопасности.

Для термического участка, который характеризуется значительным избытком и не требует утепления покрытия, проектируем его из асбоцементных листов.

На участке применяем светоаэрационные фонари П-образного профиля.

Покрытие полов на участке используем не скользкое, и легко очищаемое от загрязнений.

Термические цеха характеризуются большим количеством инженерных коммуникаций (трубопроводы масла, воды, воздуха, электроэнергии, газов),

установка и монтаж которых затрудняет нормальное проведение технологического процесса и не удовлетворяет требованиям промышленной эстетики.

Вопрос рационального размещения коммуникаций, вспомогательного оборудования и складских помещений может быть решен путем сооружения:

- туннелей (каналов) – для укладки небольшого числа трубопроводов;
- подвала – для расположения трубопроводов.

Для определения геометрических параметров участка необходимо рассчитать его площадь.

Общая площадь участка по назначению делится на:

- 1) производственную;
- 2) вспомогательную;
- 3) контрольно-бытовую.

К производственно площади относятся площади производства, на которых производится обработка изделий, а также площади для хранения изделий до и после термической обработки.

В состав вспомогательных площадей входят:

- участки контроля термической обработки;
- проезды для внутреннего транспортирования грузов;
- мастерские механика и энергетика по ремонту оборудования;
- экспресс-лаборатории по анализу материалов.

К конторско-бытовым площадям относятся помещения контор участка.

Необходимые площади проектируемого участка рассчитываем по укрупненным показателям, используя справочные данные.

5.2 Расчет площадей и описание основных элементов здания

Для размещения термического цеха с характерными избытками тепла, как правило, должно использоваться одноэтажное здание прямоугольной формы, обеспечивающее наиболее эффективное удаление вредных удельных выделений естественным путем. При необходимости размещения термического цеха в многоэтажном здании допустимо только как исключение, термический цех должен быть расположен не верхнем этаже достаточной высоты. При компоновке термического цеха в общем корпусе – с другими цехами-изготовителями, его следует расположить наиболее протяженной стороной вдоль наружной стены корпуса с целью улучшения аэрации.

Все элементы здания термического цеха относятся к категории Г по признаку пожароопасности и должны выполняться из негорючих материалов, отвечающих 1 и 2 степени огнестойкости.

Здания komponуются из одного или нескольких пролетов, геометрические размеры которых (ширины, длина, высота) следует по возможности принимать одинаковыми.

Общая площадь термического цеха рассчитывается по формуле:

$$S_{\text{общ}} = S_{\text{пр}} + S_{\text{вспом}}$$

Где $S_{\text{пр}}$ - производственная площадь; $S_{\text{вспом}}$ - вспомогательная площадь.

Производственная площадь определяется путем суммирования площади для всех единиц выбранного оборудования с учетом площади проезда, проходов и промежуточных мест складирования.

$$S_{\text{пр}} = \sum_{i=1}^n S_i + S_{\text{пр}} + S_{\text{скл}}$$

Где S_i - площадь, занимаемая единицей оборудования, $S_i = 30\text{м}^2$; n - количество единиц оборудования, равное 12.

$S_{\text{пр}}$ - площадь проездов и проходов, принимается равной 25% от площади занимаемой оборудованием;

$S_{\text{скл}}$ - площадь промежуточных мест складирования изделий.

$$S_i = 15 \cdot 2 = 30 \text{ м}^2$$

$$S_{np} = 3,5 \cdot 6 \cdot 6 \cdot 2 = 252 \text{ м}^2$$

$$S_{скл} = 15 \text{ м}^2$$

$$S_{np} = 30 + 252 + 15 = 296,5 \text{ м}^2$$

Отсюда

$$S_{вспом} = 0,35 \cdot S_{np} = 0,35 \cdot 296,5 = 104 \text{ м}^2$$

Общая площадь участка:

$$S_{общ} = 296,5 + 104 = 400,5 \text{ м}^2$$

6 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ И ОХРАНА ТРУДА

При проведении процессов термической и химико-термической обработки должны быть предусмотрены меры защиты работающих от возможного действия опасных и вредных производственных факторов. Концентрации веществ, обладающих вредными свойствами, и уровни физических опасных и вредных производственных факторов не должны превышать значений, установленных санитарными нормами.

В целях контроля процессов подготовки изделий к термической обработке, контроля и регулирования параметров термической обработки металлов (температуры, давления в рабочем пространстве печи, содержания компонентов в газовой среде и т. д.) необходимо применять блокировку, а также средства световой и звуковой сигнализации о нарушениях технологического процесса, могущих привести к возникновению аварийной ситуации.

При подготовке изделий и деталей к термической обработке (нанесение защитных паст, травление, обезжиривание и др.) и при проведении термической обработки с применением веществ, обладающих токсичными, пожаро- и взрывоопасными свойствами (керосина, масел, расплавов солей и металлов, жидких сред), должна быть исключена возможность воздействия этих веществ на работающих.

Нагретые в процессе термической обработки изделия и детали необходимо размещать в местах, оборудованных эффективной вытяжной вентиляцией или в специально оборудованных охлаждающих помещениях или устройствах.

Места возможного выделения в воздушную среду производственных помещений веществ, токсичных, взрывоопасных веществ и пылей должны быть снабжены вытяжной механической вентиляцией во взрывозащищенном исполнении.

При разработке технологических процессов термической и химико-термической обработки металлов должны предусматриваться оптимальные

режимы работы оборудования, обеспечивающие: непрерывность технологического процесса, рациональный ритм работы людей, выполняющих отдельные технологические операции, исключение возможности создания аварийной обстановки.

Во всех случаях возникновения аварийных ситуаций при ведении технологического процесса работу следует немедленно прекратить и принять меры к устранению аварийной ситуации. Ведение технологического процесса следует продолжать только после того, как будет выяснена причина, создавшая аварийную обстановку и будут приняты меры по ее устранению.

Отделка потолков и стен помещения участков должна допускать систематическую мокрую уборку.

Помещения и воздуховоды должны очищаться от пыли, чтобы количество взвешенной в воздухе и осевшей пыли не могло образовать взрывоопасную пылевоздушную смесь в объеме более 1% объема помещений.

Для нагревательных устройств должны применяться газообразное топливо и электрическая энергия. Применение твердого и жидкого топлива допускается в технически обоснованных случаях.

При термической обработке металлов необходимо применять пожаробезопасные жидкости и материалы. В отдельных случаях по согласованию с органами пожарного надзора могут применяться горючие жидкости.

Ядовитые соли для термической обработки должны использоваться в гранулированном виде.

Закалочные масляные ванны должны иметь сборные емкости для 100% слива масла.

Интенсивность теплового облучения на рабочих местах не должна превышать $300 \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{ч}$.

Доставка в цех изделий термической обработки, а также масел, кислот, щелочей и других химических материалов, применяемых при подготовке изделий к термической обработке и в процессах термической обработки,

должна осуществляться способами, исключающими опасность травматизма, физического перенапряжения, возможности интоксикации, загрязнения тела и одежды работающих, а также загрязнения помещения и воздуха в них.

Тара, используемая для транспортирования сильнодействующих ядовитых веществ, после опорожнения должна храниться в специально отведенных местах.

Отходы, содержащие сильнодействующие ядовитые вещества, следует хранить в специальных изолированных помещениях, в емкостях.

Все рабочие, служащие и инженерно-технические работники термических цехов и участков проводят инструктаж по безопасности труда и пожарной безопасности; вводный — при поступлении на работу; первичный — на рабочем месте; повторный — не реже одного раза в три месяца; внеплановый — при нарушении требований безопасности труда; несчастном случае и др.

Работающие в термических цехах должны использовать средства индивидуальной защиты.

Спецодежда работающих в отделениях цианирования, жидкостного азотирования во избежание отравления работающих на других участках термических цехов должна сдаваться в стирку обезвреженной и храниться отдельно от спецодежды работающих других участков термических цехов. Замена спецодежды на чистую, сохранившую свои защитные свойства, не реже одного раза в 10 дней.

Помещения термических цехов, термическое оборудование и коммуникации должны быть оснащены контрольно-измерительными приборами для контроля уровней опасных и вредных производственных факторов, возникающих при данном процессе.

В термических цехах, отделениях и участках на газопроводах на линиях сжатого воздуха в легкодоступных местах для возможности локализации действия опасных и вредных производственных факторов должны быть установлены быстродействующие отсекающие устройства.

Контроль работы вытяжных вентиляционных устройств и систем сигнализации в установленном порядке. Закалочные масла должны еженедельно подвергаться контролю на содержание в них воды. Обнаруженная вода должна быть удалена.

Требования к условиям труда можно разделить на несколько групп:

1. Производственные факторы
2. Требования к зданиям и помещениям
3. Отопление и вентиляция
4. Освещение
5. Санитарно-бытовое обслуживание
6. Пожарная безопасность
7. Организация рабочего процесса и места
8. Требования к материалам, заготовкам, оборудованию и др.

При термической и химико-термической обработке металлов возможно воздействие на работников различных опасных и вредных производственных факторов:

- 1) незащищенные подвижные элементы производственного оборудования;
передвигающиеся заготовки, готовые изделия или детали (далее по тексту - детали);
- 2) движущиеся транспортные средства;
- 3) повышенная температура поверхностей оборудования и материалов;
- 4) пониженная температура при обработке деталей холодом;
- 5) опасный уровень напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека;
- 6) повышенный уровень шума на рабочем месте;
пониженная освещенность рабочего места;
- 7) пожаро- и взрывоопасность;
- 8) тяжесть и напряженность труда.

Термические цеха, как правило, должны располагаться в одноэтажных зданиях с застекленными окнами и светоаэрационными фонарями и соответствовать требованиям СНиП 2.09.02. Если по условиям технологического процесса термические цеха размещаются в нижнем или промежуточном этаже многоэтажного здания, то необходимо предусмотреть теплоизоляцию перекрытия для уменьшения теплоотдачи.

В цехах и на участках термической обработки следует предусматривать проходы и проезды для движения людей и транспортных средств.

Ворота, двери и другие проемы в капитальных стенах, сделанные для различных целей, должны быть утеплены и оборудованы тамбурами или тепловыми воздушными завесами. Двери должны иметь приспособления для принудительного закрывания.

Участки травления металлов, цианирования, жидкостного азотирования, цианистых и свинцовых печей-ванн, диффузионной металлизации, борирования, плазменной, электронно-лучевой, лазерной обработки, подготовки твердого карбюратора должны размещаться в изолированных друг от друга помещениях с закрываемыми проемами для грузопотоков.

Помещения для складирования деталей, емкостей для жидкостей, а также химических веществ и других материалов должны оборудоваться стеллажами. Стеклянная тара больших объемов должна устанавливаться на полу склада.

Производственные помещения, а также расположенные в них воздуховоды вентиляции должны очищаться от пыли, чтобы количество взвешенной в воздухе и осевшей пыли не могло образовывать взрывоопасную пылевоздушную смесь (более 1% объема помещения).

Уборка рабочих мест, проездов и проходов должна производиться в течение всего рабочего дня и после каждой смены беспыльным способом (влажной протиркой, при помощи передвижных и стационарных пылесосных установок и т.п.).

В помещениях термических цехов должна использоваться как естественная, так и искусственная вентиляция.

Естественное и искусственное освещение в помещениях термических цехов должно удовлетворять требованиям СНиП 23-05.

В термических цехах в качестве рабочего освещения, как правило, используется система общего освещения. Комбинированное освещение требуется лишь на рабочих местах, где для качественного и безопасного выполнения производственных операций необходимо дополнительное освещение.

Освещенность рабочих поверхностей (в том числе пола в зонах ванн нагрева и охлаждения деталей в воздушных и жидких средах) должна составлять не менее 200 лк.

Аварийное освещение, автоматически включаемое в случае аварийного отключения рабочего освещения, следует предусматривать на рабочих местах, технологических участках, где невозможно немедленное прекращение работы (работы на газовых печах, установках получения контролируемых атмосфер, работы с цианистыми солями, кислотами), и на участках, где внезапное прекращение технологического процесса сопряжено с опасностью для жизни людей или большими экономическими потерями.

На производственных участках термических цехов следует оборудовать санитарные посты, оснащенные аптечками с медикаментами и другими средствами для оказания работникам первой (доврачебной) помощи при несчастных случаях.

С учетом взрывопожароопасности в отдельных помещениях должны располагаться:

1) участки травления, цианирования, жидкостного азотирования, свинцовых печей-ванн, подготовки твердого карбюратора, диффузионной металлизации и борирования, если они расположены вне потока;

2) участки охлаждения нагретых деталей;

3) оборудование для очистки деталей;

4) машинные преобразователи и ламповые генераторы тока высокой частоты (за исключением технически обоснованных случаев);

5) участки сбора, сортировки, кратковременного хранения отходов термообработки;

б) места хранения химических веществ.

Цех с крупными печами, работающими с взрывоопасными защитными газами, должен быть снабжен надежной специальной вентиляцией, а конструкции перекрытия должны выполняться таким образом, чтобы не образовывалось застойных газовых мешков, в которых могли бы скапливаться более легкие по сравнению с воздухом газовые смеси, в частности водород или продукты диссоциации аммиака.

Печи-ванны не следует располагать под световыми фонарями во избежание попадания в расплав капель воды, конденсирующейся на фонарях.

Электротермические индукционные установки с ламповыми и машинными генераторами допускается устанавливать как в отдельных, так и в общих помещениях, в местах, соответствующих технологии производства. Машинные генераторы должны устанавливаться в звукоизолированных помещениях.

Газоприготовительные установки следует размещать в помещении термического цеха вместе с печами, работающими с контролируемыми атмосферами, или в отдельном помещении. Установки для приготовления водородной атмосферы должны размещаться в отдельном помещении.

Вакуумное оборудование, включая накопители инертного газа, должно быть размещено в изолированном помещении. В отдельных, технически обоснованных, случаях допускается размещение вакуумного оборудования в помещении цеха.

Закалочные баки, соляные и травильные ванны, ванны обезжиривания и промывки деталей, шахтные электропечи, установленные в приямках, должны выступать над уровнем пола на высоту 1,0 м. В случае меньшей

высоты такое оборудование должно быть ограждено барьером высотой не менее 1,0 м.

У каждого рабочего места должны быть предусмотрены площадки для складирования деталей до и после термообработки.

Для защиты работников от лучистой энергии у источников теплового излучения должны быть предусмотрены специальные устройства и приспособления: щиты, экраны, водяные завесы и др.

При термической и химико-термической обработке металлов должны применяться химические вещества (кислоты, соли, щелочи и др.) и материалы (бензин, керосин, масла и т.д.), на которые имеются нормативные акты.

Применяемые в технологических процессах горючие материалы (жидкости, газы и твердые вещества) должны иметь установленные пожароопасные параметры.

Контрольно-измерительные приборы и щиты управления должны быть расположены в легкодоступном месте, при этом должны соблюдаться общие требования эргономики к размещению органов управления, установленные ГОСТ 22269.

Закалочные прессы в цехах термической обработки металлов следует размещать так, чтобы обслуживающий персонал не подвергался воздействию лучистого тепла одновременно от загрузочных окон двух и более нагревательных печей. К каждому рабочему месту должен подаваться чистый приточный воздух.

Закалочные прессы должны быть оборудованы защитными устройствами, препятствующими разбрызгиванию закалочной жидкости. Выемка деталей из печи, подача их на закалочный пресс и снятие с пресса должны быть максимально механизированы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате исследования материалов, оборудования и процессов термической обработки было предложено заменить конструкционную легированную сталь 30ХГСА титановым сплавом ВТ14. Так же произведена замена оборудования: закалочная ванна на закалочный пресс HEESS серии SP, добавлена вторая печь СНО 7.11.7/13 для старения.

Главные преимущества высокопрочного титанового сплава ВТ14:

1) титановый сплав имеет меньший удельный вес, это влияет на общий вес конструкции;

2) за счет применения закалочного пресса, закалки и старения в зафиксированном состоянии, минимизируется появление коробления металла, что существенно повышает качество изготавливаемой детали.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Александров, В.К. Полуфабрикаты из титановых сплавов / В.К. Александров, Н.Ф. Аношкин, Г.А. Бочвар – М.: «Металлургия», 1979. – 512 с.
2. Борисова, Е.А. Титановые сплавы. Металлография титановых сплавов / Е.А. Борисова, Г.А. Бочвар, М.Я. Брун. – М.: «Металлургия», 1980. – 464 с.
3. Ильин, А.А. Титановые сплавы. Состав, структура, свойства: справочник. – М.: ВИЛС-МАТИ, 2009. – 520 с.
4. Ильин, С.И. Технология термической обработки сталей: учебное пособие/С.И. Ильин, Ю.Д. Корягин. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2012.–120 с
5. Илларионов, А.Г. Технологические и эксплуатационные свойства титановых сплавов: учебное пособие / А.Г. Илларионов, А.А. Попов. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2014. – 137с.
6. Карева, Н.Т., Лапина, И.В., Ильин, С.И. Термическая обработка сталей и сплавов: Учебное пособие. – 2-е изд., испр. и доп. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2006. – 98 с.
7. Колачев, Б.А. Механические свойства титана и его сплавов / Б.А. Колачев, В.А. Ливанов, А.А. Буханова. – М.: «Металлургия», 1974. – 544 с.
8. Корягин, Ю.Д. Тепловые и электрические расчеты термических печей: учебное пособие / Ю.Д. Корягин. – 2-е изд. - Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2005. – 178 с.
9. Марочник сталей и сплавов: справочник / под ред. А.С. Зубченко, - 2-е изд., - доп. и испр. – М.: Машиностроение, 2003. – 784 с.
10. Пелецкий, В.Э. Теплофизические свойства титана и его сплавов: справ.изд./ В.Э. Пелецкий, В.Я. Чеховской, Э.А. Бельская. – М.: Metallurgiya, 1985. – 103 с.
11. Петрунько, А.Н. Титан в новой технике / А.Н. Петрунько, Ю.Г. Олесов, В.А. Дрозденко. – М.: Metallurgiya, 1979. – 160 с.
12. Попов, А.А. Справочник термиста. Изотермические и термокинетические диаграммы распада переохлажденного аустенита: справочник / А.А. Попов, Л.Е. Попова. – М.: Машгиз, 1961. – 430 с.

13. Рустем, С.Л. Оборудование и проектирование термических цехов / С.Л. Рустем. – М.: Машиностроение, 1971. – 288 с.
14. Скляров, Н.М. Авиационные материалы. Том 1. Конструкционные стали: справочник / Н.М. Скляров, Потак Я.М. — Под ред. А.Т. Туманова, - 6-е изд., перераб. и доп. — М.: ОНТИ, 1975. — 429 с.
15. Скляров, Н.М. Авиационные материалы. Том 5. Магниево-титановые сплавы: справочник / Н.М. Скляров, Потак Я.М. — Под ред. А.Т. Туманова, - 6-е изд., перераб. и доп. — М.: ОНТИ, 1973. — 583 с.
16. Термическая обработка в машиностроении: Справочник Т35 / Под ред. Ю.М. Лахтина, А.Г. Рахштадта. – М.: Машиностроение, 1980. - 783с.
17. Цвиккер, У. Титан и его сплавы / У. Цвиккер. – Под ред. Елютина О.П., Глазунова С.Г. пер. с нем. М.: Металлургия, 1979. - 512 с.
18. <https://kak-eto-sdelano.ru/kak-rabotaet-samoletnyj-tormoz/>
19. <http://www.prom-ts.com/catalog/stanki-i-agregaty/HEESS.html>