

Міністерство освіти і науки України
Сумський державний університет

Будник А.Ф.

**ТИПОВЕ ОБЛАДНАННЯ ТЕРМІЧНИХ
ЦЕХІВ ТА ДІЛЬНИЦЬ**

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України
як навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів

Суми
Вид-во СумДУ
2008

ББК 34.53-4я73
Б-90
УДК 621.78.001(07.8)

*Рекомендовано Міністерством освіти і науки України
(лист № 1.4/18-Г-31 від 10.01.2008 р.)*

Рецензенти:

д-р техн. наук, проф. Є.П. Калінушкін
(Національна металургійна академія, м. Дніпропетровськ);
д-р техн. наук, проф. О.Б.Гірін
(ВДНЗ «Український хіміко-технологічний
університет, м. Дніпропетровськ);
д-р техн. наук, проф. В.Б.Тарельник
(Національний аграрний університет, м. Суми)

БУДНИК А.Ф.

Б-90 Типове обладнання термічних цехів та дільниць:
Навчальний посібник. –Суми: Вид-во СумДУ, 2008. - 212 с.

ISBN 978-966-657-185-7

У посібнику наведена класифікація обладнання термічних цехів та дільниць, прийнята у промисловості відповідно до його призначення. Згідно з розподілом обладнання описано його технологічні особливості та експлуатаційні можливості, основні операції термічної обробки, які дозволяють виконувати це обладнання.

Розглянуто питання механізації та автоматизації процесів термічної обробки відповідно до типу обладнання та виробництва.

Особливу увагу приділено питанням вибору обладнання під час розроблення прогресивних технологій, організації та економіки виробництва, використання установок швидкісного нагрівання, створення комплексних конструкцій агрегатів, підсилення циркуляції середовища робочого простору печі, застосування нетрадиційних конструкцій печей (печі з киплячим шаром, аеродинамічного підігріву (ПАП) та ін.), агрегування.

Для студентів-матеріалознавців III-IV рівнів акредитації під час вивчення дисципліни «Обладнання термічних цехів та дільниць» і виконання курсових, комплексних проектів, випускних кваліфікаційних та самостійних робіт студентами з дисциплін навчального плану спеціальності напрямку 0901.

ББК 34.53-4я73

© А.Ф.Будник, 2008

ISBN 978-966-657-185-7

© Вид-во СумДУ, 2008

ЗМІСТ

С.

Зміст та структура курсу «Обладнання термічних цехів і дільниць» і його роль в освіті матеріалознавця.....	5
1 Історичні передумови розвитку термічного обладнання та його місце в структурі машинобудівного підприємства.....	7
2 Класифікація обладнання термічних цехів та дільниць.....	12
3 Вогнетривкі та теплоізоляційні матеріали в теплотехнічному обладнанні.....	15
4 Джерела теплової енергії та обладнання для нагрівання печей і установок.....	18
5 Основне обладнання термічних цехів.....	23
5.1 Печі та нагрівальні установки періодичної дії.....	23
5.1.1 Камерні печі.....	23
5.1.2 Шахтні печі.....	31
5.1.3 Ковпакові та елеваторні печі.....	35
5.1.4 Вакуумні печі.....	36
5.1.5 Печі-ванни.....	39
5.2 Механізовані печі та агрегатне термічне обладнання неперервної дії.....	48
5.2.1 Механізовані камерні печі.....	48
5.2.2 Печі та нагрівальні установки неперервної дії.....	51
6 Обладнання для поверхневого нагрівання деталей.....	61
7 Обладнання для охолодження деталей.....	66
8 Установки для обробки сталі холодом.....	68
9 Псевдокиплячі середовища та їх застосування.....	71
10 Обладнання для створення контрольованих атмосфер.....	73
11 Обладнання для очищення виробів і деталей після термообробки та їх виправлення.....	79
12 Підйомно-транспортне обладнання.....	85
13 Контрольно-вимірювальні прилади.....	87

14 Автоматизація технологічних процесів термо- обробки виробів.....	95
15 Автоматизація процесів термообробки виробів з використанням роботів.....	99
16 Тестовий контроль засвоєння лекційного матеріалу..	101
17 Лабораторний практикум з предмета та методичні вказівки і приклади виконання самостійних робіт з курсу.....	104
Лабораторна робота 1 Вивчення особливостей конструкцій електричних печей типу СНО-8,5.14.5/10 і завдання на СРС з визначення витрат тепла камерних електричних печей.....	104
Лабораторна робота 2 Вивчення особливостей нагрі- вання садки в печах типу СНЗ і завдання СРС для визначення технологічних параметрів термообробки....	118
Лабораторна робота 3 Вивчення характеру руху про- дуктів горіння в робочому просторі печі ТДО-13.26.13/11 та завдання для СРС з визначення витрат у каналах печі.....	146
Лабораторна робота 4 Вивчення особливостей конструкцій шахтних печей і завдання на СРС з визначення технологічних параметрів печі СШЦМ-6.12/10.....	163
Лабораторна робота 5 Визначення конструктивних особливостей, умов роботи індукційних нагрівальних установок та контрольні завдання при виконанні СРС...	189
Список літератури.....	211

ЗМІСТ ТА СТРУКТУРА КУРСУ «ОБЛАДНАННЯ ТЕРМІЧНИХ ЦЕХІВ І ДІЛЬНИЦЬ» І ЙОГО РОЛЬ В ОСВІТІ МАТЕРІАЛОЗНАВЦЯ

Курс «Обладнання термічних цехів і дільниць» викладається після засвоєння студентами фундаментальних дисциплін (математики, фізики, загальної та фізичної хімії тощо) та ряду спеціальних дисциплін (матеріалознавства, технології виробництва і обробки матеріалів, теорії тепломасопереносу в матеріалах, термічної обробки матеріалів та ін.).

При цьому одночасно з вивченням фізично-хімічних закономірностей теплотехнічних процесів у нагрівальних печах і установках у курсі «Обладнання термічних цехів і дільниць» студенти вивчатимуть методи визначення оптимальних параметрів технологічних режимів роботи термічного обладнання та його види і специфіку.

Отже, під час вивчення курсу студент уперше знайомиться зі змістом та апаратурним оформленням технологічного процесу термічної обробки в цілому. Це служить підґрунтям для вивчення і засвоєння низки таких дисциплін, які передбачаються загальним навчальним планом і охоплюють певні характерні питання термічного виробництва (автоматизації, економіки виробництва, охорони праці, проектування термічних цехів та дільниць тощо).

На основі викладеного можна стверджувати, що курс «Обладнання термічних цехів та дільниць» відіграє важливу роль у матеріалознавчій освіті.

Поряд із лекційним курсом навчальною програмою передбачено виконання лабораторних робіт, які можуть бути оформлені для захисту відповідно до розділу 16 цього навчального посібника.

Навчальний план підготовки фахівця з вищою освітою за напрямом 0901 з дисципліни «Обладнання термічних

цехів та дільниць” передбачає значний обсяг навчального часу для самостійної роботи студентів. Він використовується для підготовки та засвоєння лекційного матеріалу, підготовки до захисту лабораторних робіт та виконання індивідуальних завдань. Приклади виконання індивідуальних завдань з розрахунками параметрів технологічного процесу роботи термічного обладнання та поваріантні значення завдань з курсу наведено в розділі 16 цього посібника.

Опанування студентами зазначеними розрахунками допоможе їм під час виконання курсового та дипломного проектування.

1 ІСТОРИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ РОЗВИТКУ ТЕРМІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ТА ЙОГО МІСЦЕ В СТРУКТУРІ МАШИНОБУДІВНОГО ПІДПРИЄМСТВА

Теоретичні основи розвитку науки про метали і їх нагрівання були закладені російським вченим М. В. Ломоносовим (1711 - 1765 рр.). У своїй праці з металургії, опублікованій у 1763 р., М.В. Ломоносов виклав комплекс питань - від видобутку руди і до плавки металів. Поряд із роботами про мінерали, рудні місця й про рух повітря в рудниках М.В. Ломоносов уперше встановив закономірності руху газів у печах. У другій половині XVIII ст. ковальські горна для нагрівання під загартування починають заміняти полумєневими печами, що працюють на твердому паливі.

Наприкінці XVIII і початку XIX ст. стали будувати машинобудівні заводи, на яких уже застосовують термічну обробку сталі. У 1841 р. була надрукована робота інженера П.П.Аносова (1797-1851 рр.) «О булатах». Йому вдалося розкрити втрачений секрет одержання булатної сталі. Наукову основу термічна обробка сталі одержала тільки після опублікування робіт Д.К. Чернова (1839-1921 рр.), який відкрив критичні точки у сталі.

У результаті розвитку промисловості машинобудування до 70-х років XIX ст. перетворилося в галузь великого фабрично-заводського виробництва. Частина заводів виробляла текстильні й сільськогосподарські машини та верстати. Інші заводи випускали поряд із цими машинами і прилади. На заводах на початку XX ст. з'являються гартівні майстерні або цехи для обробки продукції - деталей машин та інструментів.

У 1911 р. російський вчений В.Е. Грум-Гржимайло (1864- 1928 рр.) створив теорію руху газів, у якій він показав, що рух газів у печах підкоряється законам гідравліки.

У роки перших п'ятирічок в СРСР будувалися нові заводи й реконструювалися старі. Термічні цехи цих заводів розміщувалися в окремих просторах приміщеннях, одержували сучасне устаткування й прилади. Усі печі оснащувалися контрольними приладами для визначення й регулювання температури.

У 1923 р. були побудовані перші трактори, у 1929 р. була виконана перша реконструкція Московського автозаводу ім. А. І. Лихачова (колишнього АМО), і складання автомобілів було переведено на конвеєр. У термічних цехах для обробки деталей автомобілів були встановлені печі безперервної дії - конвеєрні й штовхальні.

На заводах з'явилися електричні печі. У термічних цехах машинобудівних заводів були впроваджені нові технологічні процеси - газова цементация, ціанування, азотування, чисте загартування та ін. Технологія термічної обробки в автомобільній, тракторній промисловостях розроблялася під керівництвом і за особистою участю д-ра техн. наук, проф. Н.А.Мінкевича (1883-1942 рр.). Йому належить створення праць з термічної обробки устаткування термічних цехів. Під його керівництвом були створені механізовані агрегати для термічної обробки, печі для газової цементации та ін.

У 1935 р. чл.-кор. АН СРСР В. П. Вологдін і Б. Н. Ромашов запропонували метод поверхневого загартування з нагріванням с.в.ч.

У цей час термічні цехи машинобудівної промисловості оснащені сучасним устаткуванням і приладами, у багатьох цехах здійснені комплексна механізация й автоматизация технологічних процесів.

Усі термічні цехи машинобудівних заводів можна розподілити за такими ознаками: за місцем у заводській структурі; оброблюваними деталями; за переважаючими операціями термічної обробки й виробничою ознакою.

Місце в заводській структурі визначається обсягом виробництва. Відповідно до цього термічна обробка деталей на заводах може відбуватися в самостійних термічних цехах, у відділеннях або на дільницях.

Термічне відділення або дільниця, на яких обробляється одна деталь або група деталей, зветься за найменуванням оброблюваної деталі або групи (дільниця термічної обробки колінчатого вала, дільниця термічної обробки інструментів з вуглецевої сталі, відділення термічної обробки інструментів та ін.).

На деяких виробництвах збереглася класифікація термічних цехів за переважними операціями термічної обробки (гартівний цех, цех азотування й ін.).

Найбільш правильною є класифікація за виробничою ознакою, за якою всі термічні цехи заводу розподіляються на дві групи: основні термічні цехи для обробки деталей товарного виробництва підприємства - основної його продукції й допоміжні термічні цехи для обробки деталей допоміжного виробництва.

Основні термічні цехи підрозділяються на цехи (відділення, дільниці), пов'язані із заготівельними цехами (ковальсько-штампувальними, ливарними й ін.), у яких здійснюється термічна обробка поковок, штамповок або виливків, тобто напівфабрикатів до їхньої механічної обробки; з обробними механічними цехами, де проходить термічна обробка деталей товарної продукції виробництва, тобто після механічної обробки, та із цехами, що поєднують заготівельні й обробні операції, наприклад, ресорні цехи, пружинні цехи й ін. До термічних цехів допоміжного виробництва відносять цехи (відділення, дільниці) для обробки інструментів, штампів, деталей устаткування та ін., пов'язані відповідно з інструментальним, штамповим, ремонтно-механічним й іншими цехами. На провідних підприємствах машинобудівної, автомобільної, тракторної й інших галузей промисловості, як правило, розрізняють такі

термічні цехи або відділення: відпалювальні - для обробки виливків (найчастіше вони є відділеннями ливарних цехів); термічні відділення в ковальсько-штампувальних цехах для відпалу, нормалізації, загартування й високого відпуску після кування і штампування, вони носять також назви чорнових або перших термічних цехів (існують дільниці термічної обробки, розміщені поблизу штампувальних молотів і пресів); відділення у пресових цехах для обробки прокату, заготовок і деталей холодного штампування між операціями холодного деформування; термічні цехи для обробки чистових деталей (цементация, нітроцементация, ціанування, нормалізація, гартування, низький відпуск та ін.), тобто деталей товарної продукції після механічної обробки або холодного штампування, названі також чистовими, або другими, термічними цехами; ресорно-пружинні для обробки ресор і пружин; інструментальні для обробки ріжучих, вимірювальних й інших інструментів, виготовлених на підприємстві для власних потреб (на інструментальних заводах термічні цехи, що обробляють інструменти як основну продукцію виробництва, є основними термічними цехами); штампові для обробки штампів гарячого й холодного штампування.

Невеликі термічні відділення є також у ремонтно-механічних цехах для обробки деталей устаткування, у цехах, що виготовляють деталі широкого вжитку, і т.п.

Залежно від програми й наявності вільних площ на окремих підприємствах можуть бути відсутні ті або інші термічні цехи або відділення, а деякі термічні цехи (відділення) об'єднані в один, наприклад, інструментальний і штамповий, ковальський і штамповий, пресовий і штамповий. Кожен термічний цех (відділення) має своє характерне устаткування залежно від форми й розмірів оброблюваних деталей і процесів їхньої термічної обробки.

У відпалювальних і ковальських термічних цехах (відділеннях) обробці піддаються виливки й поковки, які як

правило, вимагають порівняно простих технологічних операцій термічної обробки. Основним устаткуванням, установленим у цехах (відділеннях), є камерні печі, печі з висувним подом або штовхальні печі. Для використання тепла нагрівання під кування при термообробці поковок і штамповок використовують механізовані агрегати. Вибір типу устаткування визначається характером виробництва. Розрізняють індивідуальне (одиничне), серійне й масове виробництво.

При індивідуальному характері виробництва деталі виготовляються одиничними екземплярами й мають різні конструктивні форми й розміри. При такому виробництві необхідне застосування універсального устаткування.

При серійному виробництві однотипні деталі виготовляють партіями або серіями. Залежно від чисельності однотипних деталей у партії або серії серійне виробництво підрозділяється на дрібносерійне, середньосерійне й багатосерійне. При серійному виробництві витрати на термічну обробку зменшуються у порівнянні з індивідуальним виробництвом. Термічні цехи інструментальних заводів відносять до багатосерійного виробництва. У цих цехах використовують напівавтоматичні й автоматичні агрегати й лінії.

При масовому виробництві однотипні деталі виготовляються безперервним потоком і мають стандартну форму, розміри, вагу й матеріал. Термічна обробка цих деталей також ведеться безперервним потоком. При масовому виробництві необхідно мати спеціалізоване устаткування високої продуктивності з повною автоматизацією процесу.

До масового виробництва відносять термічні цехи, призначені для обробки деталей після їхньої механічної обробки. Масове виробництво характеризується невеликими витратами на термічну обробку й високою продуктивністю устаткування.

2 КЛАСИФІКАЦІЯ ОБЛАДНАННЯ ТЕРМІЧНИХ ЦЕХІВ ТА ДІЛЬНИЦЬ

Обладнання термічних цехів поділяється на три групи: основне, доповнювальне та допоміжне.

Основне обладнання застосовується для виконання основних технологічних операцій термообробки. До нього належать нагрівальні печі й установки, механізовані агрегати, обладнання для охолодження (гартівні баки і машини, установки для обробки металу холодом тощо).

Доповнювальне обладнання містить устаткування для виправлення й очищення деталей (гідравлічні та механічні правильні преси, травильні установки, мийні машини, дробо- і гідропіскоструминні апарати та ін.).

До *допоміжного обладнання* належать контрольно-вимірjuвальна апаратура, пристрої для охолодження гартівних рідин, підйимально-транспортне, санітарно-технічне обладнання, установки для приготування захисних атмосфер тощо.

Прилади неруйнуючого методу контролю твердості й структури деталей для визначення пороків металу, глибини загартованого або цементованого шарів, вмісту вуглецю в цементованому шарі (вуглецевий потенціал) становлять самостійну групу.

Нагрівальні печі й установки класифікують за кількома ознаками.

За технологічним призначенням їх поділяють на *універсальні, відпалювальні, гартівні, відпускні, цементаційні, спеціального призначення*.

За температурою розрізняють *низько-, середньо- і високотемпературні* печі й установки.

За видом палива або теплової енергії, що вживається, печі та нагрівальні установки поділяють на *мазутні, газові й електричні*.

Залежно від конструкції, характеру завантаження і розвантаження печі та нагрівальні установки поділяють на камерні, шахтні, ковпакові, ванні, а також карусельні, барабанні, конвеєрні, штовхальні, шнекові (всі — періодичної дії) та інші печі й агрегати неперервної дії.

За характером середовища в робочому просторі розрізняють нагрівальні печі та установки з окисною (повітряною) атмосферою, контрольованими атмосферами (нейтральними, відновлювальними, науглецьовувальними та ін.), печі-ванни (масляні, з розплавом солей, лугів, металів), вакуумні печі.

Найважливішими техніко-економічними характеристиками печей є:

- розміри робочого простору, м;
- робоча площа поду або розміри піддона, м²;
- максимальна температура, °С;
- максимальна продуктивність, кг/год;
- максимальна маса одноразового завантаження, т;
- встановлена потужність, кВт;
- тип атмосфери в робочому просторі та об'ємна витрата захисного газу, м³/год;
- габаритні розміри, м.

Для позначення обладнання термічних цехів та дільниць беруть літерно-цифрову індексацію. Значення перших чотирьох літер індексу печі наведено в табл. 1.1.

Групи цифр після літер означають (дм): *перша група* — ширину поду (для печей з обертовим подом — зовнішній діаметр робочої поверхні поду); *друга група* — довжину поду (для печей з обертовим подом — ширина поду); *третья група* — висоту робочого простору печі або максимальну висоту завантажувального вікна.

Таблиця 1.1 – Літерна індексація печей для нагрівання і термообробки металевих виробів

Перша літера		Друга літера		Третя літера		Четверта літера	
Позначення	Нагрівання	Позначення	Назва	Позначення	Назва	Позначення	Назва
	Г		Газове		А		Карусельна
С	Електричне	Б	Барабанна	В	Вакуум	Л	Лабораторна
И	Індукційне	В	Ванна	Г	Метали	В	Вертикальна
Т	Полуменеве	Г	Ковпакова	З	Захисна атмосфера	М	Механізована
		Д	Із викочуваним подом	М	Масло	Н	Неперервної дії
			Із підвісним конвеєром	Н	Водень	П	Періодичної дії
		Е	Із імпульсним подом	О	Окисна атмосфера		
		И	Конвеєрна	П	Пара водяна – вода		
		К	Тунельна	С	Сіль (селітра)		
		Л	Камерна	Ц	Цементацийний газ		
		Н	Протяжна				
		П	Рольгангова				
		Р	Штовхальна				
		Т	Методична (ковальська)				
		У	Шахтна				
		Ш	Щілизна				
		Щ	Елеваторна				
		Э	Ямна				
		Я					

Ці цифри розділяються крапками і записуються в чисельнику, а в знаменнику вказується гранична робоча температура печі в сотнях градусів Цельсія, а після неї через дефіс зазначаються допоміжні ознаки: для полуменевих печей - вид палива (Г - газ, М - мазут); для електричних печей - літера М - механізована, Х - камера охолодження, П - періодичної дії, М - металевий тигель (для ванних печей), К - ківш (для карусельних печей). Цифри після цих літер для конвеєрних та штовхальних печей показують довжину камери охолодження (дм).

3 ВОГНЕТРИВКІ ТА ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ В ТЕПЛОТЕХНІЧНОМУ ОБЛАДНАННІ

Температура в робочому просторі печі досягає 1400 °С, а в деяких печах вона сягає 3000 °С і може різко змінюватися при завантаженні холодного металу. Мурування поду робочого простору сприймає тиск металу, що нагрівається, та удари при його завантаженні. Воно піддається руйнівній фізико-хімічній дії окалини і шлаку. Тому до матеріалів, з яких виготовляють елементи конструкції внутрішньої будови печей, ставляться досить жорсткі вимоги.

Мурування печей виконують, як правило, в два шари. Внутрішній шар (основний елемент мурування, який називають *футерівкою*) виготовляють з вогнетривкого матеріалу, а зовнішній - з теплоізоляційних матеріалів.

Вогнетривкими називають будівельні матеріали, що мають стійкість при високих температурах і не руйнуються під дією фізичних та фізико-хімічних процесів, які відбуваються у печі.

До вогнетривких матеріалів ставлять такі вимоги:

- вогнетривкість - здатність протистояти, не розплавляючись і не розм'якшуючись при тривалій дії високих температур;

- термостійкість - здатність протистояти різким коливанням високих температур, не розтріскуючись та не руйнуючись;

- висока механічна міцність при великих тисках і температурах;

- мала електропровідність;

- хімічна стійкість до роз'їдаючої дії окалини та шлаку.

Вогнетривкі матеріали поділяються на кислі, лужні, а також нейтральні. Їх виготовляють в основному зі стійких природних матеріалів, надаючи їм форми цегли, блоків,

тиглів, порошоків, криштива, волокна і різних фасонних виробів (труби, клини, пробки та ін.).

Найпоширенішими вогнетривкими матеріалами, які застосовуються для мурування термічних печей і ванн, є алюмосилікати, що складаються переважно з глинозему (Al_2O_3) та кремнезему (SiO_2). Їх добувають випалюванням вогнетривкої глини або каоліну.

Із цієї групи матеріалів часто використовують *шамот*. Він найдешевший, містить 28-45 % Al_2O_3 , 52-60 % SiO_2 і має слабкокислі властивості. Вогнетривкість шамоту становить 1580-1730°C. При додаванні до шамотної маси талюку одержують шамотно-талькову цеглу.

Для мурування поду застосовують високоміцні алюмосилікатні вогнетривкі матеріали, що містять велику кількість глинозему: корундові та дистенсиліманітові. Вони мають лужні властивості. Їх вогнетривкість становить 1700-1800°C.

Кислий вогнетривкий матеріал, який одержують відпалюванням подрібненого кварциту-пісковіку та інших кварцових порід з додаванням вапняку, називають *динасом*. Вогнетривкість динасу становить 1680-1730°C.

Термостійкість динасової цегли нижча, ніж шамотної. Тому її використовують для футерування методичних печей і деяких соляних ванн.

Магнезитові вогнетривкі матеріали виготовляють з відпаленого та подрібненого магнезиту. Вони містять 85 % оксиду магнію і мають лужні властивості. Вогнетривкість магнезиту досягає 2200-2400°C (чистого оксиду магнію - 2800°C). Магнезитові вогнетривкі матеріали використовують лише для футерування високотемпературних печей.

До нейтральних належать *вуглецеві* вогнетривкі матеріали, що витримують нагрівання до 2800°C та слабо взаємодіють з агресивними середовищами. Вироби з них виготовляють відпалюванням антрациту або кам'яновугільної

смоли з додаванням інших вогнетривких матеріалів. Графітові вироби (тиглі та ін.) одержують із природного або штучного графіту. Вуглецеві вогнетривкі матеріали застосовують для футерування високотемпературних електродних соляних ванн, вакуумних печей тощо.

Для зменшення втрат теплоти футерівку ізолюють *теплоізоляційними матеріалами*. Вони мають високу шпаристість, а отже, низьку теплопровідність. Як теплоізоляційні матеріали використовують легкі вогнетриви (піношамот і вогнетриви на основі здутого перлітобетону), азбест, шлаковату, засипки та ін.

Піношамот при однаковій вогнетривкості має в 4-5 разів меншу теплопровідність, ніж звичайний шамот. Однак міцність його трохи нижча. Піношамотну цеглу одержують відпалюванням маси, в яку додано піно- або газотвірні речовини. Вона може замінити звичайні вогнетриви у печах з невисокою температурою (до 1100 °С) або у печах, в яких футерівка не зазнає великих механічних дій.

Пінобетони стійкі до температури не вище 300 °С і застосовуються для зовнішньої ізоляції.

Азбестові матеріали вогнестійкі до 500 °С, при вищих температурах вони обвуглюються. Азбест використовують для низькотемпературної зовнішньої теплоізоляції, а також для іншої мети (наприклад, для ізоляції отворів та тонких перерізів при гартуванні деталей, щоб уникнути утворення гартівних тріщин).

Сучасними матеріалами для зовнішньої теплоізоляції є шлаковата (до 700 °С), графітовий фетр, графітова повсть, кераміка та ін.

Для засипання внутрішніх порожнин у конструкції печі застосовують шамотне кришиво, діатомітові порошки тощо. Максимальна робоча температура діатомітових порошків становить 900°С.

Як вогнетривкі та теплоізоляційні матеріали використовують також вогнетривкі обмазки, бетони, звичайну цеглу, мергелі (вогнетривкі зв'язувальні речовини) та ін.

Додаткову теплову захисну дію і добрий естетичний вигляд створює покриття зовнішніх поверхонь печей алюмінієвими фарбами або вапнування.

4 ДЖЕРЕЛА ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ ТА ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ НАГРІВАННЯ ПЕЧЕЙ І УСТАНОВОК

Для одержання теплової енергії в термічних цехах застосовують *рідке та газоподібне паливо*, а також *електричну енергію*. Печі, які працюють на цих видах палива, називають відповідно *паливними та електричними*.

Як рідке паливо використовують мазут. Він має велику в'язкість, погано розпилюється, утруднює автоматизацію теплового режиму печей і погіршує санітарно-технічні умови в цеху, оскільки при горінні мазуту виділяється багато диму. Тому нині мазутні печі замінюють на печі, що працюють на газоподібному паливі або електричній енергії. Рідке паливо спалюють у печах за допомогою *форсунок* низького тиску.

Як газоподібне паливо застосовують природний або генераторний газ. Донині при проектуванні потужних печей та агрегатів віддавали перевагу газовому нагріванню, тому що вартість одиниці теплоти при спалюванні газу в 4-5 разів була меншою, ніж при використанні електричної енергії. Газ спалюють у пальниках низького і високого тисків, а також у радіаційних трубах.

На рис. 4.1 зображено схему дифузійного пальника низького тиску. Подача газу в пальник регулюється клапаном 1. Холодне повітря, що подається в пальник, омиває й охолоджує газове сопло 2. У дифузійних пальниках пов-

не змішування газу та повітря відбувається в робочому просторі печі.

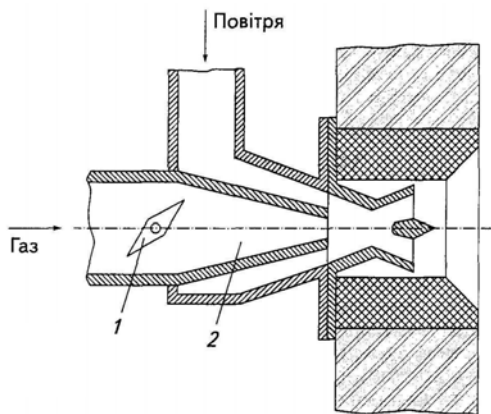


Рисунок 4.1 – Схема дифузійного пальника низького тиску

До пальників високого тиску належать інжекторні пальники. Потрібне для горіння повітря в них засмоктується (інжектуються) струменем газу, який подається під високим тиском, або, навпаки, газ інжектуються повітрям. Утворення газоповітряної суміші в такому пальнику повністю завершується в камері змішування (рис. 4.2). Завдяки доб-

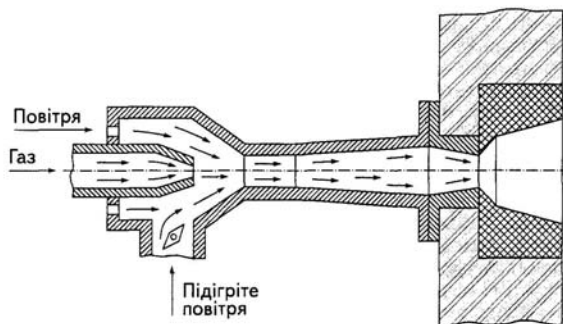


Рисунок 4.2 – Схема інжекторного паяльника

рому змішуванню газу з повітрям інжекторні пальники працюють із малим надлишком повітря і дають безполумене горіння з вищою температурою, ніж дифузійні пальники.

Із метою економії палива та підвищення температури полум'я в пальники подають повітря, підігріте вихідними пічними газами. Для цього печі обладнують *регенераторами* і *рекуператорами*.

У сучасних безмуфельних печах газ спалюється в радіаційних (випромінювальних) трубах. На одному кінці такої труби змонтовано пальник, а через інший виводять продукти горіння. У таких печах продукти горіння ізолювано від робочого простору, що дає змогу вести нагрівання оброблюваних деталей в контрольованій атмосфері (*муфельювання полум'я*).

На рис. 4.3 показано схему одного з варіантів радіаційної труби. Холодне повітря подається по трубі рекуператора 1 і, нагріваючись завдяки теплоті газів, які виходять крізь патрубок, інжекується пальником 5. Газ надходить у пальник по трубі 6 та згоряє в радіаційній трубі 4, стінки якої нагріваються і випромінюють теплоту в робочий простір печі. Продукти згоряння відводяться через трубу регенератора 2 витяжною системою. Радіаційна труба кріпиться до стінки печі 3.

При використанні радіаційних труб сучасних конструкцій з рекуператорами ККД газових печей досягає 70%, що практично дорівнює ККД електричних печей (70-75%), але значно більше, ніж ККД звичайних теплових печей (12-25%), робоча температура в яких досягає 900-1150 °С.

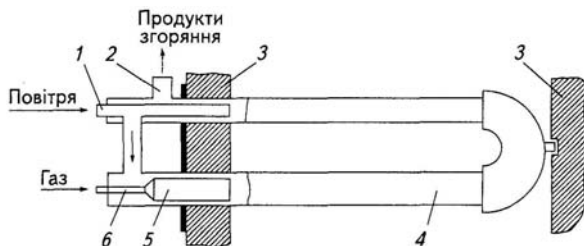


Рисунок 4.3 – Схема радіаційної труби

Електричні печі мають переваги перед паливними:

- можливість одержання в робочому просторі будь-яких температур до 3000 °С;
- легкість та висока точність регулювання теплового режиму;
- зручність механізації, автоматизації й обслуговування;
- можливість щільної герметизації і застосування будь-яких захисних середовищ;
- відсутність димових систем та компактність;
- забезпечення сприятливих для працівників санітарно-гігієнічних умов у цеху тощо.

У електричних печах застосовують металеві, а також неметалеві нагрівники з високим електричним опором.

Металеві нагрівники виготовляють з ніхромів і фехралей у вигляді дроту, стрічки або дротяних спіралей, які вкладають у печі зигзагоподібно. Використовують також готові нагрівники закритого типу - трубчасті (ТЕНи) у вигляді спіралі, щільно запресованої у металеву трубу. Вони застосовуються в основному для нагрівання рідких та агресивних середовищ. Останніми роками знаходять широке використання радіаційні труби з електронагрівальними елементами опору.

Ніхромові, а також фехралеві нагрівники застосовують до температур, що не перевищують 1200°С (для ТЕНів -

400-450°C). Для одержання вищих температур використовують нагрівники з молібдену і ніобію (до 2200°C), танталу та вольфраму (до 2800°C). Для захисту нагрівників з тугоплавких металів від окиснення потрібні вакуум або нейтральні атмосфери.

Неметалеві нагрівники поділяють на карборундові, дисиліцидмолібденові, а також графітні.

Карборундові нагрівники (силітові та глобарові) виготовляють у вигляді циліндричних стрижнів. Вони можуть працювати при температурі до 1400 °С. З часом карборундові нагрівники старіють, тому їх приєднують до електромережі через трансформатор з регульованою вторинною напругою, для компенсації втрати струму через підвищення опору нагрівника.

Нагрівники з дисиліциду молібдену можуть працювати в окисному середовищі при температурі до 1700 °С. Їх виготовляють у вигляді прямих і зігнутих стрижнів круглого перерізу.

У високотемпературних вакуумних печах та печах із нейтральними атмосферами встановлюють графітні нагрівники у вигляді стрижнів, труб, пластин тощо. Максимальна робоча температура їх становить 3000°C.

5 ОСНОВНЕ ОБЛАДНАННЯ ТЕРМІЧНИХ ЦЕХІВ

5.1 Печі та нагрівальні установки періодичної дії

5.1.1 Камерні печі

Для нагрівання деталей дрібних та середніх розмірів у термічних цехах індивідуального і серійного виробництв широко застосовують камерні печі *періодичної дії*. Вони прості за конструкцією, універсальні за призначенням і можуть працювати на рідкому та газоподібному паливі або на електричній енергії.

На рис. 5.1 показано конструкцію термічної камерної печі, що працює на мазуті. Піч складається з прямокутної камери з футерівкою 2 з шамотної цегли, перекритої склепінням і вміщеної в корпус 1 із листової сталі. Форсунку низького тиску 3 встановлено в торці печі. Спалювання палива відбувається в топковій камері 4, розміщеній під піддоном 6. Гарячі гази, які утворилися при згорянні палива, по вертикальному каналу 8 подаються в робочий простір 7, обмивають деталі (садку) 11 і, пройшовши горизонтальні канали 9, виходять через димову трубу. Деталі нагріваються теплотою гарячих газів та теплотою, яку випромінюють нагріті стінки, під і склепіння печі. Завантаження та розвантаження деталей здійснюються через вікно, що закривається заслінкою 5 за допомогою педального пристрою 10. Площа поду становить 0,32 м². Максимальна температура в печі - 900 °С, продуктивність - 30 кг/год, витрата мазуту - 6-8 кг/год.

Недоліки таких печей: відсутність механізмів завантаження та розвантаження, часте прогорання поду.

Камерна піч з підподовими топками може працювати також на газоподібному паливі. Такі печі часто обладну-

ють рекуператорами для підігрівання повітря, яке подається в пальники, теплою газів, що виходять.

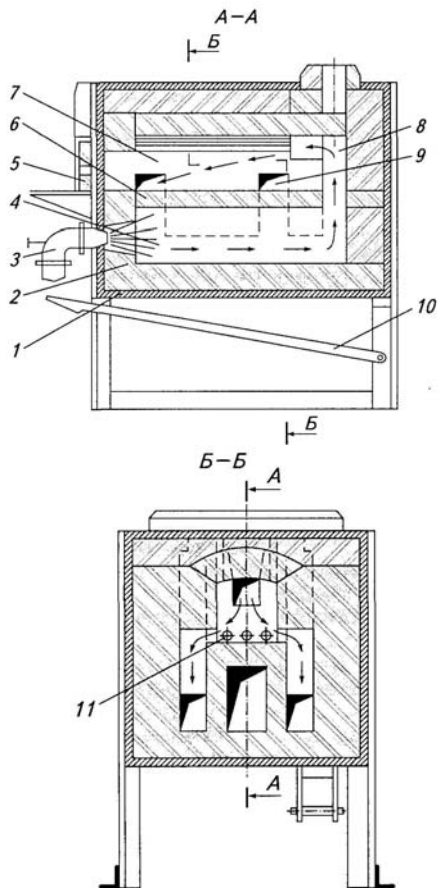


Рисунок 5.1 – Термічна камерна піч, яка працює на мазуті

У термічних відділеннях інструментальних і механічних цехів установлюються камерні газові печі з кульовим подом (рис 5.2). На поду такої печі є чотири жолобкові напрямні, в які вкладено кулі з жаротривкої сталі. Вони полегшують пересування піддонів з деталями або цементайних ящиків при завантаженні та розвантаженні печі.

Піч має інжекторні пальники. Температура в печі контролюється термopарою.

Піч працює на природному газі з витратою 35-45 м³/год. Максимальна температура в печі становить 950°C. Розміри поду печі - 1150 x 1900 мм, висота вікна - 520 мм. Продуктивність печі при цементації - 25 кг/год, при гартуванні й нормалізації - 200-250 кг/год.

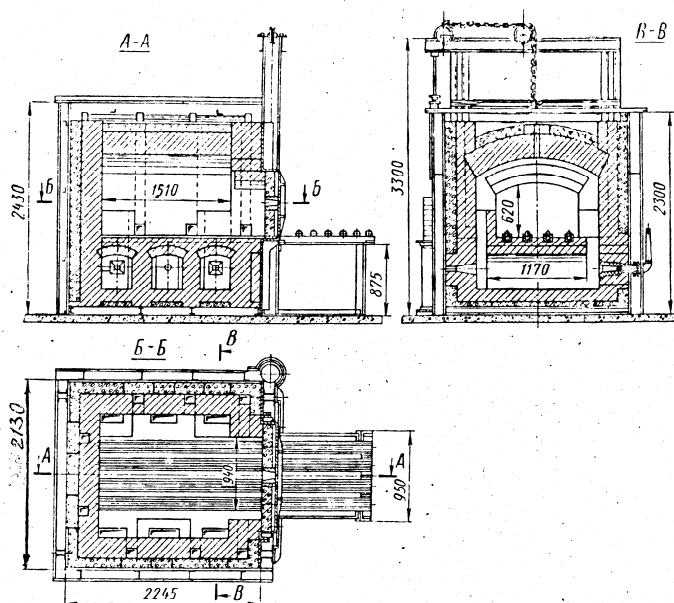


Рисунок 5.2 – Камерна газова піч з кульовим подом

Для термообробки великогабаритних виробів, виливків, поковок, сортового і листового прокату застосовують камерні печі з викочуваним подом (індекс ТДО). Футерований під таких печей пересувається на колесах або котках по рейковій чи жолобковій напрямній за допомогою лебідки (рис 5.3).

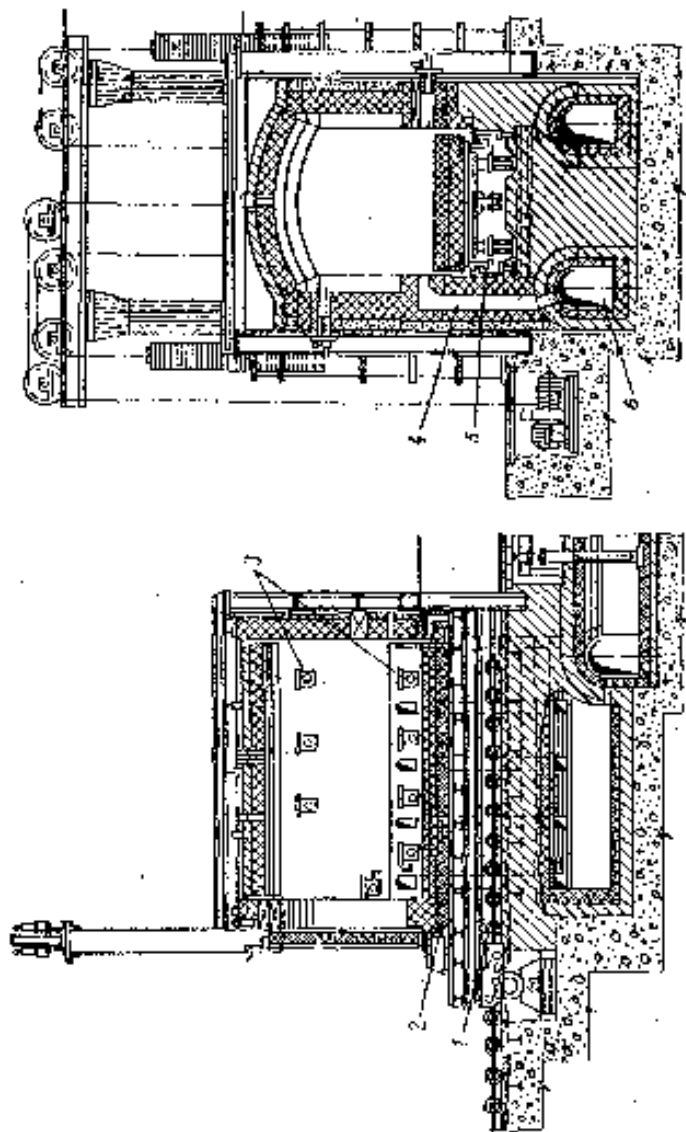


Рисунок 5.3 - Камерна піч з викочуваним подом типу ТДО

Печі з викочуваним подом опалюються природним газом або мазутом. Контроль температури автоматичний. Максимальна температура нагрівання металу становить 1150°C при максимальній масі садки 300 т.

При використанні контрольованих атмосфер у печах із викочуваним подом (індекс ТДЗ) садку металу муфелюють. *Муфелем* називають герметичну камеру з вогнетривкої цегли (або жароміцної сталі), яка захищає вироби, що нагріваються, від контакту з продуктами згоряння палива (*муфелювання садки*). Кінцева температура нагрівання металу в печах ТДЗ становить 900°C при максимальній масі садки до 12 т.

Нині електричні печі з викочуваним подом (СДО) виготовляються серійно. Вони призначені для роботи при температурах до 700°C (*низькотемпературні*), до 1000°C (*середньотемпературні*) та до 1250°C (*високотемпературні*). Нагрівники в цих печах розміщені на стінах камери і поді (візку). Потужність великих електричних печей з викочуваним подом досягає 3-5 МВт.

Камерні електричні печі опору найпростіші за конструкцією та зручні в керуванні. Випускаються вони серійно на робочу температуру до 1250°C з металевими нагрівниками (серія СНО - з окисною атмосферою, серія СНЗ - з захисною), а на робочу температуру до 1600 °C - з нагрівниками з карборунду і дисиліциду молібдену (раніше серія Г).

Усі серійні печі на максимальну робочу температуру до 700°C оснащені вентиляторами, що інтенсифікують процес нагрівання та збільшують рівномірність розподілу температури в робочому просторі печі.

На рис. 5.4 показано конструкцію камерної електричної печі опору типу СНЗ. Піч нагрівається металевими елементами, розміщеними на бічних стінах 1, склепінні 2 та під подовою плитою 3. Живлення печі здійснюється від

мережі трифазного струму. Захисна атмосфера подається до дверцят печі. При їх відкриванні вона займається і створює полуменеву газову завісу. Залежно від потужності печі дверцята мають педальний, пневматичний або електро-механічний приводи.

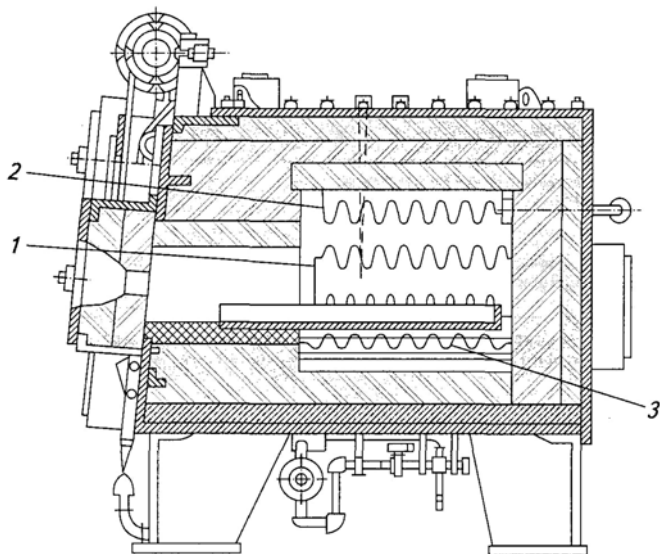


Рисунок 5.4 – Камерна електрична піч опору типу СНЗ

Максимальні розміри робочого простору печей серій СНО та СНЗ становлять 2300 x 4600 x 1500 мм. Печі застосовують для *відпуску, відпалу, нормалізації та гартування* деталей і виробів.

Конструкцію електричної печі типу СНО-3.4.2,5/13 з карборундовими нагрівниками зображено на рис. 5.5. Карборундові нагрівники 2 по чотири штуки розміщені горизонтально під склепінням 1 і подом 3 печі. Піч живиться від трансформатора з кількома ступенями напруги. У деяких конструкціях цих печей використовують контрольовані атмосфери.

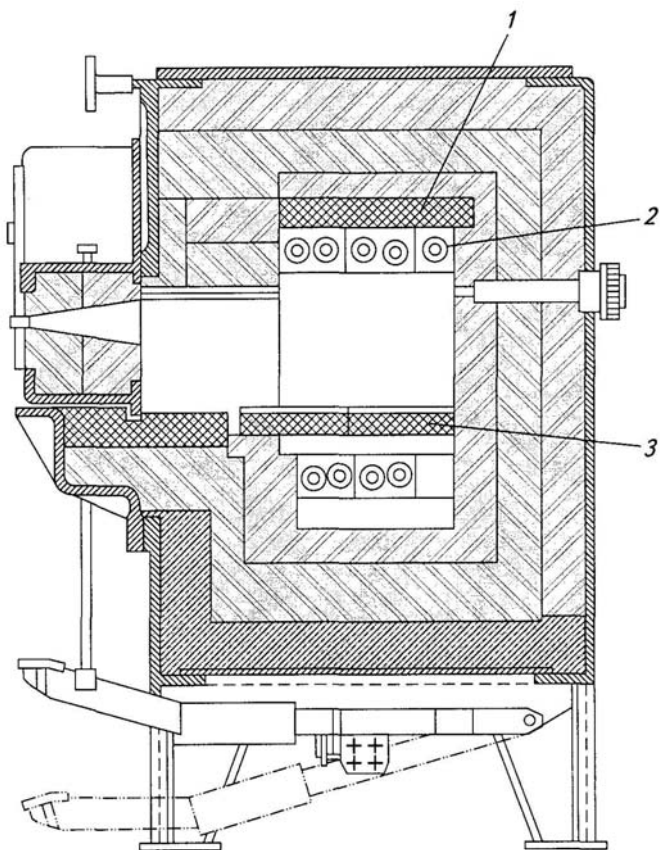


Рисунок 5.5 – Електрична піч типу СНО-3.4.2,5/13
з карборундовими нагрівниками

Технічна характеристика такої печі: робоча температура 1300 °С; розміри робочого простору 300 x 400 x 250 мм; потужність 30 кВт; продуктивність 50 кг/год.

Недолік таких печей - частий вихід з ладу карборундових нагрівальних елементів.

У всіх типах камерних електричних печей температура вимірюється за допомогою термопар та регулюється автоматично.

До загальних недоліків цих печей належать: тривале нагрівання виробів, оскільки передача теплоти відбувається лише випромінюванням; необхідність заземлення за технікою безпеки; значна вартість електричної енергії.

Камерними печами періодичної дії є нагрівальні установки типу ПАП (печі аеродинамічного підігрівання). Вони працюють на принципово новому методі обігрівання, що ґрунтується на генерації теплоти внаслідок руху повітря з великою швидкістю у замкненому просторі. Ці печі застосовують для нагрівання під гартування деталей з алюмінієвих і магнієвих сплавів.

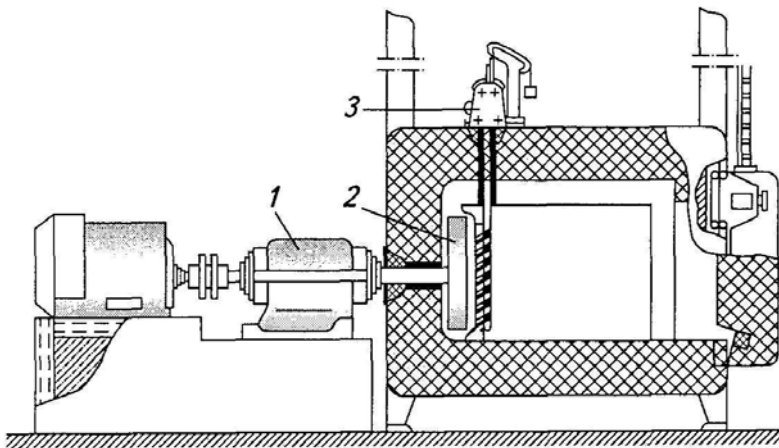


Рисунок 5.6 – Схема печі ПАП-9

Схему печі ПАП-9 показано на рис. 5.6. Потік повітря або газу в пічному просторі створюється ротором відцентрового вентилятора 2 з профільованими лопатками. Він приводиться в рух електродвигуном 1. Контроль режиму

роботи здійснюється регулятором потужності, а також теплового ефекту 3. Передача теплоти до сталей відбувається конвективним способом, що забезпечує прискорене підігрівання їх та високу рівномірність температури по всьому об'єму печі ($\pm 1-3^{\circ}\text{C}$).

Технічна характеристика печі ПАП-9: робоча температура $500\pm 3^{\circ}\text{C}$; розміри робочої камери 1500x1100x1100 мм; частота обертання ротора 1460 об/хв; потужність приводу 40 кВт.

Завантаження деталей в камерні електричні печі здійснюється вручну, краном або за допомогою завантажувальних механізмів, які встановлюються перед дверцятами печі.

5.1.2 Шахтні печі

Ці печі використовують для термічної, а також хіміко-термічної обробки довгомірних, великогабаритних чи невеликих деталей (зубчастих коліс, втулок та ін.), розміщених у спеціальних контейнерах або кошиках. Розміщення довгих деталей у печі в підвішеному стані забезпечує їм мінімальну деформацію.

Шахтна піч - це футерована шахта циліндричного або квадратного перерізу. Каркас печі виконаний з листової сталі. Робочий простір печі перекривається кришкою, що може мати ручний, пневматичний або електромеханічний приводи.

Для зручності обслуговування шахтні печі будують у напрямку на цегляному або бетонному фундаменті. Печі розміщуються в зоні дії транспортних засобів: електричних талей, мостових кранів тощо.

Нагрівання шахтних печей проводиться з використанням рідкого та газоподібного палива або електричної енергії.

Паливні шахтні печі зі звичайною повітряною атмосферою (серія ТШО) мають максимальну робочу температуру 1100°C. У печах з використанням контрольованих атмосфер (серії ТШЗ) встановлюється муфель із жароміцної сталі. Максимальна робоча температура цих печей становить 900°C.

Електричні шахтні печі з окисною атмосферою (серія СШО) мають максимальну робочу температуру 700°C, а з контрольованою атмосферою (серія СШЗ) - до 1300°C.

Конструкцію шахтної електричної печі серії СШЗ із контрольованою атмосферою зображено на рис. 5.7.

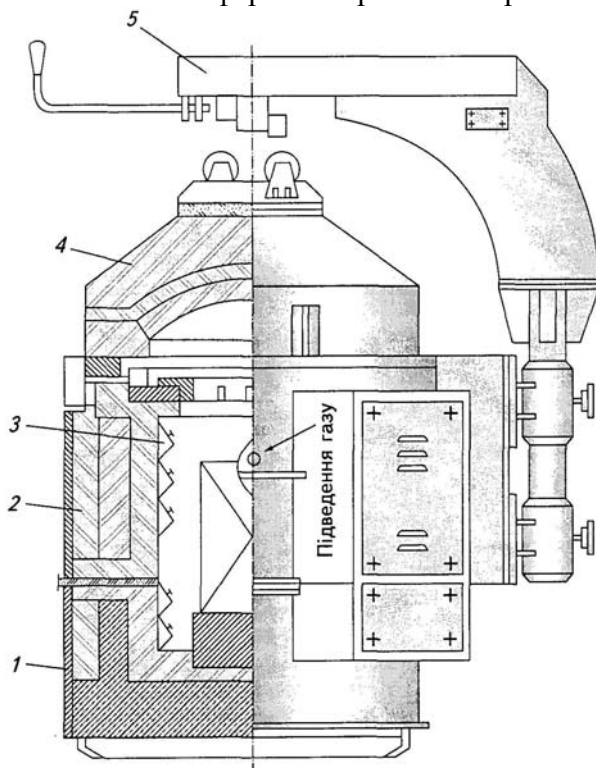


Рисунок 5.7 – Електрична шахтна піч серії СШЗ із контрольованою атмосферою

Піч складається зі зварного кожуха 1, який всередині має футерівку 2. На стінах камери розміщено металеві нагрівальні елементи 3. Піднімання та опускання кришки 4 виконується механізмом 5, герметизація здійснюється піщаним затвором. Контрольована атмосфера підводиться у верхню частину камери, а відведення газів проводиться через трубку в нижній частині печі.

Електричні шахтні печі типів СШО і СШЗ випускаються з такими розмірами робочого простору: діаметр 200-6000 мм, висота 300-6000 мм.

Для *газової цементації, нітроцементації, азотування та відпуску* деталей застосовують електричні шахтні печі серії СШЦ та США. Процес хіміко-термічної обробки деталей здійснюється в герметичній реторті з жароміцної сталі, розміщеної в робочій камері печі. Навуглецьовувальна атмосфера створюється випаровуванням та розкладанням рідкого карбюризатора (гасу, синтину, триетаноламіну), що подається в реторту через крапельницю в кришці печі. Відпрацьований газ відводиться через трубку і спалюється. Для створення вихрових потоків газу та вирівнювання складу газової суміші в реторті встановлено вентилятор.

Охолодження деталей після цементації здійснюється в колодязі в середовищі відпрацьованих газів. Колодязь монтується поруч із піччю. Він має вигляд сталевого циліндра з подвійними стінками, між якими циркулює вода. Деталі під час охолодження не окиснюються.

Максимальна температура печей серії СШЦ становить 950°C. Робочі розміри реторт: діаметр 300, 450 та 600 мм; висота 450, 600, 900 і 1200 м. Потужність печей – 35-110 кВт.

Для газової цементації деталей із застосуванням природного газу або ендогазу з домішками вуглеводнів часто застосовують безмуфельні печі серії СШЦ. При однако-

вому завантаженні порівняно з муфельними печами серії СШЦ вони мають в 2,5-3 рази більшу продуктивність, у 2-2,5 рази меншу витрату електричної енергії, в 2-3 рази скорочений цикл цементації.

Максимальна температура печей серії СШЦ становить 1050°C. Розміри робочого простору: діаметр 300-600 мм, висота – 450-1200мм. Потужність печей – 20-110 кВт.

Електричні шахтні печі для азотування деталей мають індекс США. Азотування виконується в муфелі з жаротривкої сталі. Печі бувають двох типів: *періодичної* та *напівнеперервної* дії. Останні мають два змінних муфелі. Після закінчення процесу азотування муфель з деталями виймають з печі та завантажують в охолоджувальний колодязь, а на його місце ставлять підготовлений для азотування муфель з деталями. Для створення циркуляції газу в муфелі встановлено вентилятор.

Електричні шахтні печі серії США випускаються на робочу температуру 650°C з розмірами робочого простору: діаметр 200-250 мм, висота 300-3750 мм. Потужність печей становить 12-300 кВт.

Для відпуску сталі застосовують електричні шахтні печі з примусовою циркуляцією повітря. Вони мають потужність 24-75 кВт.

У всіх типів шахтних печей температура вимірюється за допомогою термопар і регулюється автоматично. На великих печах термопари встановлюють в кількох зонах робочого простору.

Порівняно з камерними шахтні печі займають у цеху меншу площу, а на одиницю площі поду дають більшу кількість продукції.

До загальних недоліків шахтних печей слід віднести: нерівномірне нагрівання по висоті печі (особливо деталей великої довжини) та велику витрату жаротривких сталей на муфелі, а також пристрої.

5.1.3 Ковпакові та елеваторні печі

Ковпакові печі використовують для *безокисного відпалу дроту, стрічки, рулонного листа, дрібносортового прокату*. Вони мають вигляд футерованого ковпака, який встановлюється на нерухомий під. Газові ковпакові печі обігріваються радіаційними трубами, а електричні - металевими нагрівниками. При застосуванні захисної атмосфери використовують муфель.

Садку встановлюють на стенд (під) печі і за допомогою крана накривають ковпаком, причому під ковпаком можуть бути два-три стенди, що працюють у певній послідовності.

На рис. 5.8 показано електричну ковпакову піч серії СГЗ із захисною атмосферою. Ковпак 1 футерований шамотною і діатомітовою цеглами. Нагрівники підвішено на крючках 2. Муфель 3 подвійний газонепроникний виготовлено з жаротривкої сталі. Маса садки 25 т. Робоча температура 900°C. Потужність печі 380 кВт. Витрата захисного газу 2,5 м³/год.

Ковпакові печі виготовляють в індивідуальному виконанні та серійно на робочу температуру до 350°C (для низькотемпературного відпуску) і до 1200°C (для безокисного відпалу).

У елеваторних печах футеровану камеру з нагрівниками (ковпак) піднято над рівнем підлоги на колонах. Установлений на платформі футерований під із завантаженням піднімається гідравлічним або електромеханічним приводом у камеру і залишається там протягом усього циклу термообробки. Елеваторні печі призначені для тривалого відпалу великогабаритних виливків та зварних виробів.

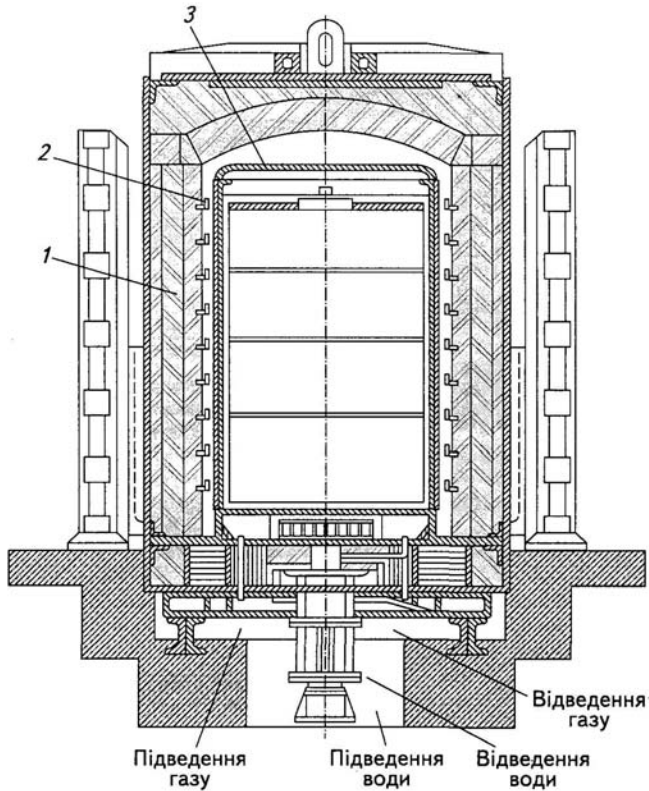


Рисунок 5.8 – Електрична ковпакова піч серії СГЗ із захисною атмосферою

5.1.4 Вакуумні печі

Ці печі застосовуються для *безокисного нагрівання при термообробці деталей з трансформаторних й електротехнічних сталей, тугоплавких металів і сплавів*. Вони мають вигляд герметичного сталевого кожуха, що охолоджується водою, в якому розміщено нагрівальну камеру.

Нагрівання камери здійснюється металевими (ніхромовими, вольфрамовими, молібденовими, танталовими)

або графітовими нагрівниками опору. З метою виключення електричного пробоя, що легко виникає при підвищених температурах у вакуумі, всі печі працюють на зниженій напрузі. У деяких печах використовують індукційне нагрівання.

Мурування печей виконується з кераміки, графіту або роль теплової ізоляції відіграють системи металевих екранів.

До складу вакуумної печі (рис. 5.9) входять: знижувальний автотрансформатор; трансформатор для живлення допоміжних систем та механізмів печі; вакуумна система; механізми пересування садки, підняття дверцят, пересування стола гартівної ванни; водоохолоджувальна система; щити керування й автоматичного регулювання температури і контролю якості вакууму.

Вакуумна система складається з вакуумного насоса (найчастіше механічного), трубопроводів, вентилів, затворів. У печах з нагрівниками та екранами, виготовленими з молібдену або вольфраму, не допускається під час роботи знижувати вакуум у робочому просторі нижче $6,6 \cdot 10^{-2}$ Па, оскільки це призведе до окиснення і виходу з ладу зазначених елементів.

Для забезпечення постійного вакууму та температури в робочому просторі багато печей обладнано шлюзовими камерами, через які здійснюються завантаження і розвантаження деталей.

Промисловість випускає цілу серію електричних вакуумних печей різної конструкції: камерні, шахтні, елеваторні, штовхальні, з крокуючим подом, тунельні та ін. Потужність їх знаходиться у межах 10-1760 кВт. Робоча температура досягає 2500°C , залишковий тиск - 10^{-7} Па. Розміри робочого простору в лабораторних камерних печах типу СНВЛ становлять 100 x 300 x 100 мм, у тунельної печі типу СЛВ - 6000 x 1200 x 400 мм.

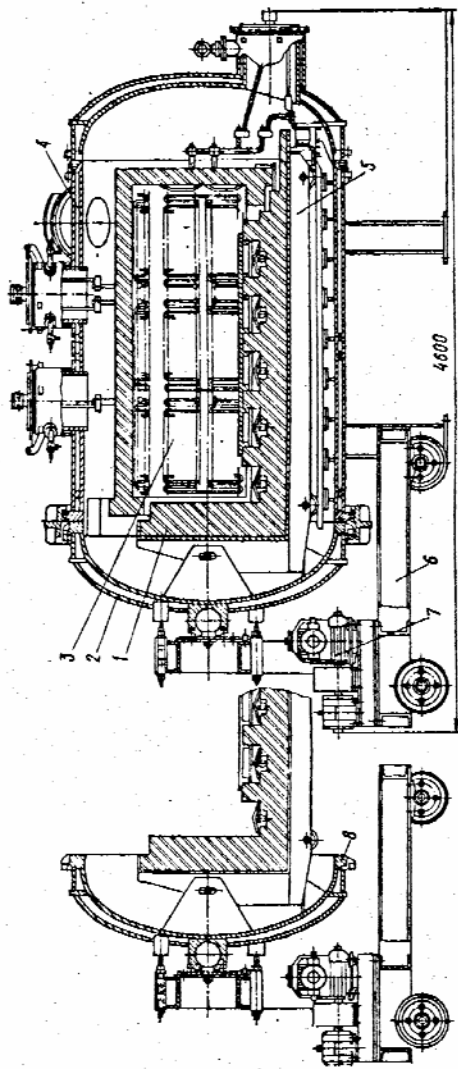


Рисунок 5.9 – Вакуумна камера під з викочуваним подом типу СДВ : 1 - футерівка;
 2 – кожух; 3 – нагрівники; 4 - ; 5 - ; 6 – візок; 7 – електропривід; 8 - вакуумний за-
 твор

5.1.5 Печі-ванни

У термічних цехах машинобудівних заводів для нагрівання виробів під *гартування, відпуск, нормалізацію, хіміко-термічну обробку і для охолодження при східчастому та ізотермічному гартуванні* застосовують печі-ванни. Нагрівання в них здійснюється рідким теплоносієм - розплавленими солями, лугами, металами (свинець, олово, їхні сплави, силумін), мінеральними маслами.

Найбільшого поширення дістали соляні, а також лужні нагрівні середовища. Залежно від потрібної температури та виду обробки вони складаються з чистих компонентів або сумішей їх у певній пропорції. Склад, характеристику та сфери застосування сумішей солей і лугів для печей-ванн наведено в табл. 5.1.

У процесі роботи соляні та лужні розплави насичуються киснем і набувають окисної та знеуглецювувальної здатності. Тому до і в процесі роботи ванни періодично розкиснюють введенням невеликих домішок ректифікаторів. Для розкиснення ванн із хлористими солями застосовують феросиліцій та буру, ванн із хлористим барієм - фтористий магній, лужних ванн - ціаністі солі. Нерозчинені окиси (шлам) виводять із ванн дірчастими черпаками.

Нагрівання в рідких середовищах має ряд переваг перед нагріванням у печах:

- більші швидкість і рівномірність нагрівання, що дає змогу досягти вищої продуктивності;
- висока точність регулювання температури;
- відсутність окиснення та знеуглецювання поверхні деталі;
- можливість здійснення місцевої термічної і хіміко-термічної обробки.

Таблиця 5.1 – Сфери застосування сумішей солей і лугів для печей-ванн

Склад суміші	Температура, °С		Сфера застосування
	плавлення	застосування	
Соляні ванни			
100% BaCl ₂	900	1050-1350	Нагрівання швидкорізальних, нержавіючих та інших сталей
78% BaCl ₂ + 22% NaCl	640	750-900	Нагрівання для гартування вуглецевих і низьколегованих сталей
50% NaCl + 50% KCl	670	750-900	
20% KCl + 60% NaCl + 20% Na ₂ CO ₃	700	750-900	
100% NaNO ₃	310	400-550	Нагрівання для відпуску східчатого й ізотермічного гартування
50% NaNO ₃ + 50% KNO ₃	220	300-400	
50% NaNO ₃ + 50% KNO ₂	150	160-300	
20-25% NaCN + 20-50% NaCl + 25-50% Na ₂ NO ₃	-	820-960	Ціанування
8% NaCN + 10% NaCl + 82% BaCl ₂	-	930-960	
20-80% NaCN + 25-30% NaCl + 45-50% Na ₂ CO ₃	-	530	
30% NaCl + 60-70% CaCl ₂ + 3% K ₄ Fe(CN) ₆	-	840-860	Цементация
10-15% NaCl + 75-80% Na ₂ CO ₃ + 6-10% SiC	-	850-860	
Лужні ванни			
20% NaOH + 80% KOH	140	160-300	Охолоджувальне середовище при гартуванні
35% NaOH + 65% KOH	155	170-300	
25% NaOH + 75% KOH	140	150-250	

Разом із тим цьому виду нагрівання властивий ряд недоліків:

- необхідність періодичної заміни солей;
- мала стійкість тиглів (особливо при використанні розплавленого силуміну);
- необхідність очищення деталей від налиплих солей та лугів, масла;
- вимоги дуже строгого дотримання правил безпечної праці у зв'язку зі шкідливістю ціаністих солей, свинцю і можливими викидами рідких середовищ.

Піч-ванна - це шахтна піч із установленою в робочому просторі ванною або тиглем. Такі печі можуть працювати на рідкому та газоподібному паливі або на електричній енергії. Мазутні печі-ванни і частково газові не забезпечують високої точності регулювання температури, тому вони застосовуються обмежено.

За способом нагрівання печі-ванни поділяють на два типи:

- із зовнішнім обігріванням, в яких нагрівальні елементи розміщені поза ванною;
- із внутрішнім обігріванням, в яких генерація теплоти здійснюється в рідинному середовищі ванни.

Залежно від температури нагрівання розрізняють *низькотемпературні* (120-700°C), *середньотемпературні* (700-950°C) та *високотемпературні* (1000-1300°C) печі-ванни.

Тиглі для ванн із зовнішнім обігріванням виготовляють відлитими, штампованими або зварними з товщиною стінки 12-30 мм. Оскільки теплота передається розплаву через стінки тигля, температура нагрівального простору печі має перевищувати температуру розплаву, що збільшує небезпечність прогоряння тигля. У зв'язку з цим у печах-ваннах передбачено аварійне стікання солей і рідкого металу.

Робоча температура полумєневих печей-ванн не перевищує 850°C. Середня продуктивність їх залежить від розмірів тигля та змінюється в межах 20-125 кг/год.

Зовнішнє нагрівання тигля в електричних печах-ваннах здійснюється за допомогою спіральних і стрічкових нагрівників опору, розміщених у кілька рядів на бічних стінках мурування. Іноді для нагрівання застосовують карборундові стрижні.

Електричні тигельні печі-ванни із зовнішнім обігріванням випускаються трьох типів: СВГ-1,5.2/8,5-М1, СВГ-2,5.2/8,5-М1, СВГ-3,5.4/8,5-М1 із продуктивністю відповідно 30,80 та 130 кг/год і потужністю 10, 20 та 30 кВт.

Конструкцію електричної печі-ванни серії СВГ зображено на рис. 5.10. Піч складається з тигля 8, що утримується на чавунній плиті 6. Тигель закривається кришкою 5 з отвором 4 для закріплення деталей з пристроями й отвором для термопари 2. Робочу камеру 7 викладено шамотною цеглою. Виведення парів солі відбувається через патрубок 3. Для стікання розплавлених солей і металу передбачено отвір 1.

Залежно від способу генерації теплоти печі-ванни з внутрішнім обігріванням бувають трьох типів: з обігріванням трубчастими електронагрівниками опору, електродні й індукційні.

Печі-ванни першого типу мають трубчасті нагрівники (ТЕНи), опущені безпосередньо в розплав. Згинаючи в нагрітому стані, їм надають зручної для використання U-подібної форми. Для прискорення нагрівання та збільшення його рівномірності ванни оснащують механічними мішалками або насосами. Максимальна робоча температура печей-ванн із трубчастими нагрівниками становить 520 °С. Їх застосовують для відпуску й охолодження при східчастому гартуванні інструментальних сталей, для термообробки деталей з алюмінієвих сплавів та ін.

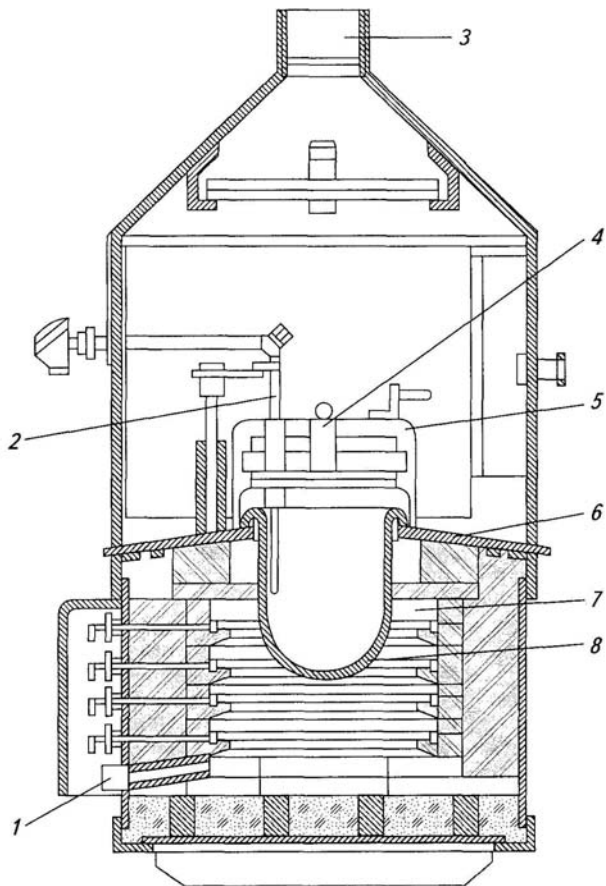


Рисунок 5.10 – Електрична піч-ванна серії СВГ

Найпоширенішими є електродні соляні ванни. Нагрівання виробів у них здійснюється теплотою, що виділяється при проходженні електричного струму через розплав солі, яка чинить великий опір. Щоб уникнути електролізу солі, використовують змінний струм, знижуючи напругу з 380 або 220 до 6-30 В за допомогою трансформатора. Струм подається до електродів, опущених у розплав.

Рівномірне нагрівання забезпечується інтенсивною циркуляцією розплавленої солі, що зумовлюється взаємодією магнітних полів електродів. Електродні печі-ванни найекономічніші, вони дають змогу одержувати високі температури - до 1300 °С.

За конструкцією робочого простору електродні соляні ванни можна поділити на дві групи:

- печі-ванни з робочою камерою з вогнетривкого матеріалу, які використовують як високо- і середньотемпературні;

- печі-ванни з металевим тиглем, які застосовують як низькотемпературні та рідше середньотемпературні.

Електроди для низькотемпературних ванн виготовляють із сталей марок 10, 15 або 20, для середньо- і високотемпературних - із жароміцних сплавів 12Х17, 15Х28, 12Х18Н9Т та ін.

У практиці машинобудівних заводів добре виправдали себе трифазні соляні ванни серій С і СВС.

На рис. 5.11 показано конструкцію трифазної печі-ванни серії СВС. Ванну прямокутної форми викладено шамотною цеглою у проміжному кожусі-тиглі 8, разом з яким вона може легко вийматися з печі та замінюватися новою. Вздовж одного з боків ванни розміщено три сталеві електроди 2, до яких через шинопровід 6 підведено напругу від вторинних обмоток знижувального трансформатора. Для захисту електродів від можливого замикання через деталь, що нагрівається у ванні, встановлено металеву перегородку 1. Температуру ванни вимірюють радіаційним пірометром 5. Пари солі виводять у витяжну систему через ковпак 4. Для захисту робітників від бризок розплавленої солі завантажувальний отвір у ковпаку закрито ланцюговою завісою 3.

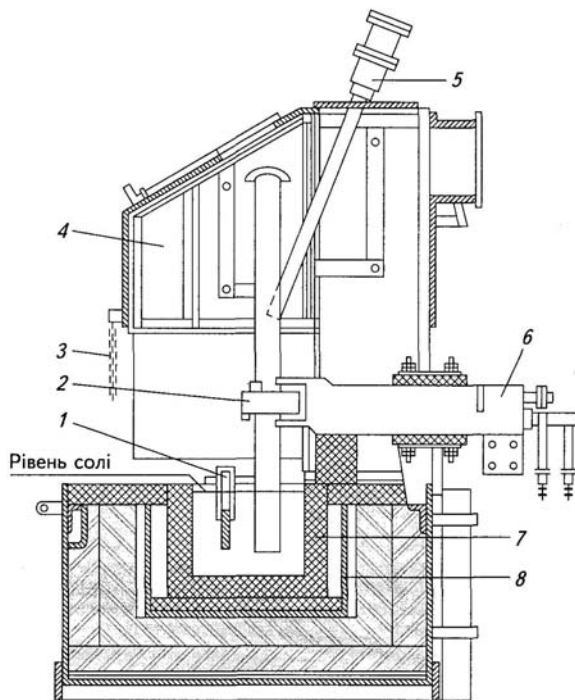


Рисунок 5.11 – Трифазна електродна піч-ванна серії СВС

Промисловість випускає електродні печі-ванни серії СВС потужністю 20, 35, 60 та 100 кВт з розмірами робочого простору до 350 x 800 x 400 мм і продуктивністю до 270 кг/год.

Температуру печей-ванн до 1300 °С вимірюють радіаційними пірометрами, а для вимірювання температур до 1000°С використовують термопари.

Електродні соляні ванни застосовують:

- до 650°С - для низькотемпературного відпуску сталі, відпалу і нагрівання під гартування алюмінієвих сплавів, для низькотемпературного ціанування, азотування, першого ступеня нагрівання під гартування та східчастого гартування швидкорізальної сталі;

- до 850°C - для нагрівання під гартування вуглецевої сталі, середньотемпературного ціанування, відпалу сталі, а також кольорових металів, для другого ступеня нагрівання під гартування швидкорізальної сталі;

- до 1000°C - для нагрівання під гартування вуглецевої і низьколегованої сталей та для термообробки чавунних виливків;

- до 1300°C - для нагрівання під гартування швидко-різальної сталі, відпалу нержавіючих сталей тощо.

Для термообробки деталей великої довжини використовують нестандартні глибокі соляні ванни. Рівномірність температури в таких ваннах забезпечується встановленням кількох пар електродів по всій глибині робочого простору.

Пуск у роботу електродних печей-ванн досить складний, тому їх практично не вимикають. Під час пуску сіль засипають на дно печі-ванни невеликим шаром і розплавляють її теплою дугою, що виникає між кінцем додаткового й одного з основних електродів.

Після цього додатковий електрод виймають, а в печі-ванну обережно невеликими порціями додають нову сіль. Тривалість пуску становить 2-4 год.

Іноді для пуску застосовують спеціальний пристрій у вигляді стояка з ніхромовим нагрівником, який знаходиться в затверділій солі. При пропусканні струму від трансформатора пристрій нагрівається та розплавляє сіль.

Для подолання труднощів пуску створено принципово новий вид соляних ванн - індукційні високо- і середньотемпературні ванни з графітовими нагрівниками. Схему такої ванни зображено на рис. 5.12. Стандартний графітовий тигель 3 встановлюється у вогнетривкій набивці 4 у високочастотне електромагнітне поле, яке створює індуктор 5. Останній живиться від установки, що виробляє СВЧ.

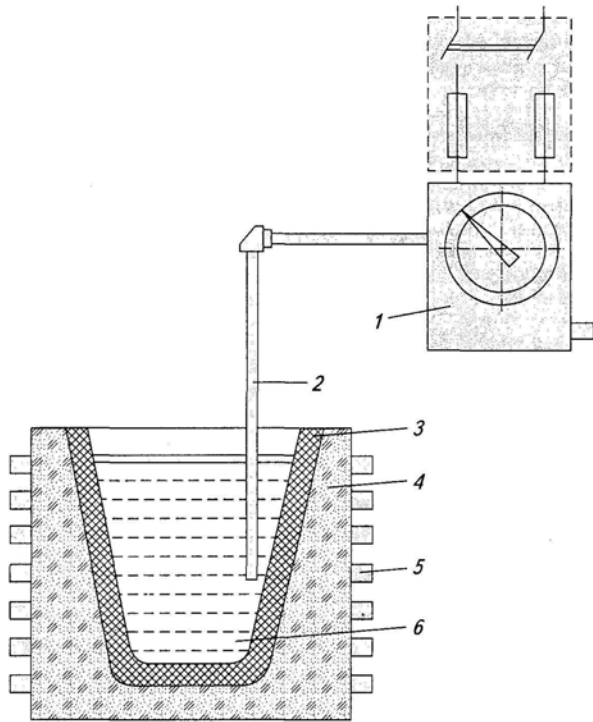


Рисунок 5.12 – Схема індукційної соляної ванни

Під дією індуктивного струму графітовий тигель, який має високий електричний опір, інтенсивно розігрівається і сіль *б*, що знаходиться в ньому, розплавляється, нагріваючи деталі. Температура солі регулюється за допомогою автоматичного потенціометра *1* із термопарою *2*. Для нагрівання під гартування інструментів невеликого розміру використовують графітові тиглі завглибшки 275 мм діаметром 200 мм та завтовшки 18 мм.

Під час експлуатації соляних ванн необхідно строго дотримуватися ряду правил. При потраплянні в сольовий розплав навіть незначної кількості вологи відбувається викид солі з ванни. Тому перед завантаженням у ванну сіль подрібнюють і ретельно сушать. Сушінню піддають також

деталі, що будуть оброблятися. Потрапляння ціаністих солей в селітрову ванну може спричинити викид та вибух.

Для низького відпуску, штучного старіння й охолодження деталі при східчастому, а також ізотермічному гартуванні застосовують масляні ванни.

Електричні масляні ванни зі сталевим тиглем та ізолюваними нагрівниками мають індекс СВМ. Для виведення парів масла у ваннах передбачено бортові відсмоктувачі. Великі ванни обладнано мішалками для механічного перемішування масла. У масляне середовище деталі завантажують у сітчастих кошиках.

Масляні ванни з тиглем прямокутного перерізу випускають з розмірами робочого простору: завширшки і завдовжки 5, 8 та 10 дм, заввишки 5 і 10 дм. Потужність їх становить 15-40кВт.

Масляні ванни круглого перерізу виготовляють із сталевим тиглем діаметром 2,5; 3,5; 5; 8 дм та висотою 2,5; 5; 8 і 10 дм. Потужність їх – 5-20 кВт. Робоча температура масляних ванн становить 120-260 °С.

5.2 Механізовані печі та агрегатне термічне обладнання неперервної дії

5.2.1 Механізовані камерні печі

Сучасний стан термічних цехів характеризується високим рівнем механізації та автоматизації більшості операцій термічної і хіміко-термічної обробки.

Найпростіша механізація термічних печей полягає у використанні підйомного обладнання, завантажувальних машин та ін. У складніших варіантах механізація охоплює переміщення деталей у робочому просторі печі, завантаження і розвантаження деталей, передачу їх на подальші операції тощо.

Механізація технологічних процесів у термічних цехах здійснюється як удосконаленням конструкцій розглянутих вище печей, так і оснащенням виробництва механізованим пічним обладнанням.

На рис. 4.13 показано конструкцію механізованої камерної печі з ланцюговим механізмом для переміщення поду. Піч має нагрівальну камеру 4 та завантажувальний тамбур (шлюз) 2 з гартівним баком 1. Піддон із деталями спочатку подається в завантажувальний тамбур, а потім за допомогою ланцюгового механізму 5 переміщується в нагрівальну камеру. Після нагрівання піддон повертається в завантажувальний тамбур й опускається в бак з маслом. Після гартування деталей тамбур розвантажують і знову завантажують наступний піддон.

Піч обігрівається радіаційними трубами, в яких спалюється газ. Усі елементи печі виконано в єдиному каркасі, що забезпечує її герметичність. Гартівний бак ізольовано від стикування з повітрям й оснащено автоматичним обладнанням для підтримки сталої температури середовища.

Піч такої конструкції може бути використана для *світлого гартування, газової цементації та нітроцементації деталей*. Для кращої циркуляції газу в робочій камері піч має вентилятор 3.

Промисловість серійно випускає механізовані електричні камерні печі. Вони мають індекс СНЗА з максимальною температурою до 1000 °С. Розміри робочого простору цих печей такі: ширина 300-850 мм, довжина 650-2200 мм, висота 200-500 мм.

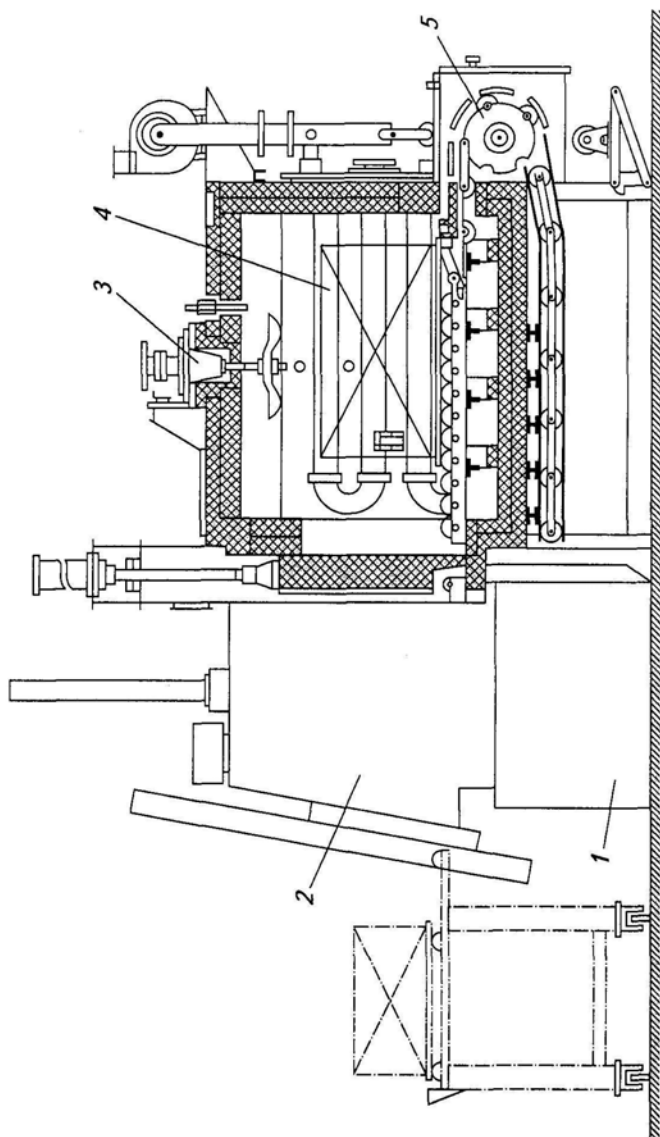


Рисунок 5.13 – Механізована камерна піч з ланцюговим механізмом для переміщення поду

5.2.2 Печі та нагрівальні установки неперервної дії

У цехах масового і багатосерійного виробництв широко застосовують механізовані печі *циклічної та неперервної дії*.

Для термообробки дрібних деталей, що мають круглу, без гострих кромek форму (ролики, кульки, дрібні кільця тощо) часто використовують барабанні печі. Газові барабанні печі мають індекс ТБЗН (із захисною атмосферою неперервної дії) і ТБЗП (періодичної дії). Електричні барабанні печі позначають індексами СБЦ (із цементаційною атмосферою), СБЗ (із захисною атмосферою), СБО (для низького відпуску).

На рис. 5.14 зображено електричну барабанну піч серії СБЗ

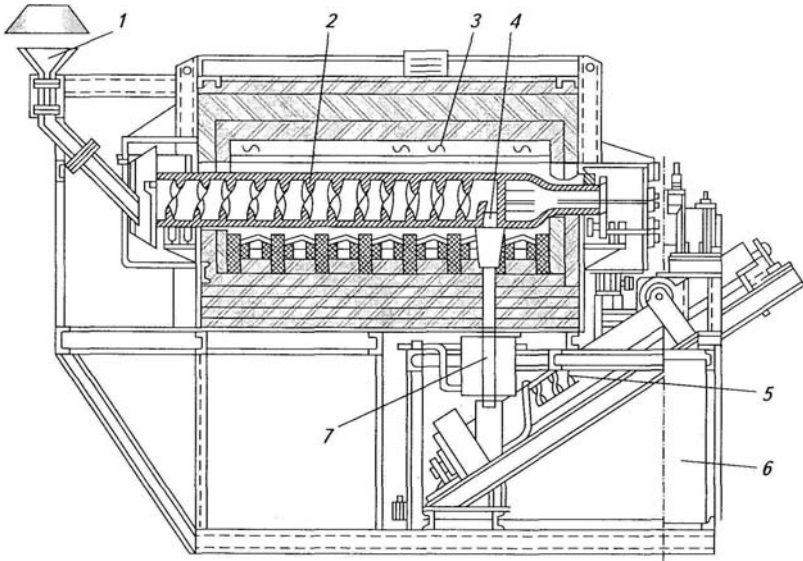


Рисунок 5.14 – Електрична барабанна піч серії СБЗ

СБЗ. Через завантажувальне обладнання 1 деталі потрапляють у барабан (муфель) 2 із жароміцної сталі. Всередині він має ребра, що утворюють гвинтову порожнину. При обертанні барабана деталі переміщуються від завантажувального кінця до розвантажувального. Нагрівання здійснюється нагрівниками 3. З вивантажувального отвору 4 по рукаву 5 деталі подаються в гартівний бак 6, звідки вони вивантажуються шнековим пристроєм 7.

У барабанних печах обробляють деталі масою до 0,3 кг. Продуктивність печей серій СБЗ та СБО становить 15-240 кг/год, СБЦ – 5-8 кг/год.

У масовому виробництві для нагрівання однотипних деталей застосовують карусельні печі з обертним подом. Вони можуть працювати на газі (серія ТАЗ) або на електричній енергії (серія САЗ).

Конструкцію електричної карусельної печі САЗ-11.5.3/10 показано на рис. 5.15. На валу 2, що проходить через основу печі, встановлено під 3, який несе на собі деталі 4, що нагріваються, й обертається разом із валом від електродвигуна 1. Нагрівники 7 розміщено на стінах ковпака 6.

Деталі завантажуються через вікно 5. Переміщуючись разом із подом, вони нагріваються і, зробивши майже повний оберт, вивантажуються через розвантажувальний проріз.

Піч призначена для нагрівання сталевих деталей під *гартування в контрольованих атмосферах*. Температура нагрівання - до 950°C. Потужність печі - 40 кВт, продуктивність - 100 кг/год.

Для нагрівання під *гартування та нормалізацію деталей великої довжини* (ресорні листи тощо) застосовують печі з крокуючим подом.

За конструкцією ці печі є прохідними, оскільки завантаження здійснюється з одного кінця печі, а вивантаження - з іншого.

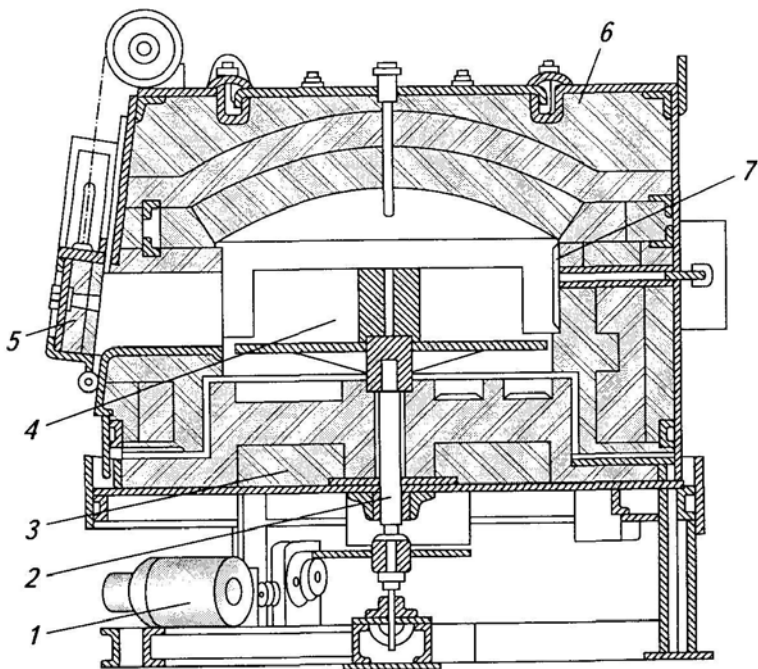


Рисунок 5.15 – Електрична карусельна піч СА3-11.5.3/10

Схема, що пояснює роботу печі з крокуючим подом, зображена на рис. 5.16. У поздовжніх щілинах поду печі встановлюються рухомі балки, які можуть робити поступальні та зворотні рухи по колу (А), еліпсу (В) або прямокутнику (В). Їх рух здійснюється від важільного або ексцентрикового механізму, розміщеного під подом. Через певні проміжки часу балки трохи піднімають завантаження над подом, переносять його вперед у бік розвантажувального вікна на певну відстань (крок балки), потім опускають завантаження на під і повертаються назад у вихідне положення. У печах з крокуючим подом можна використовувати контрольовані атмосфери.

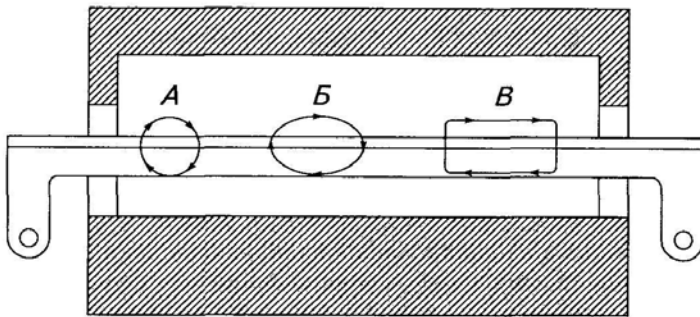


Рисунок 5.16 – Схема, що пояснює роботу печі з крокуючим подом

Продуктивність печей з крокуючим подом - від 150 до 2-4 т/год, швидкість пересування деталей у печі – 1-7 м/хв, робоча температура - 950°С, потужність – 330-630 кВт.

Для нагрівання під *гартування дрібних деталей* (шпильок, болтів, кульок, підшипникових кілець та ін.) застосовують печі з пульсуючим подом.

Пульсуючий під, що має форму лотка й установлений на котках у робочій камері печі, дістає періодичний зворотно-поступальний рух. У кінці кожного робочого ходу, дійшовши до упору, лоток різко (з ударом) зупиняється, а деталі, які знаходяться на ньому, за інерцією переміщуються вперед на невелику відстань. Привід руху лотка має варіаторний механізм, що дає змогу змінювати тривалість руху лотка.

Електричні печі з пульсуючим подом мають індекс СИЗ. Потужність печей – 12-160кВт, продуктивність – 20-250 кг/год, максимальна робоча температура - 900°С.

У термічних цехах масового і великосерійного виробництва використовують агрегати неперервної дії та потокові автоматичні лінії.

Агрегатне обладнання й обладнання поточкових автоматичних ліній комплектуються з печей і установок неперервної дії. Для цього застосовують печі з крокуючим або

пульсуючим подом, штовхальні, конвеєрні та ін. Крім того, до складу агрегатів і потокових ліній входять елементи, що забезпечують виконання всього комплексу операцій термообробки.

Печі неперервної дії за конструкцією є прохідними. З боку завантаження в них установлюються первинні камери (тамбури), а з боку розвантаження - гідравлічні затвори або перепускні камери для перепуску деталей та піддонів. Завантаження і розвантаження деталей механізовано. Для забезпечення циркуляції гарячого повітря або контрольованої атмосфери в печах установлюють вентилятори.

Печі неперервної дії, як правило, роблять багатозонними. Кожна зона має комплект нагрівальних елементів, потужність яких регулюється окремо. Печі неперервної дії продуктивніші та мають менші питомі витрати енергії порівняно з іншими видами пічного обладнання.

У штовхальних печах вироби проштовхуються від завантажувального вікна до вивантаження по напрямних поду (рейках, роликах, брусках) штовхачем, установленим перед вікном завантаження. Штовхач має електромеханічний або гідравлічний привід. Важкі вироби правильної прямокутної форми переміщуються в печі безпосередньо, а дрібні - завантаженими в піддони.

Різновидом штовхальних є рівчаківі печі, в яких пересування порівняно невеликих деталей правильної форми (наприклад, кілець підшипників кочення) здійснюється штовхачем по лотках - рівчаках із жаротривкої сталі. Таких рівчаків за шириною робочої камери може бути кілька.

Полуменеві штовхальні печі з окисною атмосферою мають індекс ТТО, а з контрольованою атмосферою - ТТЗ. Гранична робоча температура в печах ТТО становить 1150°C, а в печах ТТЗ - 950°C. Продуктивність печей при *гартуванні, відпалі, нормалізації* – 170-4350 кг/год, при *відпуску та нітроцементзації* – 130-4800 кг/год, при *цементзації* - 60-2400 кг/год (рис 5.17).

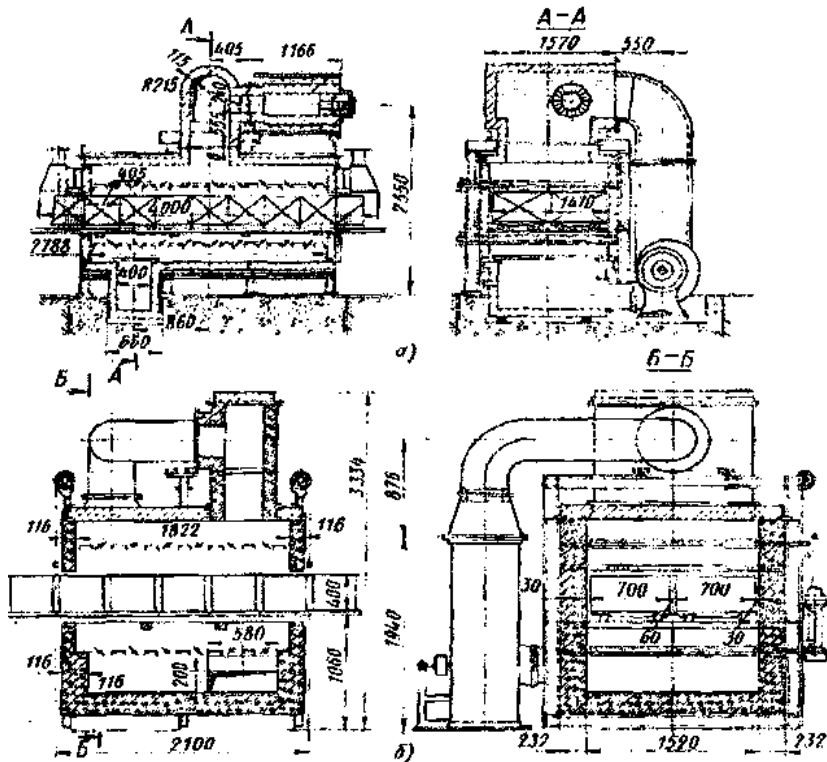


Рисунок 5.17 – Полуменеві штовхальні печі з окисною атмосферою: а – газова з добавкою продуктів горіння; б – електрична

Електричні штовхальні печі з окисною атмосферою мають індекс СТО, з контрольованою атмосферою - СТЗ, для цементації - СТЦ. Максимальна робоча температура печей СТО становить 750°C, СТЗ - 1000°C, СТЦ - 1100°C; максимальна продуктивність їх знаходиться у межах 200-1800 кг/год, а потужність - у межах 35-580 кВт.

Переміщення деталей у конвеєрних печах здійснюється на конвеєрній стрічці, яка залежно від розмірів, маси дета-

лей, що нагріваються, та температурного режиму може мати різну конструкцію: у вигляді ланцюгів (ланцюговий конвеєр), штапованих або відлитих ланок (панцерний конвеєр), металевої сітки (сітковий конвеєр) і пластинчато-стрижневої конструкції. Конвеєрні стрічки виготовляють із жароміцної сталі.

Конвеєрну стрічку натягують на барабани, один з яких - ведучий. Він дістає обертання від двигуна постійного струму. Натяг конвеєрної стрічки здійснюється натягувальною станцією (з використанням пружин або вантажів) завдяки зміні відстані між осями барабанів.

Для термообробки осьових та дрібних деталей застосовують підвісний конвеєр. Деталі або кошики з ними підвішують на крюках у ланцюзі конвеєра, траса якого проходить через камери і робочий простір у печі (рис 5.18).

Електричні конвеєрні *гартівні печі* позначаються індексом СКЗ, відпуску - СКО. СКЗ печі випускають потужністю 30-850 кВт на робочу температуру до 900°C, а відпуску – 15-700 кВт на робочу температуру до 700°C. В *гартівних та високотемпературних відпускних печах* використовується захисна атмосфера. Продуктивність печей становить 50-3600 кг/год.

У рольгангових печах переміщення деталей здійснюється на обертових жаротривких роликах, розміщених на поду печі. Кожен ролик виходить за межі мурування і підтримується підшипниками. Обертання роликів забезпечується приводом з електродвигуном постійного або змінного струму.

Рольгангові печі забезпечують потрібну продуктивність при невеликій висоті садки та швидку передачу нагрітих деталей без підстужування в гартівний бак. Печі виготовляють із полуменевим й електричним обігріванням для роботи з окисною (індекси ТРО і СРО) або з контрольованою атмосферою (індекси ТРЗ та СРЗ). Максимальна температура нагрівання в печах ТРО становить 1000°C, в печах ТРЗ - 950°C, в печах СРО - 350°C і СРЗ - 1200°C.

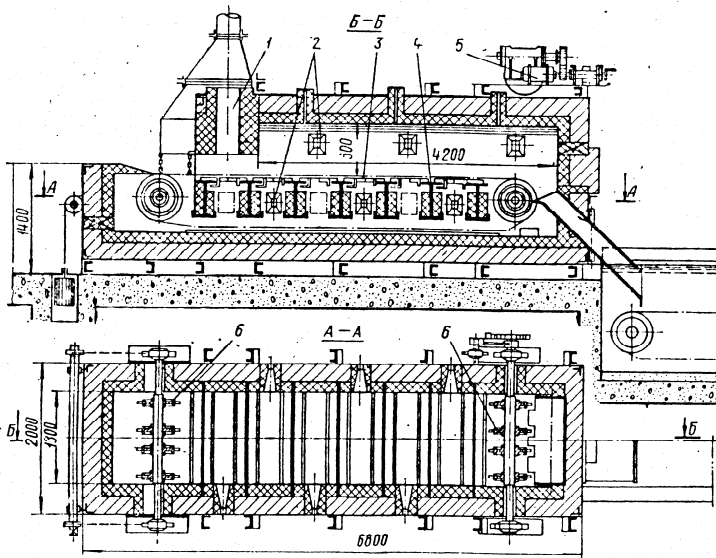


Рисунок 5.18 – Газова конвеєрна піч для дрібних деталей з підвісним конвеєром типу ТЕОА

У термічних цехах масового та багатосерійного виробництва обладнання (печі, гартівні баки, мийні машини тощо) встановлюються в порядку послідовності виконання операцій і складають агрегат для термічної або хіміко-термічної обробки. Існує кілька технологічних схем комплектування агрегатів:

- М-01 - нагрівання для гартування в маслі, промивання, високий або низький відпуск деталей;
- М-02 - той самий цикл, але без промивання деталей (гартування у воді);
- М-03 - те саме, що й М-01, лише замість гартівного масляного бака встановлюється водяний.

Конвеєрні гартівно-відпускні агрегати укомплектовано гартівними конвеєрними електричними печами типу СКЗ, гартівними баками, мийними машинами, відпускними конвеєрними електричними печами типу СКЗ (для високого відпуску) або СКО (для низького відпуску) та баками для охолодження деталей після відпуску. Агрегати позначаються індексами СКЗА і цифрами. Цифра в чисельнику позначає порядковий номер агрегату, а в знаменнику - температуру відпускнуї печі.

Аналогічно до конвеєрних комплектуються штовхальні гартівно-відпускні агрегати (індекс СТЗА), а також штовхальні агрегати для цементації та нітроцементації деталей (індекс СТЦА).

Для термообробки інструментів використовують агрегати, укомплектовані печами-ваннами.

На рис. 5.19 показано схему напівавтоматичного гартівного агрегату ТА-22, призначеного для гартування інструментів великих та середніх розмірів із швидкорізальної сталі. До складу агрегату входять: шахтна піч 1 для першого підігрівання інструментів з електричним або газовим нагріванням до температури 300-500°C; соляна електродна ванна 2 для другого підігрівання до 850-880°C; соляна електродна ванна 3 для остаточного нагрівання до 1200-1300°C; соляна ванна 4 з температурою 400-550°C або 600-675°C для східчастого охолодження інструментів; камера охолодження 5, в якій інструменти охолоджуються струменем повітря. Після остаточного охолодження інструменти з пристроями розвантажуються в місці завантаження. Довжина гартівного агрегату становить 9 м, ширина і висота - 4,5 м.

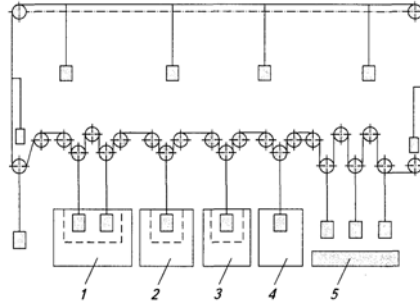


Рисунок 5.19 – Схема напівавтоматичного гартівного агрегату ТА-22

Розміщення обладнання в агрегатах і лініях найчастіше буває прямолінійним. При обмеженні виробничих площ приймають П-подібне розміщення обладнання.

Як транспортувальні засоби для перенесення деталей з однієї ванни в іншу застосовують важільні перекидачі, ланцюгові конвеєри й автооператори. Важільні перекидачі не завжди забезпечують надійне і правильне встановлення підвісів з інструментами, а ланцюгові конвеєри часто виходять з ладу через послаблення натягу ланцюга.

Найдосконалішими та надійними є автооператори.

Автооператор – це візок із штангою та траверсою з двома електричними приводами горизонтального і вертикального переміщень. Він може здійснювати горизонтальні рухи по рейковому шляху, а також піднімати й опускати штангу з траверсою, на якій закріплено пристрої з інструментами. Автооператори оснащено блоками програмного керування.

6 ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПОВЕРХНЕВОГО НАГРІВАННЯ ДЕТАЛЕЙ

Для поверхневої термічної та хіміко-термічної обробки деталей використовують обладнання з нагріванням СВЧ, газополуменевим нагріванням, нагріванням в електроліті тощо. Воно виготовляється у вигляді *універсальних верстатів* й *установок* (для обробки широкої номенклатури деталей), *спеціальних верстатів* (для обробки однотипних деталей різного розміру) і *спеціалізованих верстатів* (для обробки деталей одного типорозміру).

Універсальні верстати й установки мають пристрої для закріплення, пересування деталі в процесі нагрівання та охолодження, а також засоби для зміни параметрів електричного режиму.

Спеціальні та спеціалізовані верстати обладнано комплексом пристроїв для завантаження, переміщення і вивантаження деталей певного типу. Весь технологічний процес термообробки на таких верстатах автоматизовано, а режимні параметри підтримуються сталими за допомогою регуляторів. Спеціальні та спеціалізовані верстати мають велику продуктивність. Їх установлюють у потокових лініях великосерійного і масового виробництв деталей.

Як приклад на рис. 6.1 зображено схему універсального агрегатного верстата для гартування деталей типу тіл обертання після індукційного нагрівання. Деталь 4 типу вала закріплюють у центрах 3, 7 і гартують, переміщаючи знизу вгору за допомогою гвинтового привода 5 в нерухомому індукторі 2. У процесі гартування деталь обертають за допомогою центра 3. Охолоджують її водою або емульсією за допомогою спреера, з'єданого з індуктором. Для встановлення та зняття деталі центр виготовлено обертовим. У момент установлення вал утримується рознімним люнетом 6.

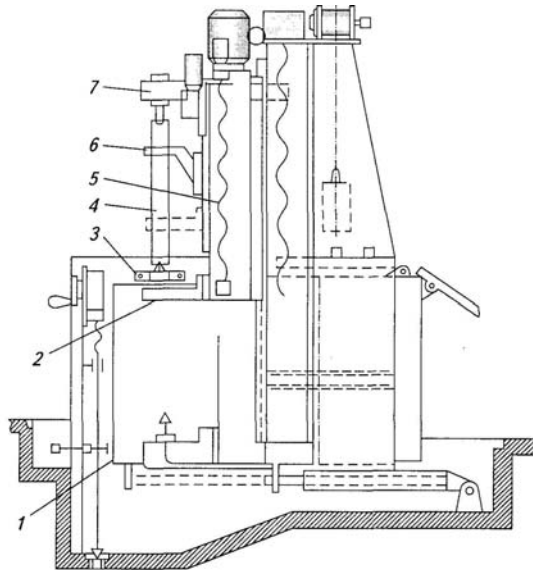


Рисунок 6.1 – Схема універсального агрегатного верстата для гартування деталей типу тіл обертання після індукційного нагрівання

Зубчасті колеса для гартування встановлюють на спеціальну оправку. У процесі нагрівання оправка разом із зубчастим колесом обертається, після закінчення нагрівання вона опускається в гартівний бак 1.

Серійно випускаються універсальні напівавтоматичні верстати КУ-190, КУ-198 та інші, які застосовуються для неперервно-послідовного гартування деталей типу тіл обертання діаметром 300-400 мм, завдовжки до 5000 мм масою до 10 т.

Для живлення індукторів верстатів використовують індукційні установки з електромагнітними або тиристорними перетворювачами частоти, а також із ламповими генераторами.

Принципову схему індукційної установки з електромашинним перетворювачем частоти показано на рис. 6.2.

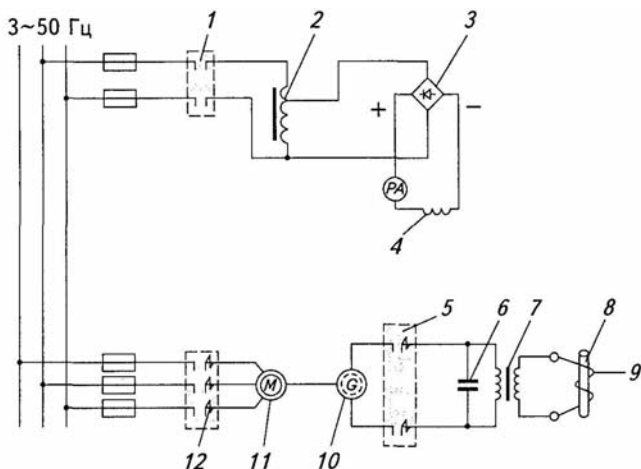


Рисунок 6.2 – Принципова схема індукційної установки з електромашинним перетворювачем частоти

Установка живиться від трифазної мережі змінного струму частотою 50 Гц і напругою 380 В. Основним елементом установки є генератор СВЧ 10 із привідним електродвигуном 11. Обмотка збудження 4 генератора живиться від випрямляча 3, вхідна напруга якого регулюється автотрансформатором 2. Напруга високої частоти, що знімається з генератора, через компенсвальну батарею 6 подається на знижувальний гартівний трансформатор 7, до вторинної обмотки якого приєднано індуктор 9 із деталлю 8. Пуск установки здійснюється магнітними пускачами 1, 5 та 12. Для оснащення гартівних верстатів з індукційним нагріванням серійно випускаються індукційні установки ИЗ1-30/8, ИЗ1-100/2,4, ИЗ2-100/8, ИЗ200/2,3, ИЗ2-200/8 з одним або двома електромашинними перетворювачами частоти. Літери і цифри в індексі установки означають: И - індукційна; З - гартівна; цифра після ИЗ - модифікація; цифри після дефіса - потужність середньої частоти, кВт; цифра в знаменнику - робоча частота, кГц.

Тиристорні перетворювачі частоти перетворюють частоту 50 Гц на 150-8000 Гц. Схема тиристорного перетворювача частоти містять випрямляч, блок дроселів, тиристорний перетворювач (інвертор), ланки контролю та ряд допоміжних вузлів.

Для індукційного нагрівання на високих частотах (50-5000 кГц) застосовують високочастотні установки ВПЧ12-100/0,066, ВЧИЗ-160/0,066, ВЧП-60/0,066, ВЧГ4-60/0,066, ВЧГ1-100/0,066 із ламповими генераторами. Літери та цифри в індексі установки позначають: ВПЧ - вертикальний перетворювач частоти; ВЧ - високочастотна; И - індукційна; Г - генератор; цифра після літер - модифікація; цифра після дефіса - коливальна потужність, кВт; цифра в знаменнику - робоча частота, МГц.

Основними елементами лампових генераторів (рис. 6.3) є: трифазний силовий трансформатор 1, що підвищує напругу з 220-380 до 6000-9000 В; випрямний блок 2 на газових тиратронах для перетворення змінного струму на постійний напругою до 9000-15000 В; генераторний блок 3 з однією або кількома генераторними лампами, який перетворює постійний струм на змінний високої частоти; коливальний контур 4, що складається з повітряного знижувального трансформатора з індуктором і конденсаторною батареєю.

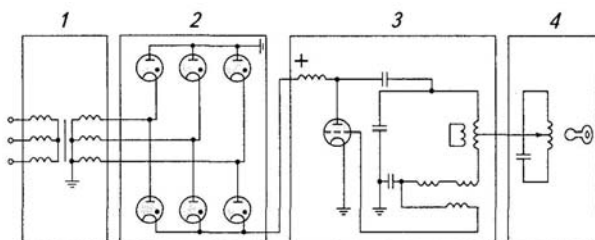


Рисунок 6.3 – Схема лампового генератора з частотою 60 кГц

Багато елементів високочастотних установок (перетворювачі, генераторні лампи, індуктори та ін.) охолоджуються водою.

Установки мають блокове виконання (у вигляді шафи). Корпуси всіх блоків повинні мати надійне заземлення і механічне електроблокування дверцят, щоб уникнути потрапляння персоналу під напругу при експлуатації установки. Верстати живляться або централізовано від високочастотних установок, розміщених в окремих приміщеннях, або від індивідуальної установки. Компенсуючі конденсаторні батареї та навантажувальні блоки, щоб уникнути втрати енергії в струмопровідниках, установлюють у самому верстаті або поруч із ним.

Верстати для *поверхневого полуменевого гартування* деталей оснащуються пальниками зі змінними наконечниками. На мундштукові кожного наконечника є два ряди сопел. У верхній ряд сопел подається горюча суміш, а в нижній - вода. Гартування поверхневого шару деталі здійснюється при переміщенні гартівної голівки, на якій встановлено пальник.

Установки для *нагрівання деталей в електроліті* складаються з джерела постійного струму (генератора або напівпровідникового перетворювача) і технологічного агрегата, до складу якого входять нагрівальна ванна, система циркуляції та охолодження електроліту, механізми і пристрої для завантаження, кріплення та вивантаження деталей. Установки працюють в автоматичному режимі.

Останнім часом для поверхневого нагрівання деталей при термообробці знаходить застосування лазерне випромінювання. Для цієї мети використовують *лазерні технологічні установки* широкого призначення з газовими лазерами на азоті або вуглекислоті. Такі лазери можуть працювати в неперервному режимі при досить високій потужності (до 10-12 кВт). В установці передбачено систему

сканування, що забезпечує кероване переміщення лазерного променя з великою швидкістю. Сканований лазерний промінь за дуже короткий проміжок часу зумовлює нагрівання лише в тонкому поверхневому шарі деталі. Гартування цього шару забезпечується швидким відведенням теплоти в глибину холодного металу.

7 ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ОХОЛОДЖЕННЯ ДЕТАЛЕЙ

Охолоджувальні рідини (вода, водяні розчини солей, лугів і масло) знаходяться в гартівних баках. У термічних цехах застосовують кілька видів гартівних баків: *немеханізовані* (для використання в одиничному та малосерійному виробництві) і *механізовані безконвеєрні* (для використання в багатосерійному та масовому виробництвах, а також для оснащення агрегатного пічного обладнання і поточкових ліній).

Немеханізовані гартівні баки - це коробчасті зварні посудини, виготовлені з листової сталі. Їхня ємність визначається розмірами деталей, що гартуються, та температурою гартування. При цьому використовують таке співвідношення: 10-20 л масла на 1 кг деталей, що гартуються протягом 1 год, при температурі гартування 800-1000°C. При недостатній кількості рідини можливе її перегрівання, що призводить до зміни охолодної здатності охолоджувача і появи браку.

Баки можуть бути *стаціонарними*, які встановлюють на підлозі цеху або в заглибленні підлоги, та *пересувними* - на візках. Часто застосовують здвоєні баки з перегородкою для води і масла.

Немеханізовані баки для гартування дрібних заготовок, коли охолодна рідина нагрівається незначно, не обладнують системою охолодження гартівного середовища.

У баках з охолодженням гартівної рідини встановлюють змійовики з циркулюючою холодною водою або здійснюють циркуляцію рідини через маслоохолодник. Для охолодження заготовок та вирівнювання температури гартівного середовища по всьому об'єму бака використовують подачу масла під тиском замкненою системою трубопроводів, перемішування за допомогою крильчаток тощо.

У сучасних конструкціях баків передбачають бортові пристрої для відсмоктування парів та отвір для зливання масла при переповненні.

Для оснащення агрегатів зі штовхальними печами застосовують механізовані безконвеєрні баки. У бакові встановлено стіл з отворами в кришці. За допомогою пневматичного пристрою він може підніматися, опускатися і коливатися.

Деталі або піддони встановлюють розвантажувальними засобами на стіл, коли він знаходиться у верхньому положенні. Після цього стіл опускається в масло та коливається. Після охолодження деталей він піднімається, а деталі передаються на наступну операцію. Продуктивність механізованого бака приблизно дорівнює 300 кг/год.

Знаходять застосування також баки з поворотним і опускним столом, двома столами та ін.

У механізованих безконвеєрних баках для східчастого та ізотермічного гартування масло підігрівають за допомогою радіаційних газових або електричних труб. Для запобігання контакту охолодної рідини з атмосферою цеху верхню частину бака закривають кришкою і оснащують пристроєм для відсмоктування парів масла.

У масовому виробництві використовують конвеєрні гартівні баки, в яких транспортування деталей здійснюється стрічковими конвеєрами. Баки мають індекси БKM і BKВ (Б - бак, К - конвеєрний, М - для масла, В - для води).

Продуктивність масляних гартівних баків становить 160-900 кг/год, водяних - 160-360 кг/год.

Для зменшення деформації у процесі гартування таких деталей, як зубчасті колеса, зірочки, кільця тощо, застосовують пневматичні та гідравлічні гартівні преси і машини, в яких деталі затискають між штампами, плитами чи роликками. У такому стані вони або опускаються в гартівне середовище, або охолодна рідина подається спреєрним пристроєм чи спеціальними каналами штампа. В останньому випадку швидкість охолодження деталей можна регулювати, змінюючи тиск охолодної рідини.

Для гартування осьових деталей (кулачкових валів, півосей та ін.) використовують гартівні машини, в яких затиснена деталь обертається в гартівній рідині.

8 УСТАНОВКИ ДЛЯ ОБРОБКИ СТАЛІ ХОЛОДОМ

Низькі температури для обробки сталі холодом створюють в основному двома методами: в охолодних сумішах або в холодильних установках. Охолодні суміші застосовують в одиничному та дрібносерійному виробництвах, а у багатосерійному і масовому виробництвах використовують холодильні установки.

Найпростіший спосіб створення низької температури - застосування суміші ацетону або бензину з сухим льодом (твердою вуглекислою). Зниження температури суміші відбувається внаслідок відбирання теплоти, що витрачається на плавлення вуглекислоти. Коли кусочки вуглекислоти при додаванні в суміш перестають інтенсивно плавитися та вільно плавають на поверхні, температура суміші дорівнює - 78°C. Деталі охолоджують безпосередньо в суміші або в посудині, яка нею охолоджується. Витрата сухого льоду становить приблизно 800 г на 1 л суміші.

Для глибшого охолодження деталей використовують рідкі повітря, кисень, азот. Вони дають змогу створити температуру від -180°C до -196°C .

Для створення низьких температур у холодильних установках застосовують рідини, які називаються *холодильними агентами*, або *холодоагентами*. До особливих властивостей цих рідин належать їхня здатність переходити у пароподібний стан при низьких температурах з великою теплотою пароутворення, а також здатність легко конденсуватися (згущатися при стисненні).

Як холодоагенти найчастіше використовують фреони - похідні метану й етану, в яких водень частково або повністю замінено хлором і фтором. Залежно від марки температура кипіння їх знаходиться у межах від -30 до -41°C . Крім того, застосовують аміак (температура кипіння -33°C), етилен (температура кипіння -133°C) та ін. Поставляють холодоагенти в зрідженому стані в балонах.

Холодильна установка складається з бака для зберігання в зрідженому стані газу, холодильного агрегату з охолодною робочою камерою і приладів керування.

Основним елементом холодильної установки є холодильний агрегат.

Схему холодильного агрегату з одним циклом роботи зображено на рис. 7.1 а.

Пари холодоагенту з випарника 2 відсмоктуються та стискаються компресором. При стисненні температура їх підвищується. У конденсаторі 3 нагріті пари холодоагенту охолоджуються водою або іншою рідиною і конденсуються. Рідкий холодоагент, пройшовши через дросельну трубку 4, подається у випарник 2, де він розширюється та перетворюється на пару. При випаровуванні холодоагенту відбувається поглинання теплоти з робочого простору холодильної камери, і температура в ній знижується. Для створення нижчих температур використовують хо-

лодильні агрегати з каскадним циклом, які можуть працювати на кількох холодоагентах. Схему двокаскадного холодильного агрегату показано на рис. 7.1 б. У таких агрегатах випаровування одного холодоагенту (NH_3) в камері 5 зумовлює конденсацію іншого холодоагента (C_2H_4) з нижчою температурою. Залежно від потрібної температури застосовують холодильні агрегати з двома та більше циклами роботи.

Промисловість випускає холодильні установки у вигляді термокамер (ТК) або термобарокамер (ТБК) у комплекті з холодильною машиною і приладами автоматичного регулювання. Вони дають змогу створити температуру до -100°C . За допомогою вмонтованих електронагрівників у них можна підтримувати плюсову температуру до 150°C . ТБК оснащено вакуумною системою, що забезпечує вакуум до 260 Па.

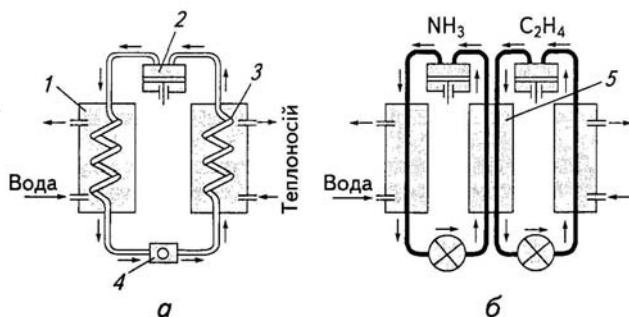


Рисунок 8.1 – Принцип дії холодильних агрегатів

Термокамери виготовляють двох типів: *скринькові* (ТКСИ-0,1-70, ТКСИ-0,2-80) з завантаженням зверху та *шафові* (ТКШ-0,15-100, ТКШ-1-100). ТБК випускають двох видів: ТБК-0,15-70 і ТБК-0,4-70А. Перша цифра у позначенні зазначає корисний об'єм камери (м^3), друга - нижчу температуру в камері ($^\circ\text{C}$). Встановлена потужність камер - 6,3-19кВт.

9 ПСЕВДОКИПЛЯЧІ СЕРЕДОВИЩА ТА ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ

Псевдокипляче середовище (або киплячий шар) забезпечує швидкісне безокисне нагрівання металу, інтенсифікує процеси його термічної та хіміко-термічної обробки, поліпшує умови праці, підвищує її продуктивність, усуває окалиноутворення і зневуглецювання та зменшує короблення деталей. Киплячий шар містить тверді частинки сипучого матеріалу, як правило, кварцового піску, корунду, подрібненої руди, суміші графіту з вуглекислими солями й іншими вогнетривкими домішками, які інтенсивно перемішуються завдяки вібрації, створеної аеродинамічними або іншими методами, найчастіше висхідним потоком повітря або газів, що зовні нагадує киплячу рідину.

Частинки розміром 0,05-2 мм, які знаходяться на газорозподільній решітці у печі або у ванні, за певних умов будуть спиратися не на решітку, а на потік газу, що надає їм рухомості, внаслідок чого вони набувають деяких властивостей рідини. Тому таке газове середовище із завислими та рухомими в ньому твердими частинками ще називають *псевдокиплячим*.

Киплячий шар має високу теплопровідність, яка перевищує теплопровідність металів, рівномірне температурне поле і забезпечує швидке нагрівання деталей, що знаходяться в ньому. За інтенсивністю теплообміну та швидкістю нагрівання печі з киплячим шаром можна порівняти із соляними ваннами.

Киплячий шар набуває теплофізичних властивостей, які використовують для гартування і нагрівання металів. У зв'язку з тим, що в киплячому шарі можна регулювати процеси нагрівання та охолодження металів, його застосовують для відпалу, гартування та відпуску сталі, а також

термообробки алюмінієвих та інших сплавів. Крім того, його використовують для інтенсифікації цементації, нітроцементації, азотування та інших хіміко-термічних процесів обробки сталей.

Схему установки для утворення киплячого шару зображено на рис. 8.1. Газорозподільну решітку 1 розміщують у камері печі 2, з'єднаній з трубопроводом 4, яким підводять під решітку повітря або газ. Киплячий шар утворюється внаслідок дії на сипучий матеріал 3, розміщений на решітці в камері, повітря чи газу, що проходить крізь товщу шару, надаючи при цьому рухливості його частинкам.

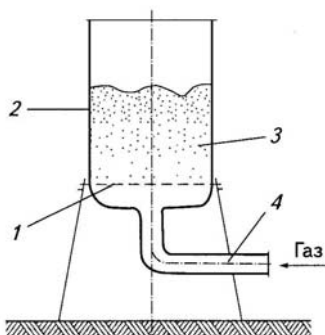


Рисунок 9.1 - Схема установки для утворення киплячого шару

У шарі кварцового піску, який нагадує киплячу рідину, розміщують деталі, що знаходяться у спеціальних кошиках, таким чином, щоб вони стикалися з твердими частинками сипучого матеріалу. При контакті їх із киплячим шаром відбуваються теплопередача і нагрівання деталей. Відповідною подачею повітря або газу регулюється інтенсивність процесу нагрівання.

Нагрівання теплоносія в установці здійснюється газовим полум'ям або електричним способом. Такого типу установки можна застосовувати для швидкісного нагріван-

ня деталей замість соляних та селітрових ванн та інших печей.

Термообробка деталей у киплячому шарі має такі переваги:

- високі швидкість і рівномірність нагрівання;
- висока чистота поверхні оброблених деталей;
- поліпшення санітарно-гігієнічних умов у цеху та відсутність забруднення навколишнього середовища;
- невеликі витрати палива, менші витрати на обслуговування;
- простота керування атмосферою печі, широкий діапазон робочих температур - від 200 до 1050°C.

10 ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ СТВОРЕННЯ КОНТРОЛЬОВАНИХ АТМОСФЕР

Атмосфери аміачної групи (ДА, ПСА-08) створюють в установці, технологічну схему якої зображено на рис. 10.1. Рідкий аміак з балона 1 подається у випарник 2, що обігрівається електронагрівниками, в якому він переходить у газоподібний стан. Далі він надходить у дисоціатор 3, де дисоціює на азот і водень за наявності каталізатора (ГК, КДА, залізна стружка) при температурі 450-700°C.

Дисоційований газ повертається в змійовик випарника, віддає там свою теплоту на підігрівання та випаровування рідкого аміаку, потім промивається в скрубєрі від слідів аміаку і подається в камеру часткового згоряння 4. Процес згоряння водню здійснюється за наявності каталізатора (шамотної цегли з порошком нікелю) при температурах, вищих за 1000°C, з точним дозуванням повітря та газу. Внаслідок цього вміст водню в газі знижується на 4-20 %. Далі газ сушиться й охолоджується в скрубєрі 5 і холодильній машині 6.

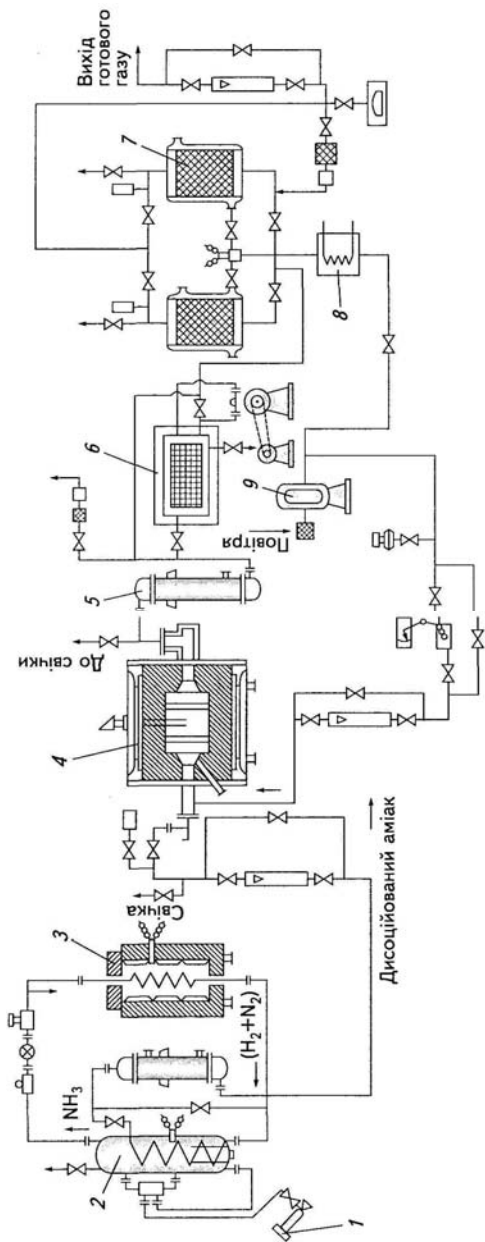


Рисунок 10.1 – Технологічна схема установки типу ДА

Остаточне сушіння газу до точки роси від -40 до -50°C відбувається в скрубєрі 7. Він складається з двох працюючих по черзі колон, заповнених силікагелем. Оскільки процес поглинання вологи супроводжується виділенням теплоти, працююча колона зовні охолоджується водою. У цей час на іншій колоні відбувається відновлення адсорбівної здатності силікагелю продуванням його гарячим повітрям. Останнє подається з повітродувної машини 9 крізь нагрівач адсорбера 8. Готовий газ через гідравлічний затвор та ротаметр надходить у піч.

Для створення атмосфер аміачної групи застосовують установки типів ДА-30С і ДА-60С продуктивністю 30 та $60 \text{ м}^3/\text{год}$. Вони складаються з окремих балонів, які можна використати при компонуванні установок за іншими технологічними схемами: з дисоціацією аміаку і частковим спалюванням водню, з сушінням газу або без нього. Установки комплектуються контрольно-вимірювальною та регулювальною апаратурою.

Технологічну схему установки для утворення ендогазу показано на рис. 10.2.

Природний газ або випаруваний пропан-бутан через регулятор тиску 1 подається в камеру 2 для очистки від сірководню. Очистка виконується при температурі $300-400^{\circ}\text{C}$ за наявності каталізатора ГИАП-10. Очищений газ охолоджується в трубчастому холодильнику 3, змішується з повітрям і спрямовується в реторту з зовнішнім обігріванням 4, заповнену нікелевим каталізатором ГИАП-8, ГИАП-3. У ній при температурі 1050°C утворюється ендогаз. Після охолодження в трубчастому холодильнику 5 газ надходить до споживача. При цементації деталей до ендогазу додають природний газ або пропанобутанову суміш, а при нітроцементації - природний газ і аміак.

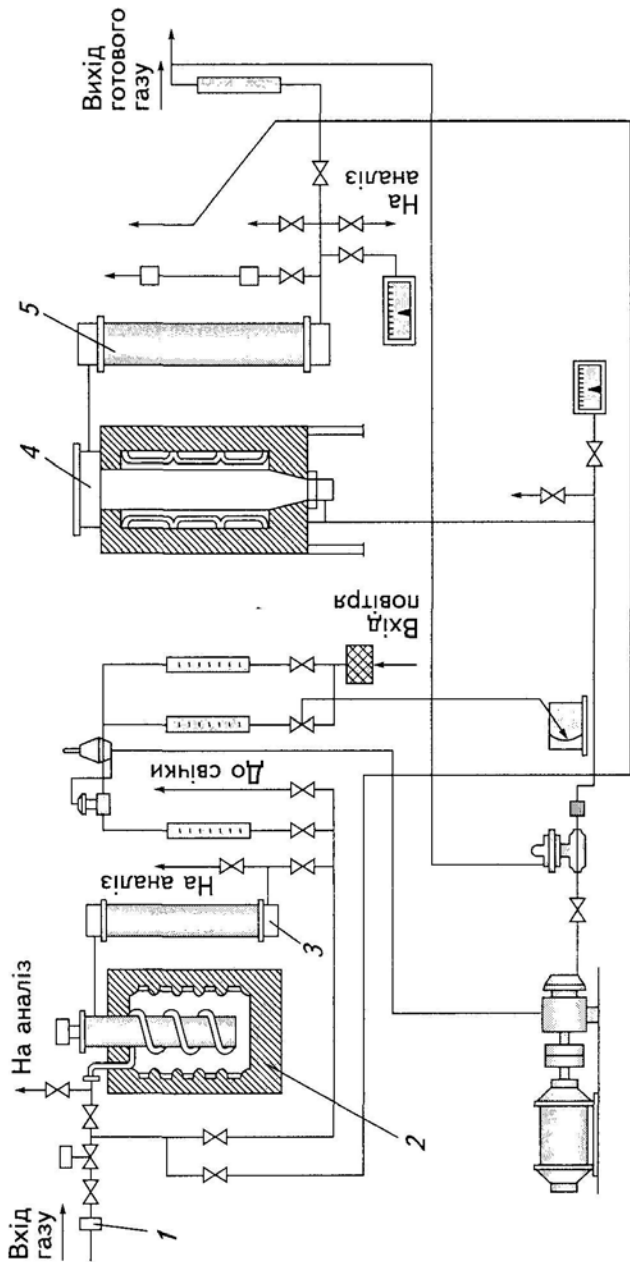


Рисунок 10.2 – Технологічна схема установки для утворення ендогазу

Для створення ендотермічних атмосфер застосовують установки типів ЭН-16М02, ЭН-16М03, ЭН-250ГМ3 та ін. (цифри після дефіса показують продуктивність установки, м³/год). Установки мають блокову конструкцію і обладнані системою автоматичного регулювання вологості атмосфери, пристроями гасіння полум'я та перекривання трубопроводів у випадку поширення полум'я з генератора в лінії газоповітряної суміші.

Технологічну схему установки для утворення екзогазу зображено на рис. 10.3.

Газ через регулятор тиску 3, ротаметр 4 і регулятор нульового тиску 2 подається в змішувач 14. Туди через фільтри 6 та ротаметри 5 надходить повітря. Із змішувача газоповітряна суміш спрямовується газодувкою 1 через вогнегасник 13 у камеру спалювання 8 із запальником 7. Оскільки спалювання суміші супроводжується виділенням теплоти, камеру спалювання охолоджують водою. Утворений екзогаз охолоджується в холодильнику 9 і через крапельвіддільник 10, минаючи поплавцеву камеру 12 і напіромір 11, надходить до споживача.

Екзотермічні атмосфери створюють в установках типів ЭК-9М1, ЭК-60М1, ЭК-125М03, ЭК-1250М2 та ін. (цифри після дефіса показують продуктивність установки, м³/год). Вони мають блокову конструкцію. Залежно від вимог, які ставляться до екзогазу, установки доповнюють адсорберами для очищення від вологи, оксиду вуглецю (IV), аміаку, колонками конверсії оксиду вуглецю (II) тощо.

Азотну атмосферу створюють двома способами:

- перший спосіб ґрунтується на утворенні екзогазу ПС-09 з конверсією оксиду вуглецю (II) і подальшому сушінні атмосфери. З цією метою установки для утворення екзогазу доповнюють колонками конверсії та адсорберами;

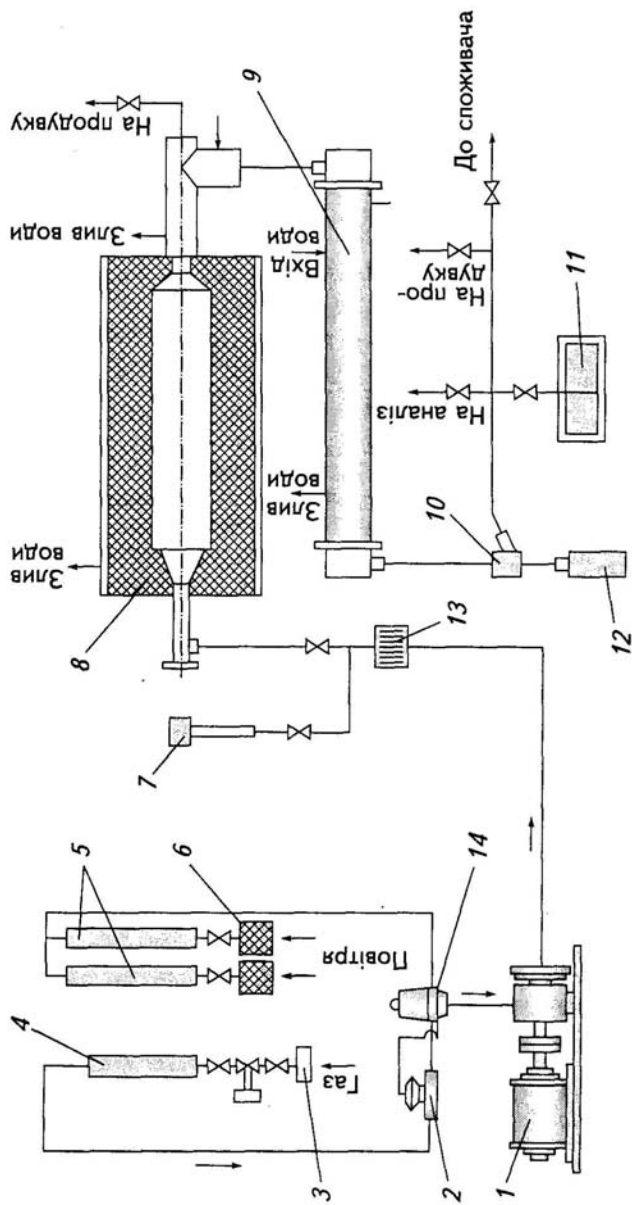


Рисунок 10.3 – Технологічна схема установки для утворення екзогазу

- більш економічний і прийнятний для термічних цехів машинобудівних заводів другий спосіб ґрунтується на дисоціації аміаку з допаленням водню за наявності каталізатора та подальшому сушінні в адсорберах. Таку технологічну схему реалізовано в установці типу АЗ-125М1 продуктивністю 125 м³/год.

Для глибокого очищення технічного аргону використовують установку типу ІО-GM2 продуктивністю 6 м³/год. Установка складається з ряду послідовно з'єднаних реакторів з поглиначами окремих складових газу (метану, оксиду вуглецю (II), кисню, азоту, водню).

Оскільки поглинання домішок відбувається при підвищених температурах, після кожного реактора встановлено холодильник. Крім того, в технологічному ланцюзі установки передбачено адсорбери з силікагелем і цеолітами для сушіння газу.

11 ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ ВИРОБІВ І ДЕТАЛЕЙ ПІСЛЯ ТЕРМООБРОБКИ ТА ЇХ ВИПРАВЛЕННЯ

При контакті поверхні виробів з окисним газовим середовищем в області підвищених і особливо високих температур відбувається окиснення та знеуглецювання виробів, причому товщина пошкодженого шару з часом і підвищенням температури збільшується. Поширюючись углиб металу, окалина погіршує якість, підвищує загальну трудомісткість виготовлення виробів у зв'язку з додаванням очисних операцій і веде до безповоротних утрат металу. При нагріванні виробів у полумених печах утрати на окалину становлять 2-3 %, а нагрівання в електричних печах веде до ще більших утрат металу. Недопустимим є також його знеуглецювання. Знеуглецьовані точні пру-

жини є кінцевим браком, інструмент утрачає різальні властивості, вироби мають нерівномірну (плямисту) твердість. Розглянуті вище способи безокисного нагрівання повністю не забезпечують відсутність контакту виробів з окисним середовищем. Так, при перенесенні виробів з печі в гартівну ванну утворюється тонкий наліт окалини. Незначне окиснення їхньої поверхні відбувається також при нагріванні в соляних ваннах та нагріванні СВЧ. Тому, незважаючи на те, що потреба в очищенні виробів завдяки безокисному нагріванню різко скоротилася, повністю ліквідувати очисні операції не вдалося, і вони ще застосовуються в термічних цехах. Крім очищення від окалини, їх використовують також для видалення залишків солей, масла й інших забруднень.

Для очищення поверхні термічно оброблених виробів застосовують різноманітні способи: дробострумнинний, металевим піском, гідроабразивний, травленням, промиванням тощо. Спосіб очищення вибирають залежно від характеру дефектного поверхневого шару, який потрібно усунути очисткою, маси виробу та ін.

Для видалення з поверхні масивних виробів шару окалини значної товщини (пластової окалини) використовують *дробострумнинні установки*. Така установка має вигляд герметично закритої камери з конвеєрним обладнанням і столом, нерухомим, обертовим або прохідним для розміщення виробів. На поверхню останніх крізь сопла під тиском стисненого повітря спрямовується струмінь дробу або дрібнонарубаних шматочків сталевого дроту. Відпрацьований дріб відсіюється від окалини і використовується повторно.

Для очищення виробів масою до 400 кг випускаються обертові дробометальні столи моделей 345, 353 більш масивних деталей - очисні камери моделей ДК-10М, 372М, 867М, 374С та ін.

У деяких випадках для очистки виробів від окалини застосовують *зачувальні верстати* моделей ЗБ633, 8Б634, 3А382 тощо.

До недавнього часу в термічних цехах часто використовували очистку виробів сухим кварцевим піском. Через небезпеку професійного захворювання робітників-піскоструминників силікозом вона була заборонена. В окремих випадках дозволяється застосування цього способу очищення за узгодженням із санепідстанцією, при цьому має бути виключений контакт працюючих із кварцевим пилом, а запиленість атмосфери повинна задовольняти норми Державної санітарної інспекції.

Більш прогресивною є *гідроабразивне очищення*, що майже повністю виключає пиловиділення. Недоліком її є необхідність використання спеціальних герметизованих апаратів і додаткових операцій корозійного захисту виробів. У деяких випадках гідроабразивна суміш та волога негативно впливають на працюючих. Порівняно з піскоструминною очисткою продуктивність праці при цьому способі трохи нижча.

При гідроабразивній очистці на поверхню виробів, розміщених у бункері, за допомогою стисненого повітря подають потужний струмінь гідроабразивної суміші. Для очистки сталевих виробів застосовують суміш, що містить з 30% води і 70% піску, чавунних виробів – 60-50% води та 40-50% піску, кольорових металів і сплавів - 80% води та 20% піску. Для запобігання корозії в суміш додають 0,8-1% кальцинованої соди або 0,5-1% нітрату натрію. Після очистки вироби промивають і піддають додатковій антикорозійній обробці.

Неперервне вдосконалення способів очистки виробів дало можливість виконувати до 90% всіх очисних операцій без використання кварцевого піску, замінивши його металевим. Найчастіше застосовують чавунний пісок, який діс-

тають розмелюванням чавунного дробу з подальшим просіюванням. Для очищення виробів металевим піском використовують таке саме обладнання, як і при очистці кварцевим піском, без суттєвої його модернізації. Спосіб має високу продуктивність. Найкращі результати очистки одержують, якщо металевий пісок виготовлений з того самого матеріалу, що й оброблювані вироби.

Для очистки дрібних, а також нарізних виробів та інструментів застосовують *корундове кришиво* - регенеровані абразивні зерна електрокорунду з розмелених відходів і використаних абразивних кругів.

Абразивну очистку виконують на установках, що випускаються серійно.

Заготовки з припуском на механічну обробку (поковки, виливки та ін.) після термообробки піддають хімічному травленню у водяних розчинах сірчаної кислоти (8-12%) при температурі 40-80°C або у водяних розчинах соляної кислоти (10-20%) при температурі 30-60°C. Для зменшення витрат металу до складу ванни додають спеціальні присадки. Після травлення вироби промивають у холодній або підігрітій воді чи піддають нейтралізації в гарячому лужному розчині з подальшим промиванням.

Хімічне травлення виробів здійснюється в травильній машині з підйомно-поворотним краном, що має чотири горизонтальних балки-коромисла. За допомогою плунжера кран може піднімати й опускати кошики з деталями, а в піднятому положенні він може повертати їх у горизонтальній площині на 90°. Під краном розміщуються три баки з травильним розчином, гарячою та холодною водою. Під четвертою балкою знаходиться розвантажувально-завантажувальна площадка. Послідовно переміщуючись із бака в бак, деталі піддаються травленню і промиванню. Продуктивність машини - до 3,6 т/год.

Більш прогресивним способом очистки деталей від окалини є *електролітичне травлення*. Його застосовують для очистки деталей з дрібною різью, гострими крайками та ін. При електролітичному травленні деталь є одним з електродів у електроліті певного складу, у зв'язку з чим розрізняють *анодне* і *катодне* травлення. Розрихлення та відрив окалини здійснюються киснем або воднем, які виділяються на поверхні деталі при пропусканні електричного струму. Для анодного травлення використовують слабкі водянні розчини солей або кислот, для катодного – 10-15% розчин сірчаної кислоти. Травлення ведуть при напрузі 5-12 В, густині струму 7-10 А/дм², тривалість процесу становить 10-15 хв. Після травлення деталі промивають і сушать.

Ванни для електролітичного травлення, знежирювання та промивання виготовляють з листової сталі. Вони мають прямокутний переріз. Усередині ванни покривають хімічно стійкими матеріалами: гумою, вініпластом та ін. Для підігрівання розчинів у ванни занурюють труби, які обігрівають парою або вводять пару безпосередньо в розчин (гостра пара). Джерелом живлення ванн є мотор-генератори потужністю 3-30 кВт і випрямлячі.

Травильне обладнання монтують в ізольованих приміщеннях, обладнаних потужною припливно-витяжною вентиляцією.

Для знежирювання та очистки деталей невеликих розмірів зі стійким забрудненням часто застосовують *ультразвукову очистку*. Вона ґрунтується на явищі кавітації, тобто потужних гідравлічних ударах, що виникають на поверхні деталей, занурених у рідину, при пропусканні через неї ультразвукових коливань. Після очистки деталі сушать парою. Для ультразвукової очистки деталей використовують агрегати типів УЗА-1 й УЗА-2.

Механічну очистку деталей виконують на дробо- та гідропіскоструминних установках.

Для очистки деталей від солей, масла і забруднень в одиничному та дрібносерійному виробництвах застосовують *промивні баки*, а в багатосерійному і масовому - *мийні машини*. Як мийні середовища використовують гарячі лужні або содові розчини, розчини рідкого скла з домішками емулсолу, розчини синтетичних мийних засобів, трихлоретан та ін.

Промивний бак оснащено змішувачем для підігрівання розчину. Щоб краще перемішувався розчин, у бак подають стиснене повітря. Суміш мийного розчину, масла і забруднювачів, що утворюється при промиванні деталей, перекачується в масловіддільник і через фільтр повертається на повторне використання. Масло зливається у відстійник. Після промивання деталі сушать на повітрі.

Мийні машини випускають кількох типів: *конвеєрні* з похилозамкненим конвеєром, одно- та двосекційні типу МКП; *барабанні* зі шнековим конвеєром, двосекційні типу ММБ; з *горизонтальним штовхачем* і *крокуючим конвеєром*, одно- і двосекційні для миття великих деталей типу ММТ; *роликові* типу ММР із підвісним конвеєром типу ММЕ. Цифри після літерного позначення показують основні розміри робочого простору (дм) - ширину, висоту, довжину. Випускаються також *автоматичні* мийні машини моделей СЗ 140.02, ОЗО-696А та ін.

У сучасних конструкціях машин подачу мийного розчину здійснюють найефективнішим і економічним методом душування. Розчин розігрівають гострою парою або трубчатими (газовими, електричними) нагрівниками. Мийний розчин подається насосами під тиском. Тривалість миття регулюється годинниковим механізмом. Машини обладнано масловіддільником, фільтрами, системою відсмоктування парів.

Після мийної машини встановлюється сушильна камера, в якій деталі сушаться спрямованим потоком повітря, нагрітого до 120°C.

Виправлення деталей здійснюють на *ручних, механічних* і *гідравлічних* пресах. Ручні рейкові та механічні гвинтові преси застосовують для виправлення деталей невеликого перерізу.

Найпоширенішими є гідравлічні преси типів П6320, П6322, П6324 тощо з зусиллям 100-2500 кН. Гідравлічна система пресів працює на маслі. Преси наділені обмежувачами довжини ходу правильного інструмента. Контроль якості виправлення здійснюється за допомогою індикатора.

12 ПІДЙОМНО-ТРАНСПОРТНЕ ОБЛАДНАННЯ

У термічних цехах для завантаження і розвантаження печей, переміщення піддонів та деталей від одного до іншого агрегату використовують різне підйомно-транспортне обладнання: талі, крани, конвеєри та ін.

Найпростішим підйомним пристроєм є *електричний таль*. Підняття вантажу в ньому здійснюється сталевим канатом, який намотується на барабан, що обертається від електродвигуна. Вантажопідйомність електричних талей досягає 5 т.

Електричний таль, підвішений до монорельсового візка, який переміщається вручну або електродвигуном, називається *електротельфером*.

Для переміщення важких конструкцій і виробів застосовують електричні самохідні одно- та двобалкові *крани* вантажопідйомністю 5 т і більше. Вивантаження та завантаження шахтних печей здійснюють за допомогою поворотних і пересувних кранів, електричних та пневматичних *підйомників*. Для завантаження і вивантаження піддонів та

цементацийних ящиків великої маси з камерних печей і гартівних баків використовують *маніпулятори*.

Переміщення піддонів, цементацийних ящиків й окремих деталей у печах неперервної дії здійснюється *роликowymi конвеєрами*, які можна переносити в будь-яке місце. Деталі від гартівних баків до відпускних печей, мийних машин та на дільниці контролю передаються *ланцюговими конвеєрами*, рух яких відбувається по замкненій трасі.

Для обслуговування автоматизованих камерних печей, мийно-сушильних машин, печей відпуску застосовують самохідні транспортні завантажувально-розвантажувальні *візки*, що переміщуються по напрямних рейках уздовж фронту печей. Робочий стіл візка складається з двох напрямних із роликами, між якими розміщено штовхач для заштовхування і виштовхування садки. Візок має блок керування, що забезпечує завантаження та вивантаження печей в автоматичному режимі за введеною в блок програмою. Точність роботи механізму при автоматичному циклі становить $\pm 0,8-1$ мм.

Транспортування деталей всередині цеху і між цехами виконується *електрокарами* з вилочним захоплювачем вантажопідйомністю 1,5 та 5 т. Для електрокар виготовляють універсальні контейнери.

Для обслуговування обладнання термічних цехів можна використовувати *промислові роботи*. Робот типу УМ-1Т призначений для обслуговування термічних печей, соляних ванн, гартівних баків, робот типу УМ-1П - для виконання різних технологічних операцій в умовах підвищеної запиленості повітря (наприклад, для обслуговування дробоструминних установок). Вантажопідйомність промислових роботів становить 10 кг, точність виконання операцій при встановленні деталей - від $\pm 0,1$ до ± 2 мм.

13 КОНТРОЛЬНО-ВИМІРЮВАЛЬНІ ПРИЛАДИ

Точний технологічний режим і висока якість термообробки виробів забезпечуються неперервним контролюванням та регулюванням параметрів технологічного процесу, які здійснюються за допомогою контрольно-вимірювальних регулювальних і реєструвальних приладів.

Функціональна схема вимірювального пристрою завжди включає *первинний прилад* - датчик, що сприймає та перетворює контрольовану величину на вихідний сигнал, зручний для підсилення, передачі на відстань і вимірювання, а також *вторинний прилад*, призначений для вимірювання, реєстрації та регулювання контрольованої величини.

Найважливішим параметром технологічного процесу термообробки деталей є температура. Її вимірюють двома способами: *контактним* або *безконтактним*. Як датчики для контактного способу вимірювання використовують термометри, термопари та термометри опору. При безконтактному способі датчиками служать телескопи пірометрів випромінювання.

Найпростішими датчиками температури є рідинні *термометри розширення* скляні, принцип дії яких ґрунтується на тепловому розширенні рідини. Їх застосовують для вимірювання температури від -100 до 650°C. Робочою рідиною в таких термометрах служать ртуть, спирт, гас або толуол. Недоліки скляних термометрів: велика теплова інерційність, неможливість дистанційної передачі й автоматичної реєстрації показів.

Дія *манометричних термометрів* ґрунтується на зміні об'єму рідини, газу або пари, які знаходяться в замкненому просторі при зміні температури, що приводить до зміни тиску. Тиск перетворюється манометричною пружиною на переміщення вказівної стрілки приладу.

Манометричні термометри випускаються кількох типів:

- електроконтактні ЭКТ і ТПГ-СК - для сигналізації або автоматичного керування за мінімальним та максимальним значеннями температури;

- термічні ТС-100 - для вимірювання і сигналізації при змінах температури;

- манометричні ТСГ - для вимірювання й автоматичного запису температури.

Манометричні термометри застосовуються в діапазоні температур $-60 - +500^{\circ}\text{C}$. Вони відзначаються малою вартістю та простотою монтажу, але є інерційними та складними в ремонті.

Термопара (рис. 13.1) - це спай двох різнорідних провідників або напівпровідників (термоелектродів). Зварені кінці 1 термопари називають *робочим* (або *гарячим*) *спаєм*; їх занурюють у середовище, температуру якого потрібно виміряти. Вільні кінці 2 термопари називають *холодними*, за допомогою компенсційних проводів 3 їх приєднують до мілівольтметра 4. Якщо температура робочого і вільних кінців термопари різна, то в термопарі виникає термоелектрорушійна сила. Її значення залежить від матеріалу

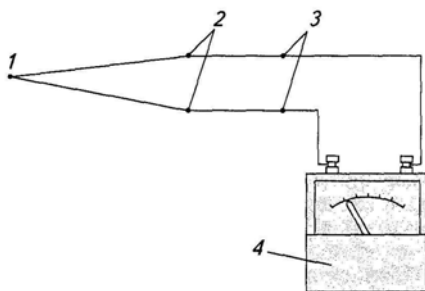


Рисунок 13.1 – Приєднання термопари до мілівольтметра

електродів та різниці температур між робочим спаєм і вільними кінцями. Температуру вільних кінців термопар підтримують сталою. Характеристику найпоширеніших термопар наведено в табл. 13.1.

Таблиця 13.1 – Характеристика найпоширеніших термопар

Тип термопар	Матеріал термоелектродів	Вимірювана температура, °С	
		тривала	короткочасна
ТПП	Платинородій (10% родію)	-20 - +300	1600
ТПР	Платинородій (30% родію)	300-600	1800
	Платинородій (6% родію)	300-1600	
ТХА	Хромель-алюмель	-50 - +1000	1300
ТХК	Хромель-копель	-50 - +600	800
ТНС	Сплав НК-СА	300-1000	-
ТВР	Вольфрам + 5% ренію	0-1800	2000
ТМСВ-340М	Вольфрам + 10% ренію	300-1650	-
ТГБЦ-360М	Графіт-борид	800-2000	-
ТГКТ-360М	Графіт-карбід титану	300-2500	-

Термопары виготовляють з наведених в таблиці матеріалів. Для захисту від пошкодження їх поміщають у захисну арматуру.

Сталість температури холодних кінців термопары забезпечують термостатуванням, для чого їх вводять у спеціальні коробки, де підтримується стала температура, або переносять у зону зі сталою температурою за допомогою подовжених (компенсаційних) проводів.

Принцип дії *термометрів опору* ґрунтується на властивості металів або напівпровідників змінювати свій опір при зміні температури.

Металеві термометри опору виготовляють намотуванням дроту на ізоляційний каркас. Вони поділяються на термометри опору *платинові* - ТСП (для вимірювання тем-

ператур у діапазоні $-200 - +650^{\circ}\text{C}$) та термометри опору мідні - ТСМ (для вимірювання температур у діапазоні $-50 - +180^{\circ}\text{C}$).

Напівпровідникові термометри опору (термістори) порівняно з металевими мають менші розміри, вищу чутливість і малу інерційність. Промисловість випускає близько сотні типів термісторів для вимірювання температури в різних вузьких діапазонах температур в інтервалі $-100 - +300^{\circ}\text{C}$ (типи КМТ-1, КМТ-4, СТ-35 та ін.).

Вуглецевий потенціал контрольованої атмосфери регулюють зміною вмісту одного з трьох газів: парів води, оксиду вуглецю (IV) або метану. Це дає змогу визначити вуглецевий потенціал непрямим методом - за точкою роси газу або за кисневим потенціалом.

Датчик для визначення точки роси газу - це пористий ебонітовий стрижень, насичений хлористим літієм. Його опір змінюється в широких масштабах залежно від вологості газу. Датчиком для визначення кисневого потенціалу служить твердоелектролітна комірка, виконана у вигляді запаяної з одного кінця трубки, що має киснево-аніонну провідність. Різниця потенціалів між електродами комірки залежить від концентрації кисню у повітрі, яким обдувають трубку зсередини, та в газовому середовищі, в якому знаходиться комірка.

Для вимірювання тиску і витрати рідини та газів застосовують *мембранні*, а також *сильфонні* датчики з електричним або пневматичним вхідним сигналом. Датчики використовують у комплекті з вторинними вимірювальними, самописними і регульовальними приладами: мілівольтметрами, потенціометрами, логометрами, електронними приладами та ін.

Найдосконалішими і найпоширенішими є *автоматичні електронні прилади*. За типом вимірювальної схеми їх поділяють на потенціометри, зрівноважувальні мости,

прилади з диференціально-трансформаторними та феродинамічними перетворювачами. Показуючі, самописні, регулюючі прилади обладнано пристроями для автоматичного запису значень параметра на діаграмному папері у вигляді стрічки або диска, а також пристроями для регулювання параметра.

Електронні потенціометри працюють у комплекті з термопарами й іншими датчиками, що перетворюють значення вимірюваного параметра на напругу постійного струму. Принцип дії їх ґрунтується на зрівноважуванні електрорушійної сили (ЕРС) датчика однаковою за значенням, але протилежною за знаком ЕРС стороннього джерела струму (живильного елемента). Зрівноважування здійснюється автоматично нахождением такого положення повзунка на реохорді мостової схеми, коли ЕРС датчика й ЕРС живильного елемента будуть скомпенсовані. З датчиком реохорда зв'язані стрілка і перо приладу, які фіксують значення параметра на шкалі та діаграмі. У промисловості використовуються електронні потенціометри типів ЭПП, ЭПД, ЭПВ, ПП, ПС, П, ПСМ та ін.

Електронні зрівноважувальні мости працюють у комплекті з термометрами опору. Опір термометра в цих приладах визначається автоматично за трьома відомими опорами мостової схеми. Прилади мають позначення МСМ, МСМР, МПЧ, МСР, ЭМВ, ЭМД, ЭМП тощо.

В *електронних приладах із диференціально-трансформаторним або феродинамічним перетворювачем* механічне переміщення чутливого елемента датчика зумовлює переміщення осердя трансформатора або поворот струмової рамки, що знаходиться в електромагнітному полі котушки збудження. Це приводить до зміни напруги індукованого в котушці або рамці струму, яка фіксується приладом. Прилади призначені для контролю, запису і ре-

гулювання витрати рідини та газу, рівня рідини, тиску й інших параметрів.

У промисловості застосовують прилади з диференціально-трансформаторними перетворювачами типів ЭИВ2, ДС1, ДСР1, ДСМ2, ДСМР2 і прилади з феродинамічними перетворювачами типу ВСФ.

Випускаються і більш досконалі автоматичні електронні прилади серії К: КП - показувальні, КВ - показувальні з обертовою шкалою та КС - самописні. Вони мають такі позначення: КПП, КВП, КСП - потенціометри; КМП, КВМ, КСМ - зрівноважувальні мости; КСД - прилади з диференціально-трансформаторним перетворювачем; КСФ - прилади з феродинамічним перетворювачем, КПУ, КВУ, КСУ - прилади уніфікованого сигналу.

Пірометри випромінювання випускаються чотирьох типів: оптичні, радіаційні, фотоелектричні та кольорові.

Схему *оптичного пірометра* з волоском, що зникає, показано на рис. 13.2 а. Світловий потік від нагрітого тіла крізь об'єтив 1, світлофільтр 3 й окуляр 4 потрапляє в око спостерігача. Між об'єктивом і окуляром поміщено лампу розжарювання 2, яка живиться струмом від батареї 7. Регулюючи розжарення лампи реостатом 6, досягають збігу яскравості волоска лампи та яскравості джерела випромінювання, тобто коли частина зображення волоска зникає на фоні зображення джерела (рис. 13.2 б). Відлік температури ведуть за шкалою приладу 5.

Промисловість випускає оптичні пірометри типів ОП-ПИР-017, «Луч», а також мікропірометри ПМП-066М, ВИМП-0,15 м, ОМП-054 та ін. Інтервал вимірювання температури цими приладами становить 400-6000°C.

Радіаційні пірометри вимірюють повну (світлову і теплову) енергію випромінювання тіла. У телескопі цього приладу встановлено термобатарею, що перетворює енер-

гію, яку випромінює поверхня нагрітого тіла, на термо-ЕРС. Остання вимірюється вторинним приладом.

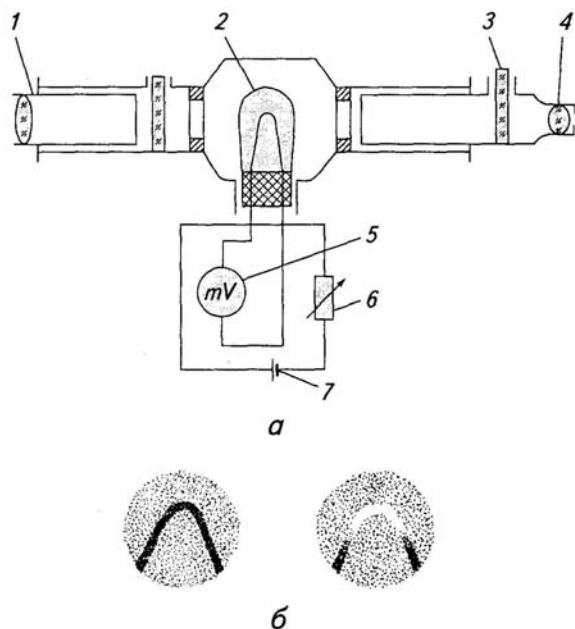


Рисунок 13.2 – До розгляду принципу дії оптичного пірометра

Найбільшого поширення дістали радіаційні пірометри типів «Рапир» та ПРК-600, ведеться серійний випуск нових пірометрів типів ВПР-40, РПК-101. Вони забезпечують вимірювання температури в межах 400-2000°С.

У *фотоелектричних пірометрах* для вимірювання яскравості використовуються фотоелементи. Фотострум вимірюється вторинним приладом, що забезпечує вимірювання, запис, сигналізацію і регулювання температури. Межі вимірювання температури фотопірометрами типів ФЭП, ФП, ФПР, які випускаються серійно, становлять 200-4000°С.

Кольорові пірометри вимірюють температуру за відношенням інтенсивностей монохроматичного випромінювання тіла для двох діапазонів довжин хвиль червоного та синьо-зеленого видимого спектрів. Межі вимірювання температури – 300-2800°С. Серійно випускаються кольорові пірометри типів ЦЭП-3, РЭД-018, «Спектропер». Вони призначені для реєстрації і регулювання температури.

Контроль температури деталей при використанні швидкісних методів нагрівання (індукційний, контактний та ін.) часто виконують за допомогою термопар із записом кривої нагрівання й охолодження на *шлейфовому осцилографі*. Температуру, час нагрівання та охолодження деталей визначають за осцилограмою. При сталих електричних параметрах процесу (напруги, сили струму індуктора і контуру) температуру деталей контролюють за *реле часу*.

Вимірювання та регулювання вуглецевого потенціалу контрольованих атмосфер виконують за допомогою приладів для визначення вологості газу (точки роси) і газоаналізаторів.

Для періодичного вимірювання точки роси використовують *конденсаційні гігрометри*. Принцип дії їх ґрунтується на вимірюванні температури охолоджуваного металевого дзеркала у момент конденсації на ньому вологи, яка міститься в газі, що аналізується. Дзеркало охолоджують вуглекислотою, рідким азотом або напівпровідниковою термобатареею. Гігрометри типів ИИГ-1, ВИГ-2М, ВИГ-3 тощо дають змогу вимірювати точку роси в межах від +30 до -60°С.

Автоматичний контроль та регулювання складу атмосфери в ендогенераторах і печах здійснюють за допомогою установки «Іней-1». Робочий діапазон вимірювання точки роси становить від +20 до -85°С.

Для вимірювання та регулювання складу пічної атмосфери широке застосування дістали *інфрачервоні газоаналі-*

затори. Принцип дії цих приладів ґрунтується на здатності складних газів (СО, СО₂, СН₄ та ін.) поглинати інфрачервоні промені певної довжини хвилі. Ступінь поглинання променів залежить від концентрації газу в суміші. Енергія інфрачервоного випромінювання визначається конденсаторним мікрофоном з оптико-акустичним ефектом.

Серійно випускаються інфрачервоні газоаналізатори типів ОА-2209 (за СО₂), ОА-2309 (за СН₄) тощо. На їх основі компонують установки для автоматичного контролю і регулювання вуглецевого потенціалу при цементації та нітроцементації деталей (наприклад, установка типу ОНМ-11). Знаходять застосування також *газоаналізатори абсорбційного типу, фотокалориметричні прилади* та ін.

Для регулювання тривалості технологічних операцій і керування механізмами термічного обладнання використовують електронні та *моторні реле часу* типів ВЛ, РВЧ і ВС з різними діапазонами витримки (від 1 с до 24 год). Регулювання тривалості витримки кількох операцій технологічного процесу за заданою програмою здійснюється спеціальними багатоланцюговими реле часу - *командо-електроприладами*.

14 АВТОМАТИЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ТЕРМООБРОБКИ ВИРОБІВ

Дотримання високої якості термообробки виробів у сучасних термічних цехах забезпечується автоматизацією контролювання і регулювання параметрів технологічних процесів, а також автоматизацією керування механізмами та транспортними засобами термічного обладнання.

Системи автоматичного контролювання, регулювання і керування в термічних цехах складаються з вимірювальних та регулювальних приладів, а також виконавчих механізмів.

Регулювальні пристрої або вмонтовують у вторинні прилади, або виконують у вигляді окремої приставки приладного типу. Найпростішим регулювальним пристроєм є *реле*, що вмикає електричне коло живлення виконавчого механізму під впливом покажчика (стрілки) вимірювального приладу.

Залежно від типу вторинного приладу застосовуються такі регулювальні пристрої: *електричні позиційні багатоканальні, електричні або пневматичні неперервної дії*. Вони призначені в основному для регулювання в часі одного параметра або співвідношення двох параметрів.

Для регулювання складних технологічних процесів, коли потрібно здійснювати через певні проміжки часу підвищення або зниження температури, змінювати склад газу тощо, використовують *програмні регулювальні та задавальні пристрої*. Їх випускають серійно з максимальною тривалістю циклу програми 500 год.

Сигнали від керуючого або регулюючого пристрою подаються на виконавчий механізм, який завдяки додатковій енергії здійснює переміщення регулювального органу (клапана, заслінки, крана, шибера, повзуна та ін.). Найчастіше застосовують *електричні виконавчі механізми*: контактори, магнітні пускачі, електромагнітні й електромоторні приводи. У деяких випадках використовують *гидравлічні виконавчі механізми* (сервомотори з кривошипним механізмом) і *пневматичні виконавчі механізми* мембранного типу.

Автоматичне регулювання теплового режиму в печах з газовим обігріванням здійснюється вимірюванням кількості газоповітряної суміші, що подається до пальників, та підтримкою сталого співвідношення об'ємів газу і повітря.

При використанні інжекторних пальників з активним повітряним струменем, в яких інжекція газу здійснюється повітрям, співвідношення витрат газу та повітря ре-

гулюється зміною подачі повітря. При цьому тиск газу перед пальниками підтримується нульовим. Витрати повітря змінюють мембранним виконавчим механізмом, на який діє ізодромний пневматичний регулятор електронного потенціометра, що вимірює температуру пічного простору.

Тепловий режим в електричних печах регулюють ступінчастою або плавною зміною потужності. Це регулювання здійснюють такими способами:

- перемиканням нагрівників трифазної печі з «трикутника» на «зірку»;
- вмиканням послідовно з піччю регульованого активного або реактивного опору;
- живленням печі через регульовальний трансформатор або автотрансформатор з перемиканням печі на різні ступені напруги;
- зміною потужності печі за допомогою напівпровідникових приладів.

Найефективніша плавна зміна потужності, що подається до печі, досягається за допомогою напівпровідникових приладів або трансформаторів.

На рис. 14.1 зображено схему системи регулювання температури електричної печі за допомогою регулятора ВРТ-2. Сигнал термопари, яка вимірює температуру робочого простору печі, підсилюється вимірювальним блоком И-102 і надходить до регульовального блока Р-111. Він керує безконтактним тиристорним блоком живлення У-252, який через трансформатор T змінює потужність, що подається на нагрівник R . Схема забезпечує регулювання температури в печі з точністю до $\pm 0,5^\circ\text{C}$.

Для керування процесом цементації, ціанування та нітроцементації виробів застосовують системи автоматичного регулювання вуглецевого потенціалу атмосфери. Наприклад, система АСГА-Ц вмикає автоматизовану систему газового аналізу атмосфери печі, вимірювачі температури,

обчислювальні пристрої і виконавчий механізм, що керує регулювальними кранами подачі метану або повітря в різні зони печі.

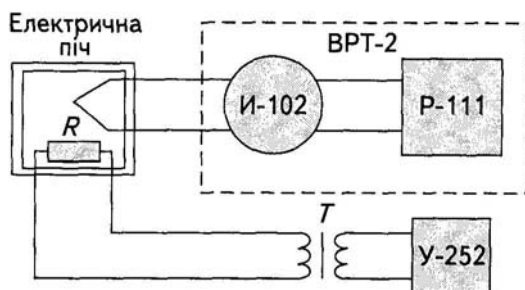


Рисунок 14.1 – Схема системи регулювання температури електричної печі за допомогою регулятора ВРТ-2

Система забезпечує регулювання вуглецевого потенціалу з урахуванням зміни температури у процесі хіміко-термічної обробки виробів за заздалегідь заданою програмою.

Системи автоматичного регулювання та керування технологічними процесами в термічних цехах доповнюються або поєднуються з електронними обчислювальними машинами. Вони дають змогу визначати і підтримувати оптимальний режим технологічних процесів, забезпечуючи найвищу продуктивність та ККД обладнання. Такі системи називають самоналагоджувальними, або *системами автоматичної оптимізації*.

Застосування автоматичного регулювання технологічних процесів сприяє підвищенню продуктивності обладнання, дає змогу раціонально використати теплову енергію, зменшити припуски на механічну і термічну обробку виробів, знизити вартість випущеної продукції.

15 АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСІВ ТЕРМООБРОБКИ ВИРОБІВ З ВИКОРИСТАННЯМ РОБОТІВ

Розвиток мікропроцесорної техніки, а також робото-техніки відкриває нові можливості автоматизації виробничих процесів. Застосування роботів дає змогу вивільнити працівників, зайнятих на монотонних трудомістких ручних операціях, а також у цехах зі шкідливими умовами праці, до яких належать термічні, підвищити продуктивність та якість продукції. Крім того, в умовах, коли часто змінюється номенклатура вироблюваної продукції, використання промислових роботів забезпечує необхідну гнучкість виробництва при нарощуванні обсягів випуску продукції і скороченні трудовитрат.

Промислові роботи застосовуються в основному на порівняно простих операціях, при цьому вони діють за жорстко спланованою циклічною програмою. Підвищення технічних можливостей роботів може бути досягнуто завдяки більшій рухливості їхньої маніпуляційної системи, тобто збільшенню кількості ступенів вільності (рухливості) маніпуляторів, кількості рук і виконавчих механізмів. Це різко збільшить їхню продуктивність та в багато разів підвищить продуктивність праці порівняно з людиною. Якщо оснастити захоплювальні пристрої промислових роботів різного роду датчиками й іншими засобами чуття, то зростуть їхні інформативність і пристосовуваність до умов зовнішнього середовища.

Нині в промисловості знаходять застосування промислові роботи двох типів: *універсальні* та *спеціалізовані*. У перших робочий орган має мінімум шість ступенів вільності, він може розпізнавати предмети, з якими працює. Такі роботи сприймають інформацію з навколишнього середовища й успішно використовуються на різних робочих місцях. Спеціалізовані роботи призначені для виконання конкретних і вузьких технічних завдань.

Кожен робот містить чотири системи: виконавчу (маніпуляційну), інформаційно-вимірювальну (сенсорну), керуючу (інтелекту) та систему зв'язку.

Інформаційно-вимірювальна система призначена для забезпечення робота інформацією про стан навколишнього середовища і самого робота згідно з вимогами керуючої системи.

Керуюча система виробляє команди для маніпуляційної системи на підставі даних, одержаних від інформаційної системи, а також здійснює спілкування робота з людиною. Інтелектуальні можливості робота залежать від програмного забезпечення його керуючої системи.

Система зв'язку служить для обміну інформацією між роботом та людиною, а також іншими пристроями на певній умовній мові.

Досвід показує, що промислові роботи і маніпулятори можуть замінити людину в термічних цехах на операціях завантаження та розвантаження термічного обладнання, складання виробів, що пройшли термообробку, в штабелі й розбирання штабелів, завантаження та розвантажування контейнерів з термічно обробленими виробами, а також на допоміжних операціях у системах автоматичного контролю.

Аналіз існуючих видів термічного обладнання з позицій можливостей його обслуговування промисловими роботами показує, що передусім їх можна використати в установках гартування виробів СВЧ, полуміневих печах, пресах для гартування зубчастих коліс тарілчастого типу, установках для гартування і згинання пружин та ін.

Промисловість випускає досить широку за технічними параметрами гаму промислових роботів. Так, удосконалений промисловий робот моделі «Універсал-15» має вантажопідйомність 15 кг, переміщення руки по вертикалі 260 мм, а по горизонталі 1000 мм при куті повороту нав-

коло вертикальної осі 330°C. Робот оснащено аналого-позиційною системою програмного керування, спосіб задання координат - методом навчання за першим циклом.

Сучасні промислові роботи здатні працювати в досить жорстких умовах

загазованості, а також запиленості повітря (навіть у вибухонебезпечних середовищах) під дією температури на захоплювачі (до 500 °С) та ін. Точність позиціонування роботів досягає 0,1 мм.

Нові можливості автоматизації процесів термообробки виробів відкриваються при використанні роботів старшого покоління, які мають технічний зір, що дає змогу визначати місце розміщення виробу та його орієнтацію.

16 ТЕСТОВИЙ КОНТРОЛЬ ЗАСВОЄННЯ ЛЕКЦІЙНОГО МАТЕРІАЛУ

Контроль складається з 39 питань з курсу, що мають чотири відповіді, одна з яких правильна.

Оцінка ступеня засвоєння матеріалу здійснюється за програмою ПЕОМ на кафедрі ПМ і ТКМ СумДУ.

Контрольні запитання тестового контролю до СРС

Кожне запитання тестового контролю має чотири варіанти відповідей. Загальна кількість набраних балів і підсумкова оцінка відповіді здійснюється за програмою «Test-otc» в комп'ютерному класі кафедри ПМ і ТКМ СумДУ.

1 Які види устаткування мають у своєму складі термічні цехи ?

2 Які види обладнання термічних цехів відносять до основного?

3 До якого виду устаткування належить мийна машина?

4 До якого виду устаткування відносять нагрівальні установки?

5 До якого виду устаткування належить вентилятор?

6 Які види вогнетривких матеріалів застосовують для мурування термічних печей?

7 Назвіть дві основні вимоги до вогнетривких матеріалів?

8 Вогнетривкі матеріали, що витримують робочу температуру 1770-2000⁰С, відносять ...

9 Якщо основу вогнетривкого матеріалу складає MgO або MgO+CaO, то такі матеріали відносять...

10 Якщо основу вогнетривкого матеріалу складає SiO₂, то такі матеріали відносять ...

11 Якщо основу вогнетривкого матеріалу складає Al₂O₃+SiO₂, то такі матеріали відносять ...

12 Які основні техніко-економічні показники печей та в яких одиницях вони виражаються?

13 Що таке теплова потужність печі?

14. Що таке теплове навантаження печі?

15 Що таке тепловий режим печі?

16 Що таке теплова напруга поверхні нагрівання?

17 Які види енергоносіїв використовують для нагрівання металу в печах?

18 Який принцип дії радіаційних труб?

19 Як називають пристрої для спалювання рідкого палива?

20 Які види нагрівників електричного опору застосовують у сучасних нагрівальних агрегатах?

21 Якого типу металеві нагрівачі бувають в електричних печах?

22 Яку конструкцію має камерна нагрівальна піч?

23 Яке призначення конструктивних елементів вакуумної печі?

24 Як обігріваються печі-ванни?

- 25 Яку конструкцію має карусельна піч?
- 26 Які типи печей використовують для компонування автоматизованих ліній термообробки виробів?
- 27 Яке обладнання застосовують для поверхневого нагрівання виробів?
- 28 Які види обладнання використовують для охолодження виробів при гартуванні?
- 29 Які холодоагенти застосовують для одержання низьких температур?
- 30 Який принцип дії холодильної установки?
- 31 Яка суть процесу створення контрольованих атмосфер аміачної групи?
- 32 Як створюють контрольовані атмосфери для проведення цементації деталей?
- 33 Яка суть очистки виробів від окалини абразивними матеріалами?
- 34 Якими способами очищають поверхню виробів від масла та інших органічних забруднювачів?
- 35 Які основні види транспортних засобів застосовуються для переміщення виробів у термічних цехах?
- 36 Який принцип вимірювання температури за допомогою термопар?
- 37 Яка суть вимірювання температури фотоелектричним пірометром?
- 38 Яке призначення основних систем промислових роботів?
- 39 Домінуючими показниками при виборі типу і кількості обладнання термічного цеху (дільниці) є?

17 ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ З ПРЕДМЕТА ТА МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ І ПРИКЛАДИ ВИКОНАННЯ САМОСТІЙНИХ РОБІТ З КУРСУ

Лабораторна робота 1

«Вивчення особливостей конструкцій електричних печей типу СНО-8,5.14.5/10 і завдання на СРС з визначення витрат тепла камерних електричних печей»

1 МЕТА РОБОТИ

- 1.1 Ознайомитися з конструкцією печі СНО-8,5.14.5/10.
- 1.2 Вивчити будову і склад футерувальних матеріалів стінок і склепіння печі СНО.
- 1.3 Навчитися робити розрахунки втрат тепла через футерівку стінок і склепіння печі.

2 УСТАТКУВАННЯ, ПРИЛАДИ Й МАТЕРІАЛИ

- 2.1 Піч електрична, камерна СНО-8,5.14.5/10.
- 2.2 Футерувальна діатомітова і шамотна цегла.
- 2.3 Прилади контролю печі.

3 ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ

Камерні електричні печі мають ряд переваг перед паливними: відсутність димових газів; не потрібно димососної системи; гарна теплоізоляція; полегшене регулювання температури й сигналізації; кращі можливості застосування контрольованої атмосфери; гарні санітарні умови в цеху.

До недоліків електропечей відносять: більш тривале нагрівання деталей, ніж у газових і мазутних печах, унаслідок передачі тепла, головним чином випромінюванням (циркуляція гарячого повітря або газу в печі створює конвективний теплообмін і

прискорює нагрівання); необхідність заземлення печей та ін.; окислювання деталей при нагріванні, якщо не застосовується контрольована атмосфера; більші витрати при експлуатації.

На машинобудівних заводах широко використовуються камерні електричні печі.

Існує серія камерних електропечей, позначуваних індексом СНО, з металевими нагрівачами. Ці печі компактні, мають велику продуктивність, невеликі витрати електроенергії й значний термін служби металевих нагрівачів унаслідок застосування високоякісних вогнетривких і теплоізоляційних матеріалів, рівномірний розподіл тепла по довжині робочого простору.

До недоліків печей серії СНО належать наявність окисної атмосфери в робочому просторі, обмеженість використання контрольованих атмосфер і ручний підйом та опускання дверей печей (за винятком печі СНО-8,5.17.5/10, де підйом та опускання дверей здійснюються за допомогою електромеханічного привода).

Розроблено типаж камерних електропечей з металевими й карборундовими нагрівачами. Електропечі випускають заводи електротермічного устаткування. Цей типаж складається з великої кількості печей з різними розмірами робочого простору. В основу розробленого типажу печей покладено: збільшення потужності й продуктивності, створення спеціалізованих конструкцій для різних технологічних процесів і деталей, упровадження форсованого нагрівання, зменшення габаритів і ваги печей, підвищення робочих температур, розширене використання контрольованих атмосфер, механізацію й автоматизацію завантажувальних і розвантажувальних операцій.

Електропечі застосовуються для відпалу, нормалізації та загартування сталевих деталей. Перевагою цих печей є можливість застосування контрольованої атмосфери та механізація завантаження й розвантаження. Контрольована атмосфера вводиться через задню торцеву стінку. Крім того, у нижній частині

кожуха печі кріпиться трубопровід, що складається із двох ліній: по одній подається газ, по іншій - повітря. Газ і повітря, змішуючись у пальнику й згоряючи в камері згорання, створюють полум'яну газову завісу, що перекриває проріз при відкритих дверцятах. Цей типаж складається із трьох груп камерних печей з металевими нагрівачами, які підбирають залежно від температур нагрівання (700, 1000 і 1250°C). Печі з робочою температурою до 700°C призначені для відпуску сталевих деталей, а також для обробки деталей з кольорових металів і сплавів. Печі з температурою до 1000°C служать для відпалу, нормалізації й загартування сталевих деталей, а печі з робочою температурою до 1250°C призначаються для термічної обробки деталей та інструментів зі швидкорізальних й інших високолегованих сталей. Ці печі мають індекс СНЗ. На рис.1 показана піч СНЗ-2,5.5.1,7/10, виготовлена Чадир-Лунзьким заводом електротермічного устаткування.

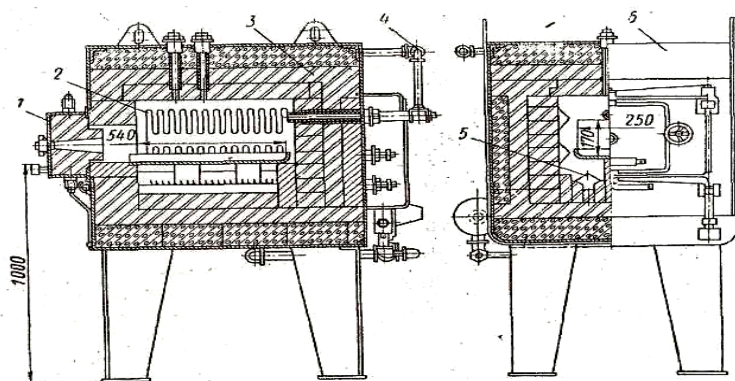


Рисунок 1 - Камерна електрична піч із контрольованою атмосферою СНЗ-2,5.5.1,7/10: 1 - дверцята; 2 - бічний нагрівач; 3 - футерівка; 4 - газопровід; 5 - подовий нагрівач; 6 - кожух

Ця піч має найменші розміри робочого простору - 500x250x170 мм. Кожух печі герметичний, дровити зигзаго-

подібні нагрівачі розміщені на поду й бічних стінках робочої камери. В інших печах СНЗ нагрівачі покладені додатково на склепінні й дверцятах. Пристрій для створення полум'яної завіси змонтовано під дверцятами. Витрата захисного газу на робочу камеру становить 2,5 м³/год і на полум'яну завісу-5 м³/год (при безперервному горінні). Споживана потужність печі при садці 50 кг і нагріванні до 850°C становить 12кВт.

Для більш високих температур (до 1350°C) використовують карборундові нагрівачі.

Конструкція печі з карборундовими нагрівачами показана на рис. 2. По чотири нагрівачі у вигляді стрижнів зі стовщеними вивідними кінцями розміщають у горизонтальному положенні біля склепіння й під подом печі, що складається з карборундових плит. У задній стінці печі є отвір для установки термопари. Ці печі обладнані трансформаторами з декількома щаблями напруги. У міру збільшення опору карборундових стрижнів (унаслідок старіння) підвищують напругу на клеммах трансформатора.

На цей час типаж печей з карборундовими нагрівачами розширений. Розроблено чотири типорозміри із установленою потужністю від 10 до 100 кВт. Максимальна робоча температура 1350°C.

У нових печах забезпечується висока стійкість нагрівачів унаслідок зниження питомої поверхневої потужності.

Кожухи печей і виводи виконуються газонепроникними для того, щоб можна було використати контрольовану атмосферу. При відкриванні дверцят створюється полум'яна завіса.

Нові печі з карборундовими нагрівачами мають деякі переваги: використовується контрольована атмосфера й деталь при нагріванні не окисляються, автоматичне регулювання температури не викликає труднощів. До недоліків печей відносять частий вихід з ладу карборундових стрижнів у результаті крихкості, що призводить до поломки, відсутність механізованого

завантаження й вивантаження деталей, окислювання деталей при виході їх з печі, при перенесенні в гартівний бак.

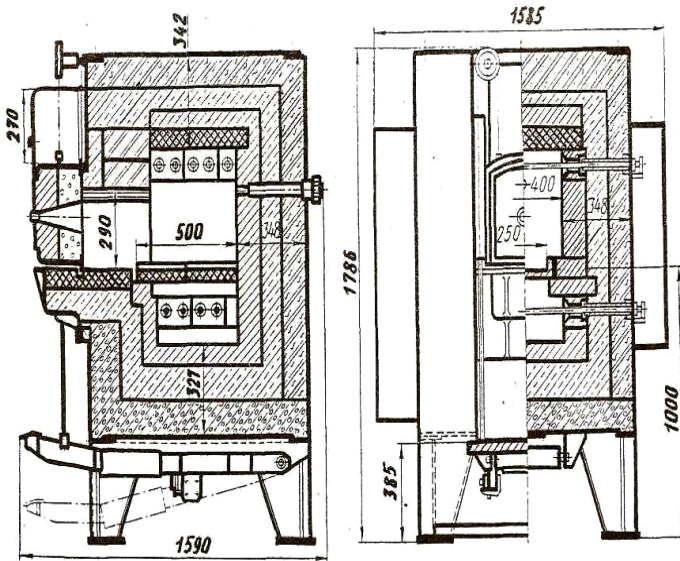


Рисунок 2 - Електропечі з карборундовими нагрівачами

Печі з карборундовими нагрівачами застосовуються для нагрівання під загартування інструментів зі швидкорізальних і хромистих високолегованих сталей.

Як правило, інструменти перед завантаженням у високотемпературну піч підігрівають до 850°C в іншій печі. Для здійснення цих двох операцій в одній печі зручна двокамерна піч, показана на рис.3. Нижня камера служить для підігріву деталей до температури 850°C , верхня – для остаточного нагрівання до температури 1300°C . Обидві камери футеровані вогнетривкою цеглою. Як теплоізоляція нижньої камери використано діатомитове засипання, а верхньої камери - зоноліт. Нагрівачі нижньої камери 2 виконані зі сплаву X20H80 і укладені на

бічних стінках печі; у верхній камері встановлюються карборундові нагрівачі 3. Нагрівачі нижньої камери з'єднані безпосередньо з мережею 380 В, а нагрівачі верхньої камери під'єднуються через знижувальний трансформатор. Температура регулюється автоматично, для цього в кожній камері встановлені окремі термодари. Розміри підігрівальної камери 330x410x180 мм, потужність 9 кВт. Розміри камери високого нагрівання 250x360x175 мм, потужність 9,75 кВт, продуктивність печі 25-30 кг/год.

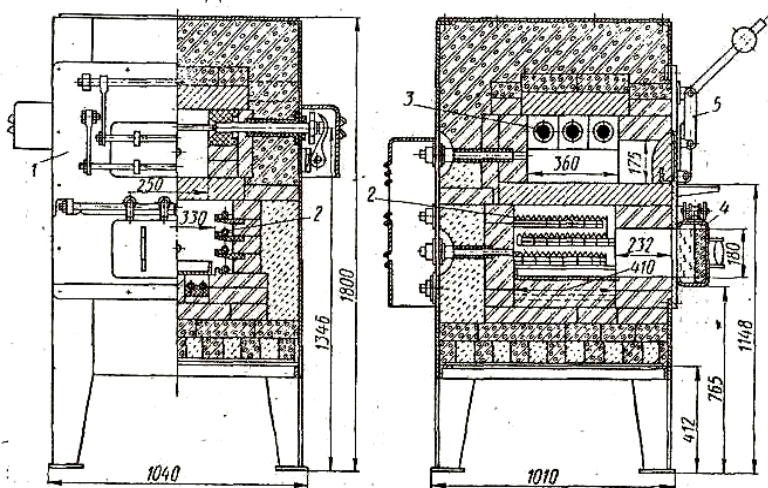


Рисунок 3 - Двокамерна електропеч для обробки швидкорізальної та високохромистої сталі: 1 - кожух печі; 2 - нагрівачі нижньої камери; 3 - нагрівачі верхньої камери; 4 - дверцята нижньої камери; 5 - механізм підйому дверцят верхньої камери

У промисловості часто виникає необхідність нагрівати деталі при температурах 1400-1500°C як в окисній, так і захисній атмосфері. У цих випадках використовують електропечі з нагрівачами з дисиліциду молібдену. Найбільш стійкі ці нагрівачі в окисних середовищах (повітрі, кисні, водяній парі, вуглекислоті). Для таких ви-

соких температур потрібні високовогнетривкі матеріали. Для кладки печей у цих випадках застосовують силіманіт, шамот і діатомітову цеглу.

Камерна електропіч типу СНО – 3.4, 5.2/16 з нагрівачами з дисиліциду молібдену для обробки різних деталей в окисній і захисній атмосферах при температурах 1400-1600°C наведена на рис.4.

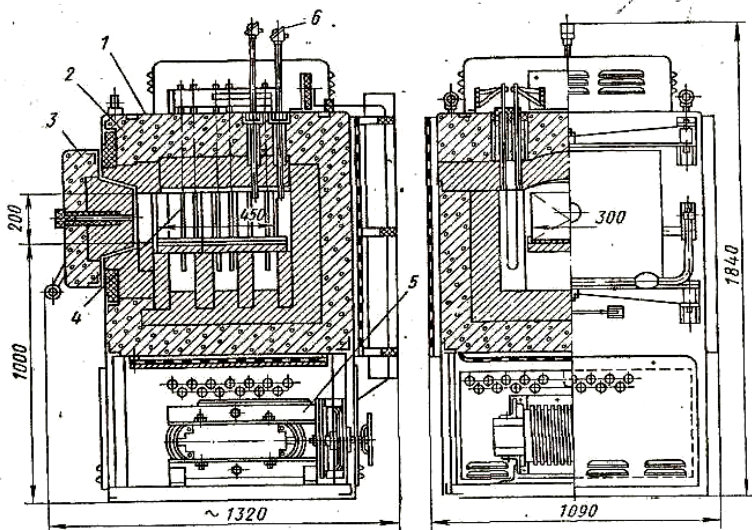


Рисунок 4- Камерна електропіч типу СНО-3.4,5.2/10 з нагрівачами з дисиліциду молібдену: 1 - кожух; 2 – футерівка; 3 - дверцята з механізмами відкриття; 4 - нагрівальні елементи; 5 - трансформатор; 6 - термопара

Кожух печі зварений з листової сталі, верхній лист кожуха знімний. Футерівка виконана з високоглиноземистої шамотної й легковагої шамотної цегли, а теплоізоляція – з ультралегковагої шамотної цегли. На печі встановлений кінцевий вимикач, що у момент відкриття дверцят автоматично вимикає нагрівальні елементи. У печі використовується двопозиційне регулювання температури за допомогою двох термопар і двох потен-

ціометрів. Термопари встановлені через склепіння печі. Одна з термопар під'єднана до регулюючого приладу, а інша – до вимикального. Крім того, здійснюється періодичний контроль температури деталей за допомогою радіаційних пірометрів через отвори в бічній стінці печі й дверцята. Ці отвори закриті пробками й відкриваються тільки під час контролю температур. Нагрівальні елементи печі U – подібної форми. Максимальна температура печі 1600°C, а робоча-1500°C. Напруга живильної мережі 380-220 В, а робоча напруга на нагрівачах 75 В. Їхнє живлення електроенергією здійснюється через знижувальний трансформатор. Розміри робочого простору 300x450x200 мм, габаритні розміри 1090x1320x1840 мм.

Камерна електрична піч СНО-8,5.14.5/10 розміщена на філії кафедри в цеху № 2.

Піч, загальний вигляд якої представлений на рис.5, призначена для різних видів термічної обробки деталей та інструментів. Цифрами на рисунку позначено: 1 - механізм підйому дверцят; 2 - нагрівальні елементи; 3 - футерівка; 4 - кожух.

Вона має таку технічну характеристику.

Тип печі	Камерна електрична піч опору з окисною атмосферою
Максимальна робоча температура, °C	1000
Вид палива	Електроенергія
Розміри робочого простору печі, мм:	
ширина	850
довжина	1400
висота	500
Потужність, кВт	102
Кількість теплових зон	1
Час розігріву, год.	5
Маса печі, т	8,7

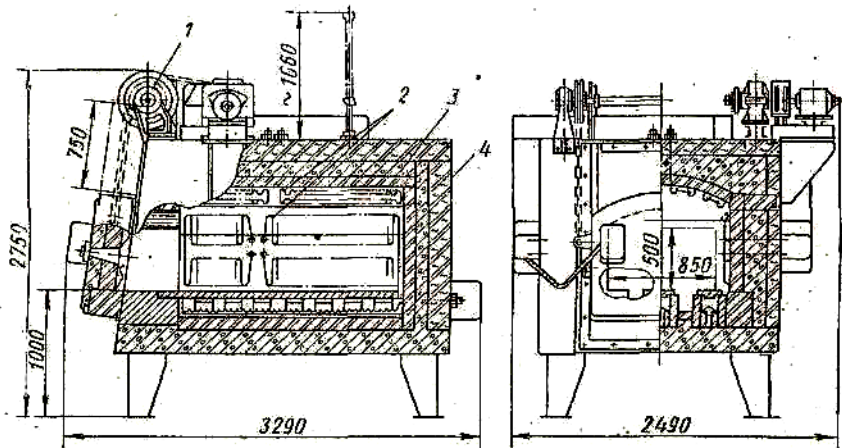


Рисунок 5 - Камерна електрична піч СНО-8,5,14.5/10

Футерівка печі складається з вогнетривкого шару ультралегковагових цегл, шлаків та ізоляції. Нагрівання печі відбувається за допомогою елементів із дроту діаметром 7 мм сплаву марки Х20Н80. Ці елементи розміщені на бокових стінках, склепінні й на поду печі. Живлення елементів здійснюється від трифазної мережі через знижувальний трансформатор типу ТПТ-60ВЧТ. Робоча температура печі 1000°C регулюється автоматично. Завантаження виробів у піч здійснюються за допомогою маніпулятора вантажопідйомністю $Q = 2500$ кг на піддонах.

Камерна електрична піч СНО-8,5.14.5/10 створена таким чином, що тепловіддача від зовнішньої поверхні печі відбувається випромінюванням від стін і склепіння печі й конвекцією навколишнього повітря в цеху.

Температура від гарячої атмосфери усередині печі передається садці й стінкам печі, а від внутрішнього боку стінки печі - повітря, що оточує стінку печі із зовнішнього боку.

3.1 Визначення кількості тепла, що втрачається піччю

Сумарний коефіцієнт тепловіддачі на внутрішньому боці печі α_1 , а на зовнішньому – α_2 ,

Кількість тепла, переданого від атмосфери печі до внутрішньої поверхні стінки або склепіння, буде

$$q_1 = \alpha_1 (t_1 - t_B) \text{ Дж/м}^2 \cdot \text{с},$$

де t_1 - температура атмосфери печі із внутрішнього боку стінки, °С;

t_B - температура внутрішньої поверхні стінки, °С.

Кількість тепла, переданого теплопровідністю через стінку й склепіння печі,

$$q_2 = \frac{\lambda}{S} (t_B - t_3) \text{ Дж/м}^2 \cdot \text{с}$$

де λ - коефіцієнт теплопровідності стінки або склепіння (або сумарний) печі;

t_3 - температура зовнішньої поверхні стінки печі, °С;

S - товщина стінки або склепіння печі, м.

Кількість тепла, що віддається зовнішньою поверхнею стінки й склепіння печі,

$$q_3 = \alpha_2 \cdot (t_3 - t_0) \text{ Дж/м}^2 \cdot \text{с},$$

де t_0 - температура повітря, що оточує стінку із зовнішнього боку, °С.

Загальна кількість тепла, що віддається зовнішньою поверхнею печі, буде дорівнювати

$$q = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{S}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} \cdot (t_1 - t_0) \cdot F, \quad \text{Дж/м}^2 \cdot \text{с}$$

або $q = B \cdot (t_1 - t_0) \cdot F, \quad \text{Дж/м}^2 \cdot \text{с},$

де $B = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{S}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}}$ - коефіцієнт теплопередачі;

F - площа поверхні печі.

3.2 Приклад розрахунку втрат тепла склепіння й стінок печі

Шамотне склепіння печі СНО-8,5.14.5/10 має товщину $S_1 = 0,25$ м. Воно покрите шаром шлаків товщиною $S_2 = 0,06$ м. Стінки цієї печі складаються із шару шамотної цегли товщиною $S_3 = 0,15$ м і шару діатомітової цегли марки 600 товщиною $S_4 = 0,25$ м. Температура атмосфери печі $t_1 = T_K$, навколишнього повітря $t_0 = 20^\circ\text{C} = 293$ К.

Сумарний коефіцієнт тепловіддачі на внутрішньому боці печі визначається за наближеною формулою

$$\alpha_1 = 0,38 \cdot \left(\frac{T}{100}\right)^3 = 41,7 \text{ Дж/м}^2 \cdot \text{с} \cdot \text{град.}$$

Сумарний коефіцієнт тепловіддачі на зовнішньому боці печі α_2 , при температурі в цеху 20°C дорівнює [2]

$$\alpha_2 = 4,08 \text{ Дж/м}^2 \cdot \text{с} \cdot \text{град.}$$

Середня температура стінок і склепіння печі

$$t_{cp} = (t_3 + t_n) / 2.$$

Залежність коефіцієнта теплопровідності від температури виражається залежністю

$$\lambda_t = \lambda_0 \pm V t_{cp}, \text{ Дж/м}^2 \cdot \text{с} \cdot \text{град}$$

де λ_0 - коефіцієнт теплопровідності при 0°C ;

V - температурна постійна, залежна від матеріалу.

Середні значення коефіцієнта теплопровідності [1]:

для шамотної цегли

$$\lambda_1 = 3,0 + 2,1 \cdot 10^{-3} \cdot t_{cp} \text{ Дж/м} \cdot \text{с} \cdot \text{град.};$$

для діатомітової цегли

$$\lambda_2 = 0,47 + 0,8 \cdot 10^{-3} \cdot t_{cp} \text{ Дж/м} \cdot \text{с} \cdot \text{град.};$$

для шлаків

$$\lambda_3 = 2,9 \text{ Дж/м} \cdot \text{с} \cdot \text{град.}$$

Коефіцієнт теплопередачі B для склепіння печі I

$$B_1 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{S_1}{\lambda_1} + \frac{S_2}{\lambda_2} + \frac{1}{\alpha_2}}.$$

Отже, кількість тепла, що віддає 1 м² зовнішньої поверхні склепіння, буде дорівнювати

$$q_1 = B_1 (t_1 - t_0) \text{ Дж/м}^2 \cdot \text{с}.$$

Коефіцієнт теплопередачі В для стінок печі

$$B_2 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{S_3}{\lambda_1} + \frac{S_4}{\lambda_2} + \frac{1}{\alpha_2}},$$

а кількість тепла, що віддає 1 м² зовнішньої поверхні стінок печі, дорівнює

$$q_2 = B_2 (t_1 - t_0) \text{ Дж/м}^2 \cdot \text{с}.$$

Загальна кількість тепла, що віддає 1 м² зовнішньої поверхні печі, дорівнюватиме

$$Q = q_1 + q_2 \text{ Дж/ м}^2 \cdot \text{с}.$$

4 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

4.1 Вивчити будову печі СНО-8,5.14.5/10 та її конструкційні особливості.

4.2 Вивчити футерувальні матеріали стінок і склепіння печі.

4.3 Вивчити теплофізичні характеристики футерувальних матеріалів, спосіб одержання й галузі застосування.

4.4 Ознайомитися з технічною характеристикою печі, додатковим і допоміжним устаткуванням, що використовується при термообробці.

4.5 Визначити теплофізичні характеристики склепіння печі (п.3.2).

4.6 Визначити теплофізичні характеристики стінок печі (п.3.2).

4.7 Визначити кількість тепла, що віддає 1 м² склепіння й стінок печі.

4.8 Визначити загальну кількість тепла, що віддається зовнішньою поверхнею печі.

5 ЗМІСТ ЗВІТУ

Звіт повинен містити:

5.1 Мету роботи.

5.2 Короткі теоретичні відомості й технічну характеристику печі СНО-8,5.14.5/10.

5.3 Виконані розрахунки й оцінку отриманих результатів відповідно до п.8 .

5.4 Висновки про виконану роботу.

6 ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ ПІД ЧАС ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Студенти зобов'язані строго виконувати правила техніки безпеки під час роботи з електроустаткуванням, нагрівальними пристроями й печами, підйомно-транспортними механізмами відповідно до проведеного інструктажу.

7 ПИТАННЯ ТЕСТОВОГО КОНТРОЛЮ

7.1 До якого типу печей належить піч СНО-8.5.14.5/10?

7.2 Розшифруйте індексацію печі, запропоновану викладачем.

7.3 Яке устаткування використовується для завантаження й вивантаження деталей у печах типу СНО?

7.4 Особливості нагрівання садки в печах типу СНО.

7.5 Нагрівальні елементи печей типу СНО.

7.6 Перелічити марки сплавів, що використовуються для виготовлення нагрівальних елементів печей типу СНО.

7.7 Назвіть неметалеві нагрівальні елементи, застосовувані в печах типу СНО.

7.8 Дайте визначення критерію Біо, наведіть формулу для його визначення.

7.9 «Тонкі» й «масивні» тіла. Особливості їхнього нагрівання.

7.10 Дайте класифікацію вогнетривких матеріалів.

7.11 Назвіть основні властивості вогнетривких матеріалів.

7.12 Основні теплоізоляційні матеріали, що застосовуються в техніці печевбудування.

8 ЗАВДАННЯ ДО САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТІВ ІЗ ВИЗНАЧЕННЯ ТЕПЛОФИЗИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЕЧІ

Номер бригади	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Температура газів у печі $t_r, ^\circ\text{C}$	500	600	700	800	900	1000	950	850	750

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Рустем С.Л. Устаткування й проектування термічних цехів. -М.: Машгиз, 1962. -С.103–108.

2. Соколов К.Н. Устаткування термічних цехів. - Київ - Донець: Вища школа, 1984. -С. 27–33.

Лабораторна робота 2

«Вивчення особливостей нагрівання садки в печах типу СНЗ» і завдання СРС для визначення технологічних параметрів термообробки

1 МЕТА РОБОТИ

- 1.1 Ознайомитися з конструкцією печі СНЗ-6.12.4/10.
- 1.2 Вивчити види й сполуки контрольованих атмосфер.
- 1.3 Навчитися визначати технологічні параметри термообробки.

2 УСТАТКУВАННЯ, ПРИЛАДИ ТА МАТЕРІАЛИ

- 2.1 Піч опору камерна СНЗ-6.12.4/10.
- 2.2 Прилади контролю.

3 ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ

Камерна електрична піч СНЗ-6.12.4/10 розміщена на філії кафедри в цеху № 23.

Піч, загальний вигляд якої представлений на рис.1, призначена для різних видів термічної обробки деталей та інструментів. Вона має таку технічну характеристику.

Тип печі	Електрична камерна із захисною атмосферою
Максимальна робоча температура, °С	1000
Розміри робочого простору, мм	600x1200x400
Кількість теплових зон	1
Час розігріву, год.	2,7
Потужність, кВт	58
Маса печі, т	4
Піч обслуговується краном вантажопідйомністю 5 т, керування з підлоги	

Електропечі застосовують для відпалу, нормалізації й загартування сталевих деталей. Перевагами цих печей є можливість застосування контрольованої атмосфери й механізація завантаження та розвантаження. У нижній частині кожуха печі кріпиться трубопровід, що складається із двох ліній: по одній подається газ, по іншій - повітря. Газ і повітря, змішуючись у пальнику й згоряючи в камері згоряння, створюють полум'яну газову завісу, що перекриває проріз при відкритих дверцятах. Цей типаж складається із трьох груп камерних печей з металевими нагрівачами, які підбирають залежно від температур нагрівання (700, 1000 і 1250°C).

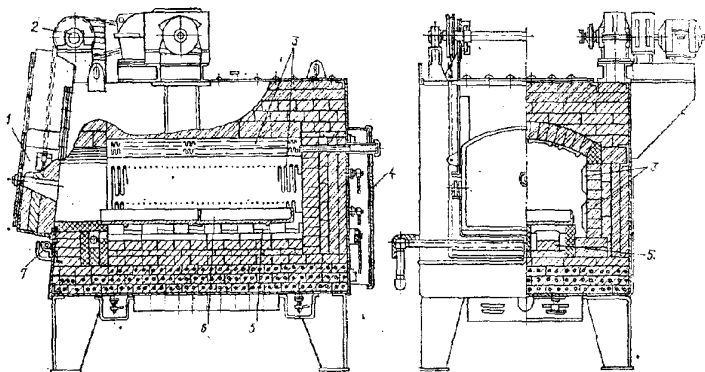


Рисунок 1 - Електрична середньотемпературна піч з контрольованою атмосферою СНЗ-6.12.4/10:

1 - заслінка; 2 - механізм підйому заслінки; 3 - стрічкові нагрівальні елементи; 4 - захисний кожух; 5 - алундові гребені; 6 - жаростійка плита; 7 - трубка підведення захисного газу

Печі з робочою температурою до 700°C призначені для відпуску сталевих деталей, а також для обробки деталей з кольорових металів і сплавів. Печі з температурою до 1000°C служать для відпалу, нормалізації й загартування сталевих деталей, а печі з робочою температурою до 1250°C призначаються

для термічної обробки деталей та інструментів зі швидкорізабельних та інших високолегованих сталей. Ці печі мають індекс СНЗ.

3.1 Контрольовані атмосфери

Пічні гази в робочому об'ємі впливають на зміну хімічного складу й властивостей поверхневих шарів сталі.

Для того щоб захистити метал виробу від негативного впливу пічних газів, у робочий простір печі штучно вводять захисне газове середовище такого складу, що не окиснює й не знеуглецьовує метал виробу. Можна також штучно створити таку атмосферу, що буде науглецьовувати сталь, як це робиться при газовій цементації.

Ці газові середовища називають контрольованими, тому що їхня взаємодія зі сталлю при нагріванні регулюється в бажаному напрямку.

Витрата захисного газу на 1 т металу, що нагрівається, у камерних печах і печах безперервної дії відповідно дорівнює 80-120 й 180-200 м³, а газу карбюризатора при цементації – 300-350 м³.

При нагріванні в печах з контрольованими атмосферами певних сполук метал не знеуглецьовується й не окиснюється або тільки слабко тьмяніє. У першому випадку нагрівання називають *світлим*, у другому - *чистим*. Контрольовані атмосфери застосовують також при газовій цементації, газовому ціануванні і як спеціальні – при азотуванні, газовому хромуванні й т.п.

До числа газів, що найбільше енергійно окиснюють залізо й сталь, належать кисень, водяні пари, вуглекислота й сірчистий ангідрид. Кисень, вуглекислота, водень можуть викликати знеуглецьовання, а окис вуглецю, метан й інші вуглеводні – науглецьовання. Нейтральними є гази: сухий азот, аргон, гелій.

При виборі складу контрольованої атмосфери користуються кривими рівноваги взаємодії металу з газовим середовищем, за якими можна визначити склад газових середовищ, не взаємодіючих з металом.

3.1.1 Вибір складу контрольованих атмосфер

Принцип вибору складу контрольованої атмосфери зводиться до того, щоб відношення об'ємів газів-відновлювачів до об'єму газів-окиснювачів при даних температурних умовах дорівнювало константам рівноваги або перевищувало їх. Гази діють на залізо й сталь таким чином.

Кисень. При температурах термообробки кисень окиснює сталь й інші сплави навіть у випадку дуже малих концентрацій. Так, при температурі 900°C і вмісті 1 см^3 кисню в 1 км^3 газів (що відповідає тиску пружності кисню 10^{-20} Па) уже створюються умови для окиснювання сталі. Тому контрольовані атмосфери не повинні містити вільного кисню.

Двоокис вуглецю й водяні пари. При взаємодії газів з металом важлива не абсолютна кількість газів-окиснювачів (CO_2 і H_2O), а співвідношення газів: CO_2/CO і $\text{H}_2\text{O}/\text{H}_2$. Окиснювання заліза підсилюється з появою в окалині в'юститу FeO . Якщо температури перевищують 570°C , проходять найпростіші реакції окиснення заліза.

В атмосфері H_2 , H_2O окислювання відбувається в період охолодження.

У застосовуваних контрольованих атмосферах найчастіше перебувають обидві суміші: $\text{CO}-\text{CO}_2$ й $\text{H}_2-\text{H}_2\text{O}$. Зазначені газу взаємодіють між собою за реакцією водяного газу.

Крім окиснювання, атмосфера $\text{H}_2 - \text{H}_2\text{O}$ може викликати зневуглецювання сталі, а атмосфера $\text{CO}-\text{CO}_2$ - зневуглецювання або навуглецювання.

Зневуглецювальну дію водню можна нейтралізувати, увівши в газ метан CH_4 . Нейтралізувати дію вологого водню важко, особливо при нагріванні сталей. Щоб газ був нейтра-

льним стосовно високовуглецевої сталі, необхідно видаляти з нього пари води та вуглекислий газ.

Сірчаний ангідрид окиснює сталь. Крім того, сірчисті гази можуть викликати перехід сірки в метал, особливо при нагріванні міді, нікелю та їх сплавів. Тому сірчані гази необхідно видаляти.

Азот. Чистий молекулярний азот не реагує зі сталлю, але досить слідів вологи, щоб метал почав зневуглецюватися.

З розглянутих газів нейтральним у більшості сплавів є сухий азот, а для низьковуглецевих сталей (коли допустиме деяке зневуглецювання) ще й сухий водень.

Велика кількість азоту одержується при виробництві рідкого кисню. Однак він завжди містить 1-2% O_2 і тому без очищення не може бути використаний як контрольована атмосфера.

У промисловості як контрольовану атмосферу економічно використовувати продукти згоряння промислових газів, дисоційованого аміаку, генераторного газу, видаляючи зі сполуки атмосфери гази-окиснювачі H_2O , CO_2 й SO_2 і врівноважуючи залишкову кількість окиснюючих та зневуглецювальних газів співвідношеннями CO/CO_2 , H_2/H_2O , CH_4/H_2 .

Контрольовані атмосфери з концентрацією водню вище 20% вибухонебезпечні.

Для захисту від окиснювання міді й мідних сплавів можна використати пари води.

3.1.2 Типи контрольованих атмосфер та установки для їх одержання

За складом виділяють такі промислові контрольовані атмосфери;

- азоту з воднем;
- азоту з окисом вуглецю й вуглекислим газом;
- азоту, водню, окису вуглецю й вуглекислого газу;
- навуглецювальні;
- технічного азоту й інертних газів, очищених від кисню.

Атмосферу азоту з воднем (N_2+H_2/H_2O) одержують в результаті дисоціації аміаку або дисоціації аміаку з подальшим частковим спалюванням водню (коефіцієнт витрати повітря 0,7-0,9) і очищенням від вологи. Перша атмосфера умовно позначається ДА, друга - ДАС. Вихідним матеріалом для одержання цих атмосфер служить аміак у вигляді рідини, що доставляється в балонах під тиском 1,01-1,2 МПа.

Контрольована атмосфера з дисоційованого аміаку використовується в тому разі, коли потрібно уникнути окиснювання, але припустиме або бажане зневуглецювання, наприклад, при відпалі трансформаторного заліза. **Суміш вибухонебезпечна** й може застосовуватися лише там, де піч протягом усього циклу герметично закрита.

При дисоціації аміаку з подальшим частковим спалюванням (атмосфера ДАС) об'єм газів, одержуваних з 1 кг аміаку, збільшується. ДАС більш дешева й вибухонебезпечна в порівнянні з ДА. Беруть такий склад атмосфери ДАС: 8-15% H_2 й 92-85% N_2 .

Атмосфера азоту із СО і CO_2 $\left(N_2 + \frac{CO}{CO_2} \right)$ являє собою ге-

нераторний газ, одержуваний у деревновугільних газогенераторах різних конструкцій (позначається ГГ). У малих установках для підтримки стійкого ходу процесу газифікації доводиться застосовувати додатковий зовнішній обігрів реторти генератора (одержувана атмосфера позначається ГГ-ВО). У разі рівноваги склад газу при температурі в генераторі 1000°C повинен бути таким: 33,5% СО й 0,5% CO_2 , решта – азот. Практично деревновугільний газ (атмосфера ГГ) містить: 28-30% СО, 2-5% CO_2 , 6-8% H_2 , 1-2 % CH_4 та решту - азот. При зовнішньому обігріві реторти до температури 1000° (атмосфера ГГ-ВО) газ складається з 33% СО; 0,2-0,7% CO_2 ; 6% H_2 ; 1% CH_4 , решта - азот. Деревновугільний газ не окиснює сталь, мідь й її сплави, але зневуглецьовує середньо - і високовуглецеві сталі. Для того щоб генераторний газ із 25-30% СО не зневуглецьову-

вав високовуглецеву сталь (1-1,2%С), концентрація CO₂ у ньому не повинна перевищувати 0,5-0,8%. Вміст вологи в деревновугільному генераторному газі, що використовується при нагріванні низьковуглецевих сталей, може бути доведено до 2%, а в газі, що застосовується при нагріванні високовуглецевих сталей, до 0,05%. Здатність описуваної атмосфери до зневуглецювання зменшиться, якщо в неї додати вуглеводи.

При нагріванні високовуглецевих сталей вигідніше застосовувати деревновугільний генераторний газ, тому що в цьому разі необхідний менший ступінь очищення від CO₂, ніж при спалюванні газів. Для зменшення вологи в газі варто використати прожарене березове вугілля. Вихід генераторного газу 3,8-4,0 м³ з 1кг вугілля.

$$\text{Атмосфера азоту, водню, СО і СО}_2 \left(N_2 + \frac{CO}{CO_2} + \frac{H_2}{H_2O} \right)$$

одержується в результаті неповного спалювання газів (природного, пропан-бутанових сумішей та ін.) з подальшим видаленням вологи й CO₂.

Широко використовуються два методи спалювання: з коефіцієнтом витрати повітря $\alpha = 0,6-0,9$ - одержання екзогазу (атмосфера ПС-0,6 і ПС-0,9 установки ЕК) і з $\alpha = 0,25$ - одержання ендозгазу. Спалити газ із $\alpha = 0,25$ важко тому, що для підтримки горіння його необхідно підігрівати за допомогою зовнішнього джерела тепла до 1000°C і застосовувати спеціальні каталізатори. При цьому відбувається крекінг газу (атмосфера КГ-В, установки ЕН). У разі глибокого очищення газу від вологи й CO₂ до позначення установки додається буква О - очищення.

У результаті спалювання вуглецевих газів отримують атмосфери такого складу: ПС-0,6 - 10-12% СО, 4-6% CO₂; 15-20% H₂, 0,5-1,0% СН₄, решта - азот; ПС-0,9 - 2,0% СО, 10-12% CO₂, 2,0% H₂, інше-азот (крапки роси відповідно +25, +35°C). Очищені й осушені екзотермічні контрольовані атмосфери мають такі сполуки: ПСО- 0,6 - 10% СО, 16% H₂, менше

0,05% CO₂, 1,5% CH₄, решта - азот; ПС-0,09 -2,5% CO, 2,5% H₂, менше 0,05% CO₂, решта - азот,

Навуглецьовуюча атмосфера (N₂ + CO/CO₂ + CH₄/H₂) застосовується як карбюризатор при процесах газової цементації, нітроцементації і як контрольована атмосфера при нагріванні високовуглецевих інструментальних сталей.

Насичення вуглецем в атмосфері CH₄ відбувається значно енергійніше, ніж у CO. Для насичення поверхні вуглецем до 1% при температурі 900°C необхідно, щоб у газовій фазі було CO~96%, а CH₄ - тільки 2,7%. Тому цементацію в газовому карбюризаторі ведуть за рахунок CH₄, використовуючи природний газ, що розбавляють до концентрації 2-4% нейтральним газом (ендо- або екзогазом).

Як карбюризатор, крім природного газу, можуть застосовуватися рідкі нафтопродукти (бензол, гас, масла й т.п.) і зріджені вуглеводневі гази. При невеликій продуктивності установок і використанні камерних печей газовий карбюризатор одержують переважно шляхом безпосереднього введення природного газу або бензолу, гасу, масел у реторту печей. Однак найчастіше застосовується атмосфера, одержана в результаті часткового спалювання вуглекислих газів (ендо- або екзо-) з додаванням 2-4% природного газу,

Найбільш широко для процесів цементації й нітроцементації як розріджувач використовують ендогаз. У разі нітроцементації разом з ендогазом, природним газом (2-4%) у піч через спеціальні форсунки вводиться аміак (2-4%).

Технічний азот, очищений від кисню. Кисень із технічного азоту видаляють двома методами: пропускають азот через шар розпеченого деревного вугілля й використовують каталітичне гідрування.

Перший метод застосовується в установках невеликої продуктивності (до 20 м³/год контрольованої атмосфери). Цей метод досить простий, але температура розпеченого вугілля повинна досягти 1000°C. Одержувана атмосфера

має такий склад, %: 0,05-0,1 CO₂, 2-8 CO, 0,003-0,006 O₂. Очищення малорентабельне.

Найбільш раціональним методом очищення технічного азоту від кисню є другий метод. Установа, принцип роботи якої заснований на використанні каталітичного гідрування кисню воднем, одержуваним шляхом дисоціації аміаку, містить блоки дисоціації аміаку, генератора очищення газу й апаратури автоматики.

Аргон, очищений від кисню й домішок. Для очищення аргону заводи ЕТО випускають установку NO-6-M2 продуктивністю 6 м³/ч, потужністю 29 кВт. Одержувана атмосфера містить 99,996% Ar, 0,001% O₂. Вихідний газ, що доставляється в балонах, очищають від домішок вуглеводню й окису вуглецю в реакторі з окисом міді при температурі 800°C. Отриманий двоокис вуглецю й волога відокремлюються цеолітами. Від азоту й водню газ очищається в реакторах, заповнених окисом марганцю (при 180°C), металевими кільцями (при 600°C) і окисом міді (при 350°C). Осушка газів здійснюється в холодильниках й адсорберах із силікагелем.

Вибір контрольованих атмосфер залежить від оброблюваного матеріалу, технологічного процесу, необхідного виду поверхні й температури (табл.1).

При виборі контрольованої атмосфери варто також урахувати вартість газу, його витрату й наявність на заводі сировини для його одержання,

Електротехнічні й магнітом'які сплави заліза й нікелю відпалюються в атмосферах чистого водню, дисоційованого аміаку або захисного газу, з більшим вмістом водню. Контрольована атмосфера, що застосовується при нагріванні сплавів міді й нікелю, не повинна містити навіть слідів сірки. Деталі з міді можна відпалювати в атмосфері водяної пари, однак у великих установках варто застосовувати як контрольовану атмосферу продукти згоряння промислових газів з невеликою нестачею повітря, очищені від сірки. Температура спалювання

Таблиця 1 – Рекомендовані контрольовані атмосфери

Операція термообробки	Оброблюваний метал	Температура процесу, °С	Поверхня	Контрольована атмосфера
1	2	3	4	5
	Низьковуглецева сталь	650-750	Світла	ДА, ДАС, ПС-06, ПСО-06, ПСО-09
	Середньо- та високовуглецева сталь	650-800	«	ГГ-ВО, ПСО-06, ПСО-09
	Середньо- та високовуглецева легована сталь	700-870	Світла або чиста	ГГ-ВО, ПСО-06, ПСО-09
	Швидкоріжуча сталь	760-870	«	ПСО-06, ПСО-09
	Нержавіюча сталь	980-1150	Світла	ДА-Н ₂
	Трансформаторна сталь	800-900	Чиста	ДАС, Н ₂ , ПСО09, вакуум
Відпал	Мідь, бронза	300-900	Світла	ПС-06, ПС-06, ПСО-06
	Латунь	300-900	«	ОПС-06, ПСО-06, ДАС
	Латунь з 20%Zn	300-800	«	ПСО-09, ДАС, N ₂
	Мідно-нікелевий і кремнієво-мідний сплави	400-800	«	ПС-06, ПС-9, ДА
	Нікель, нейзильберг, берилієва бронза	300-800	«	ДА
	Титановий сплав	500-900	«	Аргон, гелій
	Ковкий чавун	700-950	Світла або чиста	ГГ-ВО, ПСО-06, ПСО-09, ГГ-ВО
	Низьковуглецева сталь	870-1000	«	ДАС, ПС-06

Продовження таблиці 1

1	2	3	4	5
Гартування	Середньо- та високовуглецева сталь, легована сталь	760-980	Світла або чиста	ГГ-ВО, ПСО-06, ПСО-09, КГ-ВО
	Швидкоріжуча сталь	1150-1350	«	ГГ-ВО, ПСО-06, ПСО-09, КГ-ВО
Відпуск	Сталі всіх марок	До 650	«	ГГ-ВО, ПСО-06, ПСО-09
Газове цементування	Цементуючі сталі всіх марок	900-980	«	КГ-ВО, ПСО-09, з добавкою вуглеводнів
Газове нітроцементування	Маловуглецева та легована сталь	860-880	«	КГ-ВО, ПСО-09, з добавкою вуглеводнів+3-5% аміаку
Спінання металів(з відновленням окислів)	Низьковуглецевий та високовуглецевий сплави	980-1150	«	ДА, Н ₂ , КГ-ВО
	Низьковуглецева сталь	1150	Світла	ДАС, ПС-06, ГГ-ВО
	Середньо- та високовуглецева легована сталь	1150	«	ГГ-ВО, ПСО-06, ПСО-09
Пайка	Нержавіюча та високо хромова сталь	1150	«	ДА, ДАС
	Мідь та латунь	650-870	«	ПС-06, ПС-09

газу повинна бути не нижче 1000°C для того, щоб розкласти органічні сполуки, що перебувають у вихідному газі. У разі відпалу латуні з 20-30% Zn для відновлення його окислів необхідно мати в контрольованій атмосфері певну кількість активного водню (додають до атмосфери метан, гас або спирт). Гарним середовищем проти окиснювання цинкових латуней є азот, очищений від кисню із точкою роси - 40-60°C. Сплави міді, що містять кремній, марганець, берилій, окиснюються в атмосфері водяної пари й вуглекислоти, тому для них кращою атмосферою є дисоційований аміак.

Як контрольована атмосфера при нагріванні титанових сплавів застосовують інертні гази (аргон і гелій), очищені від кисню й пари води, або нагріванні у вакуумі.

Окиснюванню алюмінієвих сплавів при нагріванні перешкоджає одержувана на їхній поверхні окиснююча плівка (Al_2O_3). Тому найпоширенішою контрольованою атмосферою є сухе повітря, однак може бути використаний і екзогаз (ПСО-09). Нагрівання в атмосферах, що містять пари води, аміаку, окисли сірки, призводить до різкого зниження міцності і пластичних властивостей металу. Шкідливу дію вологи й сполук сірки можна усунути, вводячи в атмосферу фтористі сполуки, що легко розкладаються. Контрольовані атмосфери використовують у муфельних або електричних печах.

Витрата захисних газів у печах безперервної дії може бути зменшена. Для цього робочі вікна необхідно обладнати спеціальними затворами й ущільнюючими металевими та азбестовими фіранками.

3.1.3 Керування складом атмосфери

Для проходження цілого ряду технологічних процесів термічної обробки в печах необхідно підтримувати певний склад газової атмосфери (**науглецьовувальний, нейтральний, знеуглецьовувальний, безокисний**). Теоретичною основою регулювання атмосфери служать закономірності рівноваги

газів при нагріванні зі сталлю або з іншими сплавами стосовно даних температурних режимів. Однак істотний недолік теоретичних розрахунків рівноваги полягає в тому, що вони не враховують кінетики реакцій, тобто їхніх швидкостей. У більшості промислових печей справжньої рівноваги між металом і пічними газами практично досягти не можна. Тому на основі експериментальних даних знаходять криві рівноваги, що враховують умови проходження реальних процесів. При нагріванні металу для термічної й хіміко-термічної обробки **часто застосовується ендогозова атмосфера КГ-ВО**. Однак така атмосфера **вибухонебезпечна** й не може бути використана при низьких температурах, наприклад, при операціях відпуску. У разі її застосування печі повинні мати гарну герметичність.

Найбільш **безпечною** є **екзотермічна атмосфера ПСО-0,9**, що одержується при спалюванні промислових газів з невеликою недостатчею повітря ($\alpha=0,9$), але вона має потребу в складному очищенні від окислювальних газів. Завдяки відсутності в атмосфері КГ-ВО (ендогазі) газів-окиснювачів, вона повністю захищає сталь від окиснювання. Однак у такій атмосфері сталь може науглецьовуватися. Щоб уникнути цього, в атмосферу вводять знеуглецьовувальні гази H_2O і CO_2 . Регулюючи кількість останніх, для кожного конкретного випадку термообробки можна одержати стосовно даного сплаву нейтральну, науглецьовувальну або знеуглецьовувальну атмосферу. Гази H_2O і H_2 взаємодіють по реакції водяного газу: $CO_2+H_2\leftrightarrow CO+H_2O$. Тому регулювати науглецьовувальну здатність атмосфери можна за одним із зазначених компонентів. Частіше це робиться за вологістю, вимірюваною точкою роси. Для регулювання вуглецевого потенціалу за точкою роси є прості й надійні методи.

Для одержання нейтральної атмосфери при світлому загартуванні, нормалізації й відпалі в печі автоматично пі-

дтримують необхідне значення точки роси, подаючи різну кількість газів.

При цементації для науглецьовування поверхні металу в атмосферу вводять природний або інші науглецьовувальні гази.

Прилади, що регулюють склад атмосфери печі за вуглецевим потенціалом, випускають двох типів: прилади непрямого й прямого регулювання.

3.2 Визначення технологічних параметрів термообробки

3.2.1 Нагрівання металу в печах

Нагрівання металу є однією з головних операцій термічної обробки, яка характеризується температурою й швидкістю нагрівання. **Під температурою нагрівання мають на увазі кінцеву температуру металу, при якій він видається з печі.** При цьому метал повинен бути нагрітий однаково по площині, периметру й довжині (визначають температуру в °С по поверхні металу, що нагрівається). Швидкість нагрівання в град./годину означає зміну температури металу за одиницю часу.

На вирішення питання про швидкість нагрівання впливає велика кількість факторів. Особливо важливими є:

а) **теплопровідність**, яка різна для сталі різного складу; чим більше вуглецю й легуючих елементів у сталі, тим нижча її теплопровідність, і нагрівати таку сталь потрібно з меншою швидкістю;

б) **перетин виробу**; чим він крупніший, тим повільніше повинно бути нагрівання, тому що внаслідок різниці температур між зовнішньою й внутрішньою частинами виробу виникають внутрішні напруги, які можуть призвести при швидкому нагріванні до появи тріщин;

в) **форма виробу**; чим вона складніша й чим більше в ній різких переходів від товстих до тонких частин, тим більше може бути його жолоблення й навіть утворення тріщин.

Напруги в сталі з'являються в інтервалі температур 0-500°C. Вище цієї межі сталь здобуває достатню пластичність, і напруги небезпеки не являють. Потрібно також ураховувати і фазові перетворення. Небезпечним моментом для появи тріщин є великий перепад температур на початку нагрівання між зовнішньою частиною й серцевиною виробу, а також коли температура зовнішньої поверхні досягає критичної точки. Під час розробки режиму нагрівання потрібно прагнути до мінімальної тривалості нагрівання й до забезпечення необхідної якості. Неправильне нагрівання може викликати тріщини (внаслідок різких змін температури або недостатньої температури нагрівання, або нерівномірного нагрівання), перегрів, перепал, велике окиснювання, зневуглицювання й іноді навуглецьовування.

Для розрахунків часу нагрівання й охолодження виробів при термічній обробці використовують такі властивості: теплопровідність, теплоємність, температуропровідність і коефіцієнт тепловіддачі.

Теплопровідність залежить від складу сталі й температури. Зі збільшенням вмісту вуглецю й легуючих елементів теплопровідність зменшується. Теплопровідність також знижується зі зростанням температури (табл. 2).

Теплоємність сталі залежить від вмісту вуглецю й температури. Зі збільшенням температури теплоємність зростає. Як правило, для розрахунків користуються середньою теплоємністю за цикл нагрівання. Величини середньої теплоємності металів представлені в табл. 3. Для теплових розрахунків часто користуються об'ємною теплоємністю, або теплоємністю одиниці об'єму $C_v = c_v \cdot \gamma$ кДж/м³·град, де γ – питома вага сплаву, кг/м³.

Таблиця 2 - Теплопровідність деяких металів і сплавів

Метал і сплав	Коефіцієнт теплопровідності λ , кДж/м·год·град, при температурі, °С			
	20	400	600	1000
Залізо	276	193	151	101
Сталь: 20	260	167	134	101
50	235	163	126	92
B10	168	126	113	84
40X,40XC	176	134	117	88
X,ШХ15,9XC	155	126	109	84
30XГC	142	117	105	84
P18	88	101	96	101
3X2У8	84	84	84	92
Г13	42	59	67	84
Мідь	1411	1319	1285	-
Латунь Л90	368	599	703	-
Бронза Бр.ОС8012	172	226	260	-
Алюміній	729	1164	1524	-
Дюралюміній	574	942	1256	-
Сірий чавун	176	151	142	-

Таблиця 3 - Середня теплоємність деяких металів і сплавів

Метал і сплав	Середня теплоємність C_{cp} ,кДж/кг·град, в інтервалі температур від 0° до			
	20	400	800	1200
Залізо	0,452	0,519	0,649	0,645
Вуглецеві й мало- вуглецеві сталі	0,461	0,536	0,687	0,678
Швидкоріжуча сталь	0,398	0,448	0,532	0,565
Мідь	0,381	0,419	0,448	-
Алюміній	0,921	0,955	-	-
Сірий чавун	0,541	-	-	-

Температуропровідність - швидкість зміни температури виробу - являє собою відношення коефіцієнта теплопровідності до об'ємної теплоємності:

$$\alpha = \frac{\lambda}{c\gamma} = \frac{\lambda}{c_v}$$

Перехід тепла можливий тільки від тіл з більшою температурою до тіл з меншою температурою; процес передачі тепла триває до вирівнювання температури. Розрізняють три форми передачі тепла: теплопровідністю, конвекцією, випромінюванням. Передача тепла виробам, що нагріваються, в печах при високій температурі відбувається головним чином випромінюванням; передачею конвекцією при високих температурах можна знехтувати.

Випромінювання стін, склепіння, поду печі й газів, що мають різну температуру, можна замінити, одним джерелом, що має середню температуру, яку називають температурою печі $t_{\text{печи}}^{\circ}\text{C}$.

При термічній обробці нагрівання або охолодження виробів може відбуватися **або при постійній температурі, або при заданій швидкості нагрівання чи охолодження.**

При розрахунку часу нагрівання різних тіл зручно їх розділити на **«тонкі» й «масивні»**. Всі метали мають високу теплопровідність. До тонких виробів віднесені ті, які мають при нагріванні або охолодженні завдяки теплопровідності незначний перепад температур по товщині виробу.

Для розрахунків цей перепад температур внаслідок незначності може не братися до уваги. Вироби, у яких при нагріванні або охолодженні не можна знехтувати різницею температур поверхні й центра, відносять до масивних тіл. За такої розбивки всіх виробів, що нагрівають, будуть мати значення їхні розміри, теплопровідність й інтенсивність нагрівання або охолодження. Виріб відносно великого розміру, але який нагрівають дуже повільно, при нагріванні може вважатися тонким тілом, тому що перепад температур буде незначним. І навпаки, чим інтенсивніше буде нагрівання або охоло-

дження, тим менші за товщиною вироби повинні бути віднесені до масивних тіл.

При передачі тепла від зовнішнього середовища на межі середовище-метал-середовище виріб буде відчувати зовнішній опір, який обернено пропорційний коефіцієнту тепловіддачі від навколишнього середовища на поверхню металу й дорівнює $1/\alpha$. Передача тепла усередині виробу зумовлюватиме внутрішній опір, обернено пропорційний коефіцієнту теплопровідності й прямо пропорційний товщині виробу S/λ .

Відношення внутрішнього теплового опору до зовнішнього теплового опору являє собою безрозмірну величину й називають **критерієм Біо**, який позначають

$$Bi = \frac{\frac{S}{\lambda}}{\frac{1}{\alpha}} = \frac{S\alpha}{\lambda},$$

де S/λ - внутрішній тепловий опір пластини товщиною $2S$ або циліндра радіусом S ; $1/\alpha$ - зовнішній тепловий опір.

Критерієм Біо користуються для встановлення меж тонких і масивних тіл.

Якщо товщина виробу невелика, а коефіцієнт теплопровідності високий, то величина Bi буде дуже малою. У цьому разі нагрівання буде залежати від зовнішньої тепловіддачі.

Якщо товщина тіла значна, тобто збільшується внутрішній опір і температурний перепад по перетину зростає, стає більшим і значення Bi ; такі тіла при нагріванні й охолодженні вважаються масивними. За основну межу між тонкими й масивними виробами беруть такий перетин, для якого критерій Біо дорівнює 0,25; при цьому значенні Bi максимальний перепад температури по перетину виробу становить 10% від початкової різниці температур виробу й зовнішнього середовища, тобто $\Delta t = 0,1 (t_{cp} - t_0)$. Таким чином, якщо критерій $Bi \leq 0,25$, розрахунки виконуються за формулами для тонких тіл, якщо $Bi > 0,25$, - за формулами для масивних тіл. Виходячи

зі значення $Bi = 0,25$, можна визначити граничні товщини тонких тіл при різних термічних операціях (табл. 4).

Таблиця 4 - Граничні товщини тонких тіл (при $Bi = 0,25$)

Операція термічної обробки	Середовище нагрівання або охолодження	Температура середовища, °С	Середній коефіцієнт тепловіддачі, кдж/м ² ·год·град	Гранична товщина тіла, що розраховується як тонке, мм
Нагрівання для загартування	Повітря або пічні гази	750-950	544	100
Те саме	Розплавлений хлористий барій	1200-1300	4187	12
Нагрівання для високого відпуску	Повітря або пічні гази	550-700	335	160
Нагрівання для низького відпуску	Те саме	100-300	126	400
Те саме	Масло	150-250	1256	40
Те саме	Селітра	250-350	1256	40
Охолодження	Вода	20-30	5000-2000	2-6
	Масло	4187-1256	20934-8374	10-40
	Повітря	209-84		200-500
Примітка. Середнє значення коефіцієнта теплопровідності сталі λ - 105 кдж/м·год·град, або 1,05 кДж/мм·год·град				

3.2.2 Визначення часу нагрівання й охолодження виробів при термообробці

При конвективному теплообміні час нагрівання виробу до необхідної температури визначається за формулою

$$\tau = \frac{G \cdot c}{\alpha \cdot F} \cdot 2,3 \lg \cdot \left(\frac{t_n - t_1}{t_n - t_2} \right), \quad \text{година,}$$

де G - вага виробу; c - середня питома теплоємність;
 α - коефіцієнт тепловіддачі; F -активна поверхня виробу;
 t_n - температура в печі; t_1 - початкова температура металу;
 t_2 - кінцева температура металу.

Під активною поверхнею F розуміють поверхню тіла, що сприймає тепло від зовнішнього середовища. При складному профілі виробу, що нагрівається, активна поверхня береться по периметру, що обгинає виріб.

Для розрахунку часу нагрівання й охолодження масивних тіл із критерієм $Bi_0 < 4,0$ можна користуватися формулою для тонких тіл із введенням поправочного коефіцієнта m , що залежить від масивності тіл та їхньої форми.

Формула має такий вигляд:

$$\tau = \frac{G \cdot c \cdot m}{\alpha \cdot F} \cdot 2,3 \lg \left(\frac{t_n - t_1}{t_n - t_2} \right), \text{ година.}$$

Поправочні коефіцієнти m дорівнюють:

- для пластини - $1+1/3 Bi$;
- для циліндра - $1+1/4 Bi$;
- для кулі - $1+1/5 Bi$.

При розрахунках часу нагрівання як тонких, так і масивних тіл потрібно брати до уваги спосіб їхнього укладання в печі й відстані між ними. На рис. 2 наведені коефіцієнти $K_{розм}$ часу нагрівання виробів круглого й квадратного перетинів залежно від розміщення в печі.







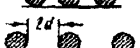



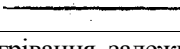
Розміщення виробів	Коефіцієнт часу нагрівання $K_{розм}$	Розміщення виробів	Коефіцієнт часу нагрівання $K_{розм}$
	1		1
	1		1,4
	2		4
	1,4		2,2
	1,3		2,0
			1,8

Рисунок 2 - Коефіцієнти часу нагрівання залежно від розміщення виробів у печі; d - діаметр або сторона квадрата

3.2.3 Розрахунок часу нагрівання й охолодження в середовищі з постійною температурою за допоміжними графіками

Розрахунок часу нагрівання й охолодження як тонких, так і масивних тіл зручно вести за спеціальними графіками. Вони складені для розрахунку часу нагрівання або охолодження поверхні й середньої площини пластини (рис. 3), а також для поверхні й осі циліндра (рис. 4). За цими графіками можна також шляхом перемножування температурних критеріїв визначити температуру різних точок, поверхні й центру дисків, призм для будь-якого моменту часу.

По осі абсцис відкладене значення незалежної перемінної - відносного часу (критерій Фур'є) у логарифмічному масштабі, а по осі ординат - температурний критерій (відносна температура), що являє собою відношення поточної різниці температури даної точки й навколишнього середовища до цієї самої різниці до початку нагрівання або охолодження:

$$\theta = \frac{t_c - t_{нов}}{t_c - t_{ноч}}$$

Прямі лінії на діаграмі, що міняють свій напрямок, відносять до різних значень критерію Bi ; виробам більшого перетину відповідає більше значення критерію Bi , а виробам меншого перетину - менше. Проміжні значення критерію Bi визначаються інтерполяцією. За значенням критеріїв Bi й θ на графіку визначається критерій Fo , звідки визначається час нагрівання. Далі за критеріями Bi й Fo за графіком для нагрівання середньої площини пластини або осі циліндра можна визначити температурний критерій і температуру середньої площини пластини або осі циліндра.

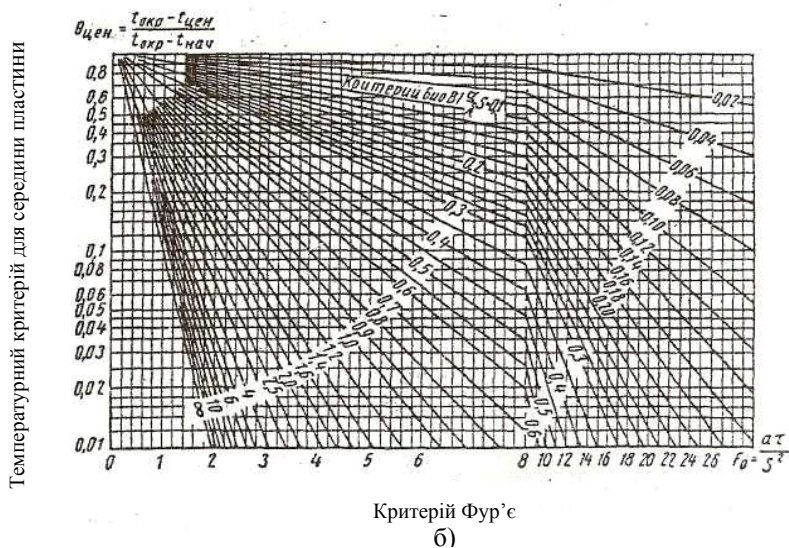
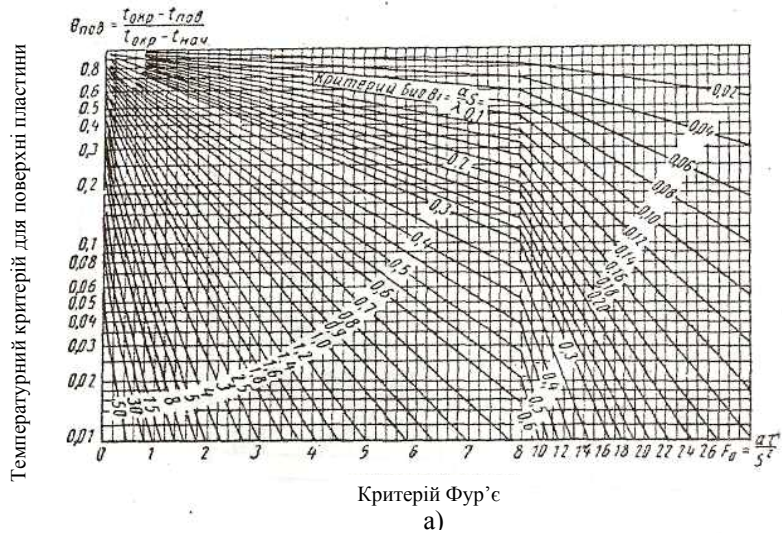


Рисунок 3 - Графіки для розрахунку часу нагрівання або охолодження пластини: а - поверхні; б - середньої площини

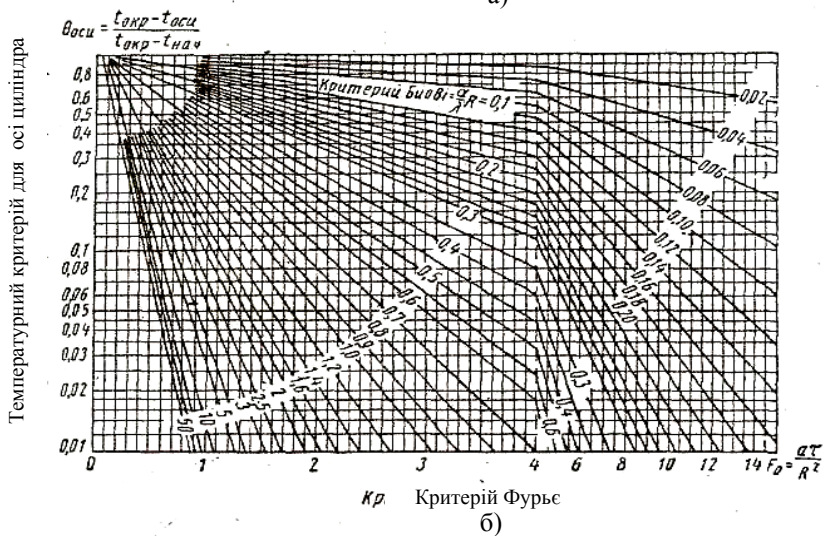
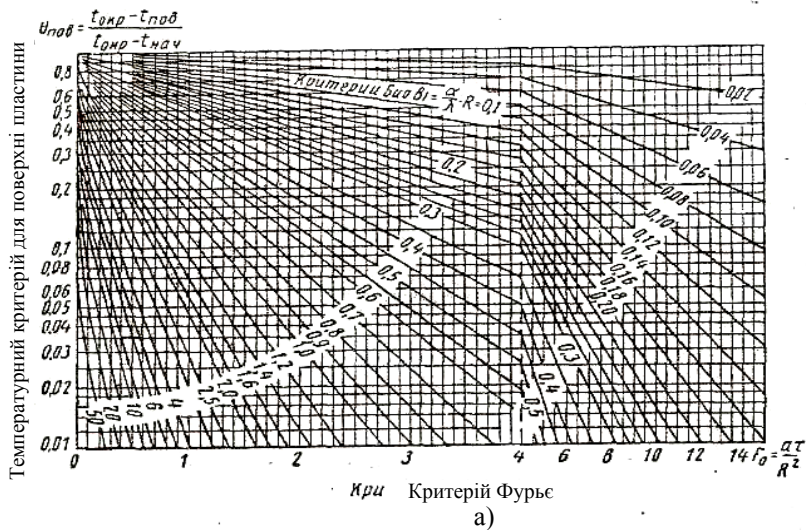


Рисунок 4 - Графіки для розрахунку часу нагрівання або охолодження циліндра: а - поверхні; б - осі циліндра

3.2.4 Розрахунок часу витримки для вирівнювання температури

Після досягнення заданої температури виробам необхідна витримка для вирівнювання температури. Залежність перепаду температур наприкінці нагрівання від перепаду на початку нагрівання виражається експонентними рівняннями.

Але розрахунок часу вирівнювання для тіл різної форми може бути зроблений і більш простим методом - шляхом перемноження коефіцієнтів K_F і K_T . Коефіцієнт K_F залежить від форми тіла і являє собою значення $\frac{\alpha \cdot \tau}{S^2}$, (S - половина мінімального розміру; α - коефіцієнт температуропровідності; τ - час), при якому перепад $\Delta t = t_{\text{пов}} - t_{\text{центра}}$ зменшується до 1% свого первісного значення. Коефіцієнт K_T залежить від відношення перепаду температур наприкінці нагрівання до його первісного значення $\Delta t_{\text{поч}}$. Коефіцієнти K_F і K_T наведені в табл. 5 і 6.

Перемножуючи коефіцієнти K_F й K_T , одержуємо значення критерію Фур'є

$$K_F \cdot K_T = F_o = \frac{\alpha \cdot \tau}{S^2}.$$

Звідси час витримки

$$\tau = K_F \cdot K_T \cdot \frac{S^2}{\alpha}, \text{ год.}$$

У практичних розрахунках час витримки при нагріванні під загартування часто беруть рівним від 1/4 до 1/5 від часу нагрівання.

Таблиця 5 - Значення коефіцієнта K_F

Паралелепіпед	K_F	Паралелепіпед	K_F	Циліндр		K_F
				D	H	
1x1x1	0,63	1x2x2	1,25	1	5	0,81
1x1x1,5	0,77	1x2x3	1,39	1	4	0,80
1x1x2	0,85	1x2x4	1,46	1	3	0,79
1x1x3	0,91	1x2x5	1,49	1	2	0,74
1x1x4	0,93	1x3x3	1,57	1	1,5	0,68
1x1x5	0,94	1x3x4	1,67	1	1	0,56
1x1,5x1,5	0,99	1x3x5	1,71	1,5	1	0,91
1x1,5x2	1,09	1x4x4	1,79	2	1	1,18
1x1,5x3	1,21	1x4x5	1,84	3	1	1,52
1x1,5x4	1,27	1x5x5	1,88	4	1	1,76
1x1,5x5	1,29			5	1	1,88

Таблиця 6 - Значення коефіцієнта K_T

$\frac{\Delta t}{\Delta t_{поч}}$	K_T	$\frac{\Delta t}{\Delta t_{поч}}$	K_T	$\frac{\Delta t}{\Delta t_{поч}}$	K_T	$\frac{\Delta t}{\Delta t_{поч}}$	K_T
0,01	1,00	0,08	0,55	0,20	0,35	0,40	0,20
0,02	0,85	1,10	0,50	0,25	0,30		
0,05	0,65	0,15	0,41	0,30	0,260	0,50	0,15

4 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

4.1 Вивчити будову і конструктивні особливості печі СНЗ-6.12,14/10.

4.2 Ознайомитися з технічною характеристикою печі, додатковим та допоміжним устаткуванням, що використовується при термообробці.

4.3 Вивчити види й складові контрольованих атмосфер.

4.4 Провести розрахунки з визначення технологічних параметрів термообробки у відповідності з технічним завданням (табл.7).

4.5 Вибрати контрольовану атмосферу у відповідності з технічним завданням (табл.8).

Таблиця 7 - Технологічні параметри термообробки

Номер бригади	Параметр					
	L, мм	t ₁ , °C	t ₂ , °C	t _п , °C	C	α, кДж/м ² ·год·град
1	0,3	18	850	1000	0,59	480
2	0,5	19	800	850	0,65	500
3	0,7	20	810	900	0,61	520
4	0,9	21	830	950	0,63	540
5	0,4	22	860	940	0,58	545
6	0,6	23	870	920	0,57	550
7	0,8	21	820	890	0,62	525
8	1,0	20	840	960	0,60	540
9	1,1	19	800	930	0,65	500

Таблиця 8 - Контрольована атмосфера в печі

Номер бригади	Операція термообробки	Метал, що оброблюється	Температура процесу, °C
1	Відпал	Низьковуглецева сталь	650-750
2	Загартування	Швидкорізальна сталь	1150-1350
3	Нормалізація	Середньо-і високовуглецева сталь, легрована сталь	800-1100
4	Відпуск	Сталі всіх марок	До 650
5	Загартування	Середньо-і високовуглецева сталь	760-980
6	Нормалізація	Низьковуглецева сталь	870-1000
7	Відпал	Середньо-і високовуглецева сталь	700-950
8	Відпал	Ковкий чавун	700-950
9	Відпал	Мідь, бронза	300-900

5 ЗМІСТ ЗВІТУ

Звіт повинен містити:

- 1 Мету роботи.
- 2 Короткі теоретичні відомості й технічну характеристику печі СНЗ - 6.12.14/10.
- 3 Виконані розрахунки й оцінку отриманих результатів.
- 4 Висновки про пророблену роботу.

6 ЗАВДАННЯ ДО САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТА ІЗ ВИЗНАЧЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ТЕРМООБРОБКИ І ВИБОРУ КОНТРОЛЬОВАНИХ АТМОСФЕР

6.1 Визначити час нагрівання вала із середньовуглецевої сталі діаметром 90 мм, довжиною $l = L$ до $t = t_2$ °С.

Температура в печі $t = t_n$ °С, температура в цеху $t = t_1$ °С.

Середня теплоємність сталі $c_{cp} = C$, коефіцієнт тепловіддачі α кДж/м²·год·град. Маса 1 погонного метра сталі діаметром 90 мм дорівнює 50кг.

6.2 Вибрати контрольовану атмосферу в печі типу СНЗ для пропонованих операцій термообробки.

7 ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ ПІД ЧАС ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Студент зобов'язаний строго виконувати правила техніки безпеки під час роботи з електроустаткуванням, нагрівальними пристроями й печами, підйомно-транспортними механізмами відповідно до проведеного інструктажу.

8 ПИТАННЯ ТЕСТОВОГО КОНТРОЛЮ

8.1 Назвіть особливості нагрівання садки в печах типу СНЗ.

8.2 Назвіть типові технологічні процеси термообробки в печах СНЗ залежно від температури нагрівання.

8.3 З якою метою застосовують контрольовані атмосфери в робочому об'ємі печі?

8.4 На яких принципах базується вибір складу контрольованої атмосфери в робочому об'ємі печі?

8.5 Назвіть основні промислові контрольовані атмосфери.

8.6 Яким чином відбувається керування складом контрольованої атмосфери в об'ємі печі?

8.7 Що таке температура нагрівання металу і яким чином вона досягається при нагріванні садки в печі?

8.8 Які параметри впливають на швидкість нагрівання металу в печі?

8.9 Основні властивості металів, використовувані при розрахунку часу нагрівання й охолодження з деталей.

8.10 «Тонкі» й «масивні» тіла. Формули для розрахунку.

8.11 Критерій Біо. Граничні товщини тонких тіл при різних термічних операціях.

8.12 Від чого залежить час нагрівання виробу до необхідної температури?

8.13 Що таке активна поверхня нагрівального тіла?

8.14 Вплив способу укладання виробів у печі на час їхнього нагрівання.

8.15 Яким чином розраховують час витримки виробу в печі для вирівнювання температури?

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Рустем С.Л. Оборудование и проектирование термических цехов. -М.: Машгиз, 1962. -115-129 с.

2. Соколов К.Н. Оборудование термических цехов. -Киев-Донецк.: Вища школа, 1984. -237-258 с.

Лабораторна робота 3

«Вивчення характеру руху продуктів горіння в робочому просторі печі ТДО-13.26.13/11» та завдання для СРС з визначення витрат у каналах печі

1 МЕТА РОБОТИ

1.1 Вивчити конструкцію й принцип роботи печі ТДО-13.26.13/11.

1.2 Вивчити розміщення каналів печі, напрямок й умови руху продуктів горіння газів у них.

1.3 Придбати навички практичних розрахунків характеристик газів, що рухаються в печі.

2 УСТАТКУВАННЯ, ПРИЛАДИ ТА МАТЕРІАЛИ

2.1 Піч паливна з висувним подом ТДО-13.26.13/11.

2.2 Прилади контролю печі.

2.3 Рулетка, лінійка вимірвальна.

3 ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ

Камерні печі з висувним подом широко використовуються для відпалу, відпуску й нагрівання під загартування важких деталей. Під такої печі виконується у вигляді висувного візка, футерованого шамотною цеглою. Це дозволяє завантажувати й розвантажувати деталі поза робочим простором печі за допомогою мостового крана. Візок висувного поду складається з ряду поздовжніх швелерів, які через поперечні швелери передають навантаження на колеса, укріплені в роликкових підшипниках. На лист заліза товщиною 8-12 мм спочатку укладаються плашкою два ряди ізоляційних цеглин, потім чотири-п'ять рядів шамоту. Загальна товщина поду 400-450 мм. У печах, призначених для

важких садок, вигідніше замість коліс використати ролики, з'єднані по обидва боки планками. Подина на ковзанках лежить вільно, опираючись на них через спеціальні напрямні. У малих печах під іноді висувається на чавунних кулях діаметром 100- 150 мм. Вони малочутливі до нагрівання й дозволяють виключити ковзання. На висувній подині й на поду печі роблять напрямні жолоби, у яких і розміщуються опорні кулі.

Наявність двох подів дозволяє звести до мінімуму простої печі й втрати тепла висунутим подом. При операціях відпалу садку можна прохолоджувати поза піччю - на повітрі або в спеціальному охолоджувачі, а піч використовувати лише для нагрівання. У цьому разі різко збільшується її продуктивність і зменшується витрата тепла на розігрів кладки. Велика увага повинна бути приділена створенню герметичності робочого простору. Бічні щілини між візком і стінками печі ущільнюються піщаними затворами. Для зручності заповнення піском затвор краще робити у вигляді несучого куточка на візку й ножа, укріпленого в стінках печі. У великих печах заслінку часто заміняють футерованим екраном, що знаходиться на висувному поді.

Піч із висувним подом може мати будь-яку теплотехнічну конструкцію (за винятком нижньої топки), працювати на різних видах палива. При газовому опаленні найчастіше застосовують печі з безпосереднім спалюванням палива в робочому просторі, а при нафтовому - печі з невеликими бічними топками.

При ширині печі понад 4 м доцільно застосовувати підвісне склепіння (при звичайному склепінні його стріла значно збільшується, що знижує рівномірність нагрівання садки). Під печі краще робити каналізованим. Схема печі, показана на рис.1, має підвісне склепіння 1 і безпосереднє опалення газовими пальниками із плоским факелом. Площа поду дорівнює $4,5 \times 5 = 22,5 \text{ м}^2$. Пальники 2 розміщують у

робочому просторі печі у два ряди по її висоті. Факел полум'я верхніх пальників направляється під склепіння печі, а нижніх — під садку. Пальники нижнього й верхнього рядів розміщують у шаховому порядку. Продукти згоряння відводять по каналах 3 у поді печі й у бічних стінках у два лежаки 4. Рівномірність нагрівання підвищують, збільшуючи число пальників і направляючи газові потоки навколо садки. Стійке горіння газу при температурах 500-600°C досягається за допомогою розпилювачів, щілинних пальників. Однак у цьому разі необхідно збільшувати товщину кладки печі до 460 мм.

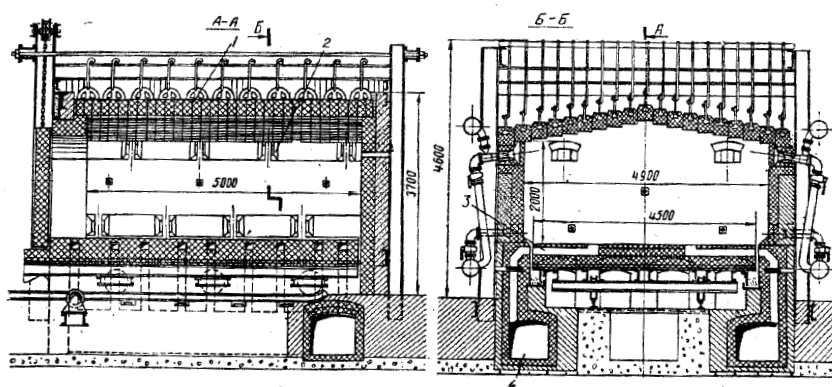


Рисунок 1 - Велика камерна піч на газовому опаленні з висувним подом

На рис. 2 подано поперечний розріз печі з поділом полум'я. Для її опалення можна використовувати газ або мазут. Топки 5 винесені на рівень поду 3 висувного візка й відділені від робочого простору невисокою ґратчастою стінкою 4, викладеною з карборунду або шамотної цегли. Деталі укладаються на підставках. Гази, згоряючи, піднімаються нагору під склепіння печі, частково проходять через ґратчасту розподільну стінку під садку. Продукти згоряння відводяться по каналах, розміщених між топками.

Під висувається на роликах 1. Оригінальною є будова пісчаного затвора 2.

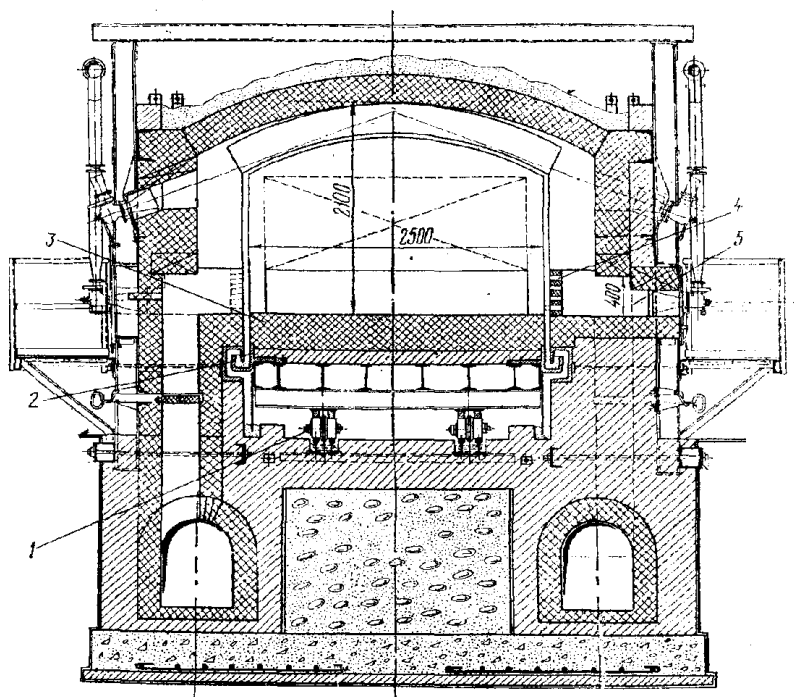


Рисунок 2 - Камерна піч із висувним подом з поділом полум'я

Гарну герметизацію печі дає водяний затвор, виконаний у вигляді жолоба по всьому периметру поду. При русі поду в піч жолоб за допомогою важільної системи піднімається, закриваючи щілини між подом і стінками печі. Пари води із затвора відсмоктуються по витяжних каналах.

В електричних печах з висувним подом (рис.3) нагрівальні елементи 1 розміщуються на бічних стінках, у печах з великою шириною робочого простору - на висувному поді й заслінці. Струм до нагрівачів висувного поду підводять по гнучкому кабелю. Під висувається на роликах 2 за

допомогою рейкового механізму 3. При низьких температурах у печах з висувною підлогою примусову циркуляцію продуктів згорання або нагрітого повітря здійснюють вентиляторами.

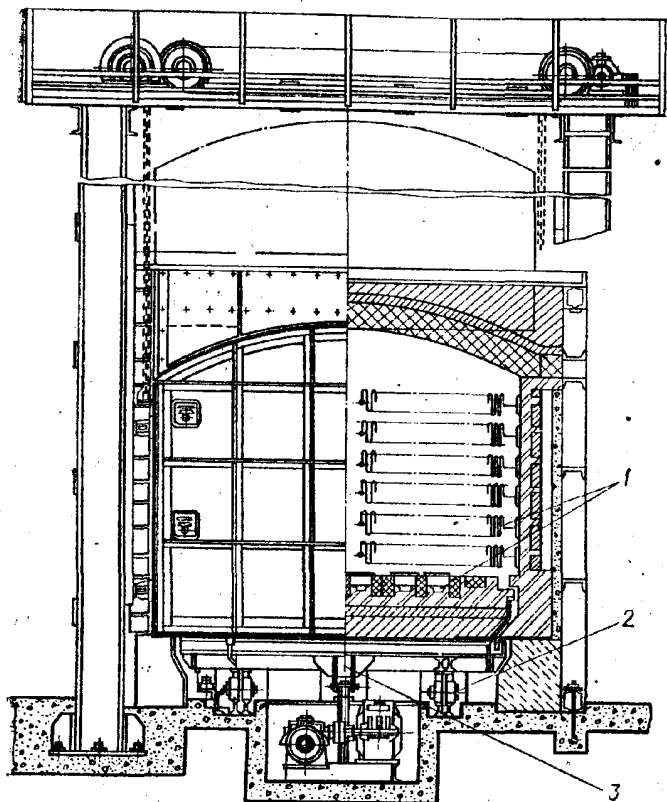


Рисунок 3 – Електрична камерна піч із висувним подом заводів ЕТО типу СДО

На рис. 4 представлена конструкція великої камерної полум'яної вентиляторної печі з висувним подом для високого відпуску листів. Піч має подвійне склепіння і подвійні бічні стінки, між якими відбувається зворотна циркуляція газів. З одного боку бічних стінок розміщують вентилято-

ри 3, а з іншого боку - ряд щілинних каналів 1. Вентилятори відсмоктують гази з робочої камери, направляють їх нагору в простір 2 між подвійним склепінням. Обмиваючи внутрішнє склепіння, гази опускаються біля протилежної стінки й через ряд каналів попадають знову в робочий простір. Продукти згоряння з топках 4 надходять паралельними потоками й змішуються із циркулюючими газами в міжсклепінному просторі. Рух газів не заважає горінню палива, тому що топки 4 відділені від потоків стінками.

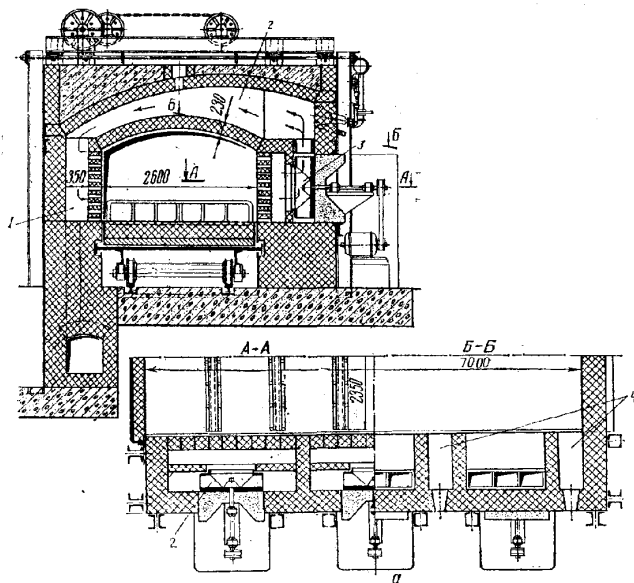


Рисунок 4 - Газові камерні печі з висувним подом і примусовою циркуляцією при спалюванні газу у верхніх топках

У деяких печах для одержання стійкого горіння паливо спалюють у спеціальних жаростійких трубах 5, що вводять із торця печі над вентиляторами (рис. 5). Труби мають ряд отворів, через які продукти згоряння надходять у потік циркулюючих газів. Піч при корисній площі поду

6,5x2,5=16,25 м² і висоті робочого простору 1,2 м має одноразову садку 24 т і продуктивність до 4 т/год.

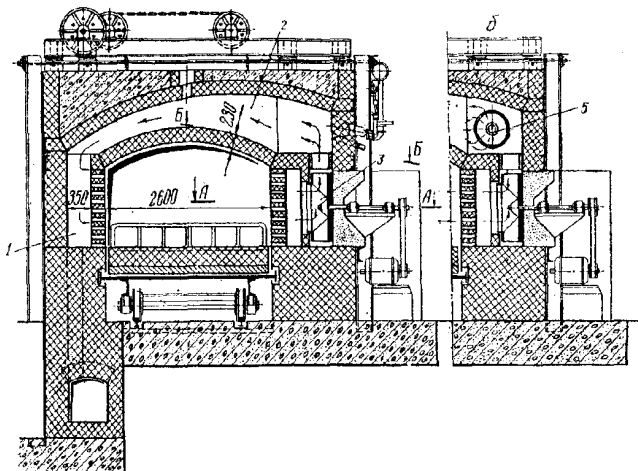


Рисунок 5 - Газові камерні печі з висувним подом і примусовою циркуляцією при спалюванні газу в спеціальних жаростійких трубах

У низькотемпературній електричній печі з висувним подом 4 (рис.6) на торцевій стінці печі, протилежній завантажувальному вікну, встановлюють вентилятор 1. Нагрівальні елементи у вигляді спіралей 6 підвешують на бічних стінках печі й відокремлюють від робочого простору металевими листами 7. Для ремонту електронагрівників у екранах улаштовують ряд дверцят 5. Для створення кращої герметичності печі висувний під обладнаний пісковим затвором, а робоче вікно - подвійними заслінками: зовнішньою 3 та внутрішньою 2 на висувному поді. При розмірах робочого простору 6,6x2,8x1,7 м потужність печі дорівнює 340 кВт, а середня продуктивність 3-3,5 т/год. Піч обладнана вентилятором «Сирокко» № 8 середнього тиску. Максимальний перепад температури в печі становить близько

15°C. Вона ефективна в експлуатації при температурах 200-400°C.

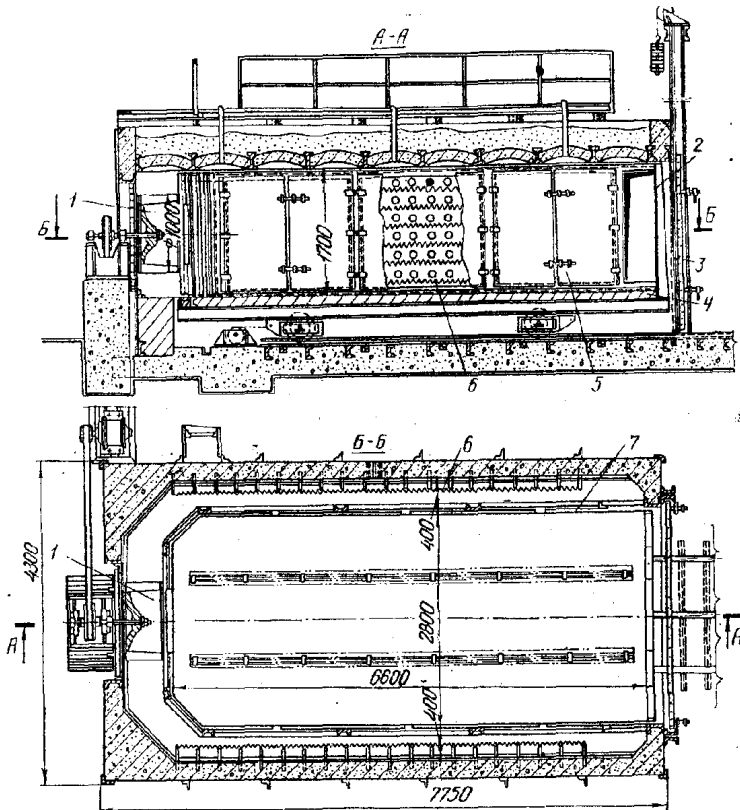


Рисунок 6 - Електрична камерна піч із висувним подом і примусовою циркуляцією повітря

Вакуумна піч із висувним подом (рис. 7) являє собою горизонтальний циліндричний водоохолоджуючий кожух 4, закритий з торців сферичними кришками 2. Усередині кожуха розміщується сама піч 3, футерована легковаговою шамотною цеглою. Під 5 печі й передню торцеву стінку 1 змонтовано на висувному візку. Нагрівачі, виконані у ви-

гляді зигзагів із дроту сплаву Х20Н80, розміщені на стінках печі, склепінні й поді. Рознімання кришок герметизується за допомогою байонетного затвора 8. Механізм 7, змонтований на візку 6, вкочує її та закриває кришку завантажувального вікна. Залежно від застосовуваних насосів у печі забезпечується вакуум 10^{-1} Па (бустерними насосами) і 10^{-3} Па (високовакуумними). У ряді вакуумних печей замість футерівки використовують екранну ізоляцію з листів нержавіючої сталі або молібдену. Печі з екранною ізоляцією при розігріві мають менші втрати тепла (на акумуляцію кладки).

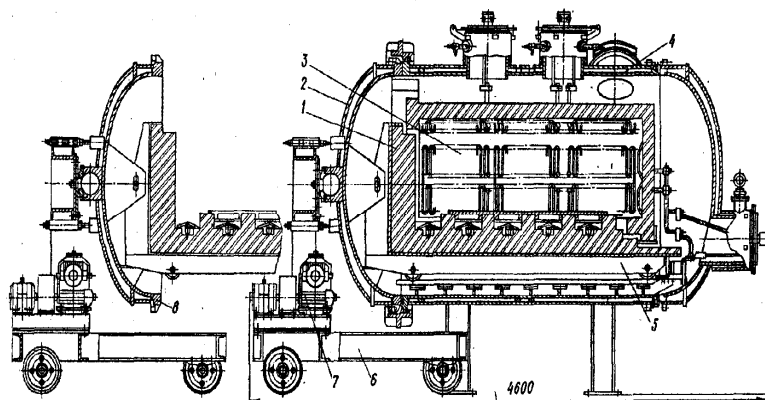


Рисунок 7 - Вакуумна камерна піч із висувним подом заводів ЕТО типу СДВ

Камерна термічна піч із висувним подом ТДО-13.26.13/11 використовується для відпалу, відпуску й нагрівання під загартування важких деталей і розміщена на заводській філії кафедри.

Під такої печі виконується у вигляді висувного візка, футерованого шамотною цеглою. Це дозволяє завантажувати й розвантажувати деталі поза робочим простором печі за допомогою мостового крана. У цьому разі різко збільшується продуктивність печі й зменшується витрата тепла

на розігрів кладки. Для створення герметичності робочого простору бічні щілини між візком і стінками печі ущільнюються пісковими затворами.

На рис.8 показана конструкція печі ТДО-13.16.13/11. Піч має пальники 3, розміщені у два ряди по її висоті. Продукти згоряння направляються з поду по каналах 4 у бічних стінках у два лежачи 6, які під пічню з'єднуються в один. Під 2 висувають на роликах 1 за допомогою рейкового механізму; для герметизації поду на візку встановлюють піскові затвори 5. Невеликі печі, як правило, мають один ряд нижніх пальників. Піч має таку технічну характеристику.

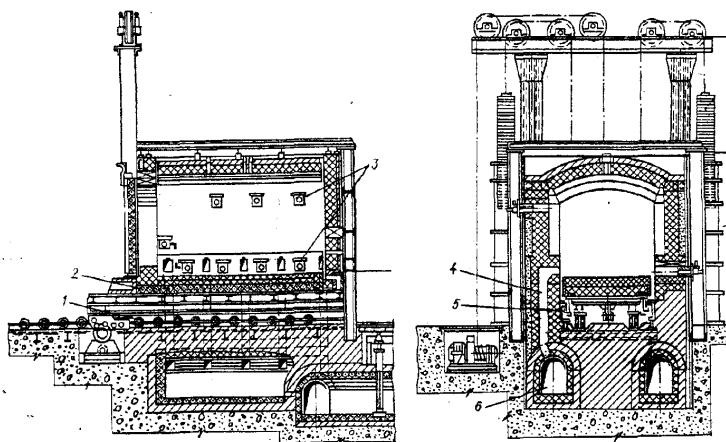


Рисунок 8 - Камерна піч із висувним підом й безпосереднім газовим опаленням типу ТДО

Тип печі	Термічна піч із висувним подом й окисним середовищем
Максимальна робоча температура, °С	1100
Розміри робочого простору печі, мм:	
ширина	1300
довжина	2600
висота	1300
Витрата газу піччю, м ³ /год	60
Кількість пальників, шт	4
Кількість теплових зон	4
Час розігріву, год	9
Вага садки, кг	6000
Маса печі, кг	53300

Робота газової печі типу ТДО-13.2613/11 полягає в тому, що тепло, отримане при спалюванні палива й акумульоване в гарячих газах, передається матеріалам, що нагріваються, після чого гарячі гази видаляються з печі. Тепловий режим печі залежить від характеру руху газів й інтенсивності процесів теплообміну. Канали в печі, робочий простір, димоходи чинять опір руху газів, і для того щоб рух здійснювався, потрібно перебороти ці опори, затративши енергію.

У механіці газів їхню енергію виражають у вигляді напорів. Розрізняють геометричний $h_{\text{геом}}$, статичний $h_{\text{стат}}$, динамічний $h_{\text{дин}}$ напори. Напір, що губиться на різні опори, позначається $h_{\text{втр}}$ й являє собою втрату кінетичної енергії газу. Всі зазначені напори, що виражають потенційну й кінетичну енергії, на основі закону збереження енергії зв'язані між собою. Цей взаємозв'язок установлений

Д.Бернуллі й полягає в тому, що для реального газу сума всіх напорів дорівнює початковому або повному напору:

$$h_{\text{геом}} + h_{\text{стат}} + h_{\text{дин}} + h_{\text{втр}} = \text{const} = H (\gamma_{\text{п}} - \gamma_{\text{г}}) \text{ Н/м}^2,$$

де $\gamma_{\text{г}}$ - питома вага газів, що відходять, Н/м^3 ; $\gamma_{\text{п}}$ - питома вага повітря, Н/м^3 .

З рівняння виходить, що один напір може переходити в інший, але величина повного напору залишається постійною. У реальному газі в печі наповнення динамічного напору відбувається за рахунок статичного напору, а статичний напір утворюється або за рахунок геометричного, або від вентилятора.

3.1 Визначення тиску газів під склепінням печі

Вихідні дані для розрахунку

Висота склепіння печі ТДО-13.26.13/11 - 1,370 м. Температура газів у печі $t_{\text{г}}$, температура навколишнього повітря $t_{\text{в}}=20^{\circ}\text{C}$. Питома вага пічних газів $\gamma_{\text{г}}^0 = 12,74 \text{ Н/м}^3$, питома вага повітря $\gamma_{\text{п}}^0 = 12,64 \text{ Н/м}^3$.

Питома вага газів при температурі $t_{\text{г}}$ визначають за формулою

$$\gamma_{\text{г}}^{t_{\text{г}}} = \gamma_{\text{г}}^0 \frac{1}{1 + \alpha t_{\text{г}}},$$

де $\gamma_{\text{г}}^{t_{\text{г}}}$ - дійсна питома вага газів при $t_{\text{г}}$, $^{\circ}\text{C}$; $\gamma_{\text{г}}^0$ - зведена питома вага газів (при 0°C і 160 мм.рт.ст.); $\alpha = 1/273$ - коефіцієнт об'ємного розширення газу.

Питома вага повітря при 20°C визначається з формули

$$\gamma_{\text{п}}^{20} = \gamma_{\text{п}}^0 \frac{1}{1 + \alpha t_{\text{п}}},$$

де γ_v^0 - зведена питома вага повітря (при 0°C і 160 мм.рт.ст.); $t_n = 20^\circ\text{C}$ - температура повітря; $\alpha = 1/273$ - коефіцієнт об'ємного розширення газу .

Припустивши, що тиск на поду печі дорівнює атмосферному, тобто $h_{c m a m} = 0$, тиск під зводом буде

$$h_{c m a m} = (\gamma_v - \gamma_z) .$$

3.2 Визначення критичної швидкості продуктів горіння газів у відвідних каналах печі ТДО-13.26.13/11

Розглядаючи характер руху газів, розрізняють два їхні види: ламінарне, або шарувате, й турбулентне, або вихроподібне.

Характер руху залежить від швидкості газу, його питомої ваги, діаметра трубопроводу або розмірів каналу й внутрішнього тертя (в'язкості) газів. За певного співвідношення цих величин один вид руху може переходити в інший і навпаки. Критерій цього переходу був установлений Рейнольдсом й являє собою безрозмірне число, позначуване Re:

$$\text{Re} = \frac{\omega \cdot \gamma \cdot d}{\eta} ,$$

де ω - середня швидкість газу в м/с при температурі t_r ; γ - питома вага газу в Н/м³ при температурі t_r ; d - гідравлічний діаметр каналу в м, що визначається за формулою $d=4F/P$ (F - перетин каналу в м²; P - периметр каналу в м); η - коефіцієнт внутрішнього тертя кг/м·с при температурі t_r .

Рейнольдс показав, що ламінарний рух переходить у турбулентний при $\text{Re}=2300$. Цьому числу Рейнольдса відповідає критична швидкість

$$\omega_{кр} = \frac{2300 \cdot \eta_t}{d \cdot \gamma_t} \text{ м / с ,}$$

де $\eta_t = \eta_0 \frac{1 + \frac{C}{273}}{1 + \frac{1}{273 + t_0}} \sqrt{\frac{273 + t_0}{273}}$ - коефіцієнт внутрішнього тертя газу при температурі t_r .

Тут η_0 - коефіцієнт внутрішнього тертя при 0°C ;

C - безрозмірний коефіцієнт, узятий з таблиці 29 [1].

Для продуктів горіння газів печі ТДО-13.26.13/11 вони дорівнюють відповідно $\eta_0 = 1,5110 \text{ кг/м}\cdot\text{с}$; $c = 173$. Знаючи розміри квадратного каналу відведення газів печі ТДО-13.26.13/11, що дорівнюють $0,5 \times 0,5 \text{ м}$, а також температуру газів та їхню питому вагу, можемо визначити критичну швидкість переходу ламінарного руху газів у турбулентний.

3.3 Визначення втрат напору в перетинах каналів печі

У печах розрізняють такі опори руху газів:

- місцеві опори;
- опори, що діють на вертикальних ділянках;
- опори, що діють на горизонтальних ділянках;
- спеціальні випадки опору.

До місцевого відносять опори, які діють у певнім місці шляху газу в печі, наприклад, розширення, звуження або повороти каналу.

При переході газу з вузького перетину в широкий відбувається прямий, лобовий удар часток газу одна об одну. Ця втрата дорівнює втраті при ударі, тобто дорівнює напору, що відповідає загубленій швидкості.

Формула для визначення втрат має вигляд

$$h_{втр} = k \cdot \frac{\omega_0^2}{2q} \cdot \left(\frac{T}{273} \right)^2 \cdot \gamma_0 \cdot \frac{273}{T} \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2,$$

де $k = \left(1 - \frac{f_1}{f_2}\right)^2$ - коефіцієнт місцевого опору при зміні перетину каналу від f_1 до f_2 ; ω_0 - швидкість газу, зведена до 0°C ; T - абсолютна температура газів печі.

Тоді втрати напору при розширенні

$$h_{emp} = \left(1 - \frac{a_1}{a_2}\right)^2 \cdot \frac{\omega_0^2}{2g} \cdot \gamma_0 \cdot \frac{T}{273} \cdot 10^5 \quad \text{Н/м}^2.$$

Перетин каналу печі ТДО-13.26.13/11 при відведенні газів у лежаків змінюється з $0,2 \times 0,2$ м до $0,3 \times 0,4$ м раптово.

Швидкість газів у вузькому каналі печі ω_0 ; питома вага газів, що відходять, $\gamma_0 = 1,30 \text{ Н/м}^3$. Температура газів t_r . Виходячи із цих умов і визначаємо втрату напору в каналах печі. При цьому необхідно врахувати, що швидкість газу до розширення

$$\omega_t = \omega_0 \cdot \frac{T}{273} = \omega_0 \cdot (1 + \alpha \cdot t_r), \quad \text{м/с},$$

де ω_0 - зведена швидкість газу;

α - коефіцієнт, що дорівнює $1/273$;

T - абсолютна температура газів, що відходять.

Тоді зведена швидкість газу

$$\omega_0 = \frac{\omega_t}{1 + \alpha \cdot t_r}, \quad \text{м/с},$$

і ми маємо всі дані для визначення втрат напору в каналах печі при розширенні.

4 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

4.1 Вивчити будову печі ТДО-13.26.13/11 та її конструктивні особливості.

4.2 Вивчити розміщення каналів печі, що відводять гази, напрямки й умови руху продуктів горіння газів у них.

4.3 Ознайомитися з технічною характеристикою печі, додатковим і допоміжним устаткуванням, що використовується при термообробці.

4.4 Виміряти перетин каналів, що відводять гази з печі й лежака.

4.5 Визначити тиск газів під склепінням печі (п.3.1 цієї лабораторної роботи).

4.6 Визначити критичну швидкість продуктів горіння газів у каналах, що відводять гази з печі (п.3.2).

4.7 Визначити втрати напору в перетинах каналів печі (п.3.3 чинних МУ).

5 ЗМІСТ ЗВІТУ

5.1 Мета роботи.

5.2 Короткі теоретичні відомості щодо роботи й технічної характеристики печі ТДО-13.26.13/11.

5.3 Виконані виміри й розрахунки, а також оцінка отриманих результатів.

5.4 Висновки про зроблену роботу.

6 ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ ПІД ЧАС ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Студенти повинні строго виконувати правила техніки безпеки під час роботи з електроустаткуванням, нагрівальними пристроями й печами, підйомно-транспортними механізмами відповідно до проведеного інструктажу.

7 ПИТАННЯ ТЕСТОВОГО КОНТРОЛЮ

7.1 До якого типу печей належить піч ТДО-13.26.13/11?

7.2 Опишіть особливості конструкцій печей типу ТДО.

7.3 Розшифруйте індексацію печі, запропоновану ви-
кладачем.

7.4 Яке встаткування використовується для заванта-
ження й вивантаження деталей у печах типу ТДО?

7.5 Опишіть особливості роботи газових печей типу
ТДО і їхнього теплового режиму.

7.6 Напори газів у печі і їхня взаємозалежність.

7.7 Як визначається тиск під зводом печі?

7.8 Види характерів руху продуктів згоряння газу в ка-
налах печі.

7.9 Від чого залежить характер руху газів у каналах пе-
чі?

7.10 Види опорів руху газів у каналах печі.

7.11 Від чого залежать втрати напору при русі газів у
каналах печі і як вони визначають?

8 ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ ІЗ ВИЗНАЧЕННЯ ВТРАТ У КАНАЛАХ ПЕЧІ

Номер бригади	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Температура газів у печі t_r , °С	600	700	800	900	1000	1100	950	850	750

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1 Рустем С.Л. Устаткування й проектування термічних цехів. -М.: Машгиз, 1962. -С.64-79.

2 Соколов К.Н. Устаткування термічних цехів. - Ки-
їв - Донецьк: Вища школа, 1984. -С.59-64.

Лабораторна робота 4

«Вивчення особливостей конструкцій шахтних печей» і завдання на СРС з визначення технологічних параметрів печі СШЦМ-6.12/10

1 МЕТА РОБОТИ

1.1 Ознайомитися з конструкціями шахтних печей, особливостями конструкції печі СШЦМ-6.12/10, допоміжним і додатковим устаткуванням для її обслуговування.

1.2 Навчитися визначати продуктивність печі при цементації виробів і заготовок.

2 УСТАТКУВАННЯ, ПРИЛАДИ ТА МАТЕРІАЛИ

2.1 Піч електрична шахтна спеціального призначення СШЦМ-6.12/10.

2.2 Допоміжне й додаткове устаткування для обслуговування печі.

2.3 Прилади контролю устаткування.

3 ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ

Піч електрична шахтна СШЦМ-6.12/10 розміщена на філії кафедри в цеху № 2.

Піч, загальний вигляд якої представлений на рис.1, призначена для різних видів термічної обробки деталей. Вона має таку технічну характеристику:

Тип печі	Електрична шахтна піч спеціального призначення
Максимальна робоча температура,	1000
Вид палива	електроенергія
Розміри робочого простору печі, м: діаметр висота	0,6 1,2
Обсяг робочого простору, м ³	0,72
Габарити, м	2,7×2,6×3,6
Маса садки, т	1,2
Продуктивність, кг/год	70
Потужність, кВт	70
Маса печі, т	3,5
Напруга живильної мережі, В	380/220

Завантаження виробів у піч проводиться за допомогою мостового крана вантажопідйомністю 5 т.

Такі печі застосовують для термічної обробки деталей великої довжини, наприклад, осей, валів, труб напрямних [2].

Діаметр вертикальних камерних печей дорівнює 0,5-3,5 м, а висота – 1-30 м. Малі печі використовують для світлого відпалу, газової цементації, азотування (при введенні реторти), нагрівання під відпуск і загартування. Більші печі застосовують для нагрівання під загартування й відпуск довгих деталей (валів, осей, спеціальних труб і т.п.).

Для кращого використання об'єму печі одночасно нагрівають велику кількість деталей, розміщуючи їх на спеціальних підвісах або в кошиках. Паливом для вертикальних печей може служити газ або мазут. Але дуже часто ці

печі бувають й електричними. Останнім часом почали застосовувати вакуумні електричні печі.

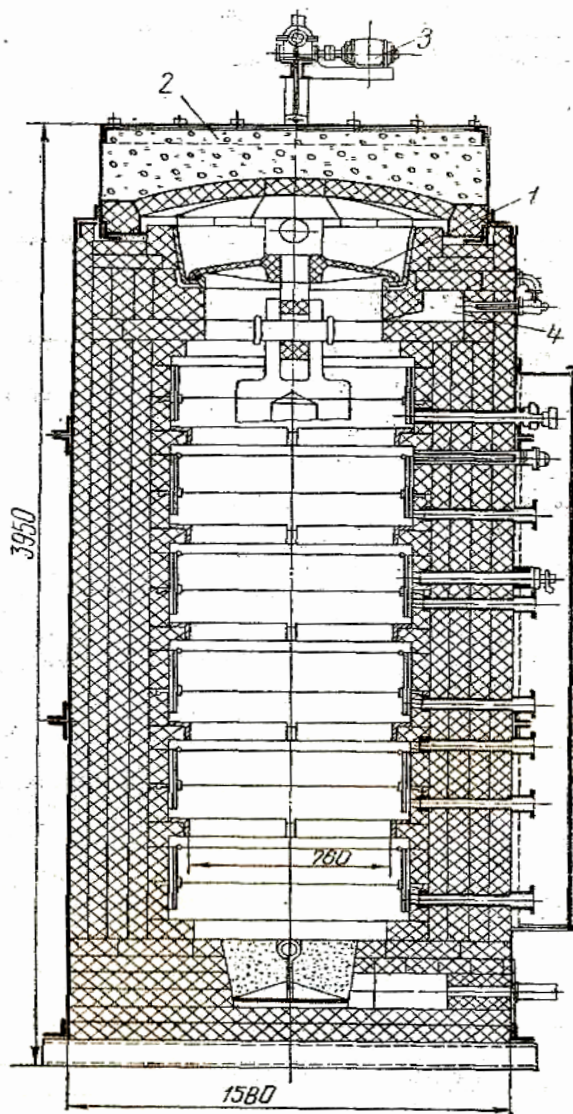


Рисунок 1 - Вертикальна середньотемпературна електрична піч

Малі вертикальні печі розраховані на високі, середні й низькі температури. Високотемпературні електричні печі (до 1300°C) частіше мають квадратний перетин і нагріваються горизонтально розміщеними глобаровими стрижнями. Середньотемпературні (до 1000°C) і низькотемпературні (до 700°C) печі нагріваються металевими елементами опору, розміщеними на внутрішніх стінках печі. На рис. 1 наведена конструкція вертикальної середньотемпературної електричної печі потужністю 70 кВт із трьома регульованими зонами. Деталі підвішують на диску 1. Кришку печі 2 піднімають і відводять убік поворотним механізмом, що приводяться у рух електродвигуном 3 потужністю 0,5 кВт. Для зменшення окиснювання металу, що нагрівається, у піч зверху й знизу через камери 4 підводять захисний газ.

На рис. 2 наведені конструкції малих низькотемпературних вертикальних печей із примусовою циркуляцією атмосфери. Такі печі широко застосовують для відпуску сталевих виробів і нагрівання під загартування невеликих деталей з алюмінієвих сплавів. Вертикальна циркуляційна піч, опалювана газом або рідким паливом (рис. 2 а), має встановлений на дні печі вентилятор 2 з електродвигуном 3. Деталі завантажують зверху в кошик 1 з дірчастим дном, який поміщають усередині металевого циліндра із суцільними бічними стінками. Газ або рідке паливо спалюють у спеціальній кільцевій камері 4 з тангенціально розміщеними пальниками або форсунками. Продукти згоряння, виходячи з камери, потрапляють у загальний потік циркулюючих газів. У вертикальних печах типу СШО з електричним нагріванням до 700°C (рис. 2 б) вентилятор 1 розміщують у кришці печі.

Для завантаження деталей кришку піднімають важелем 2 і відводять убік, піч при цьому автоматично вимикається. У більших печах підйом і поворот кришки здійснюються електродвигуном через черв'ячний редуктор або гідравліч-

ний циліндр. Потужність електродвигуна вентилятора 0,6-1,0 кВт.

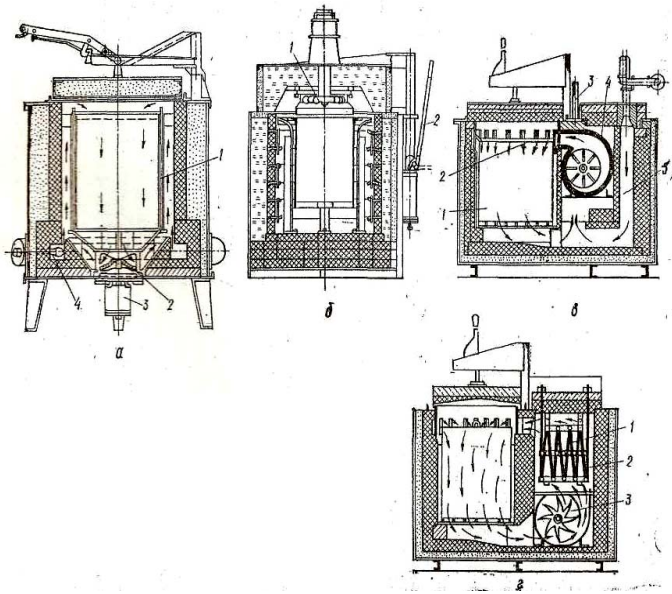


Рисунок 2 – Малі вертикальні печі з примусовою циркуляцією

На рис. 2 в, г показані схеми малих вертикальних печей типу "Циклон" з газовим й електричним нагріванням. Газова піч має три відділення: робочу камеру 1 (як правило, циліндричної форми); камеру 4 для розміщення вентилятора й топкову камеру 5 з верхнім пальником. Надлишкові гази видаляються по трубі 3. Вентилятор засмоктує гази через бічні центральні отвори й по розподільній коробці 2 жене їх у робочий простір 1. Втрати тепла компенсуються підведенням гарячих газів з камери 5. При електричному нагріванні (рис.2 г) вентилятор 3 установлюють унизу камери 2, а над ним розміщують калорифер 1 з нагрівальними елементами.

Схема муфельної вертикальної печі для світлого відпа-лу стрічки й дроту в бунтах показана на рис.3 а. Піч являє собою циліндричний муфель 3, зроблений з жаростійкої сталі, що обігрівается зовні електричними нагрівальними елементами або газовими пальниками. При опаленні газом пальники розміщуються тангенціально в кілька рядів по висоті печі. Продукти згоряння відводяться через ряд щілин угорі печі в кільцевий канал. Муфель зверху закривається кришкою, що має товстий шар ізоляції. Вироби укладають на круглий диск 1, що підвішують на спеціальних тягах 2, які закріплюють у пазах бічної стінки кришки печі 4. Таким чином, під масою садки кришка щільно притискається до затвора муфеля, а сам муфель не несе навантаження, тому товщина його стінок може бути невеликою (5-6 мм). Кришку муфеля обладнують ущільнюючою гумовою прокладкою 5 з водяним затвором 6. Завдяки високій герметичності витрата контрольованої атмосфери в таких печах дуже мала. Як правило, у вертикальних муфельних печах деталі тільки нагріваються. Після досягнення необхідної температури й витримки муфель виймають із печі й поміщають для охолодження в яму на 12-18 год. Яма влаштована в такий спосіб (рис.3 в), що муфелі, які охолоджуються, рухаються назустріч холодним муфелям зі знову завантаженим металом. Завдяки цьому досягається рекуперація тепла, що дає до 30% економії палива.

Діаметр муфеля становить 1,0-1,5 м, а висота -1,8-3,0 м. У муфель низькотемпературних печей уводять вентилятор, установлюючи його в кришці. Вертикальні муфельні печі іноді використовують для нагрівання у вакуумі (наприклад, при нагріванні під загартування магнієвих сплавів). У цьому разі особливу увагу приділяють герметичності затвора кришки муфеля. На рис.3 б подана конструкція затвора з ущільнюючою гумовою прокладкою 1,

затиснутою із двох боків кільцевими коробками 2 з водяним охолодженням.

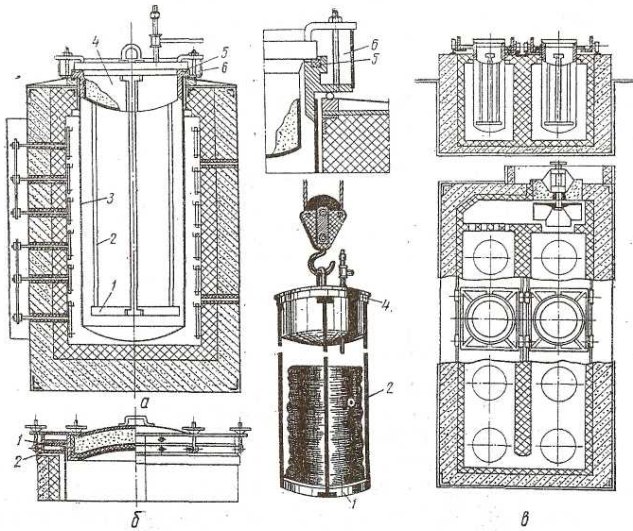


Рисунок 3 - Муфельна вертикальна піч для світлого відпалу типу Грюнвальда: а - конструкція печі й схема підвіски виробів до кришки муфеля; б - конструкція затвора муфельної печі для роботи з вакуумом; в - схема ями для охолодження з рекуперацією тепла

Вертикальні електричні муфельні печі широко використовуються для газової цементації (рис.4). Цементацію в цих печах проводять природним газом, бензолом або газом. Рідке паливо вводять у цементаційну реторту через крапельник, розміщений на кришці печі. Однією з основних частин печі є жаростійка ніхромова реторта 1, що вгорі споряджена добре теплоізоляційною кришкою 5, яка герметично закривається відкидними болтами 4. По центру кришки проходить вертикальний вал з насадженням на ньому вентилятором 3, що приводяться у рух електродвигуном 7 потужністю 0,8 кВт. Для охолодження підшипни-

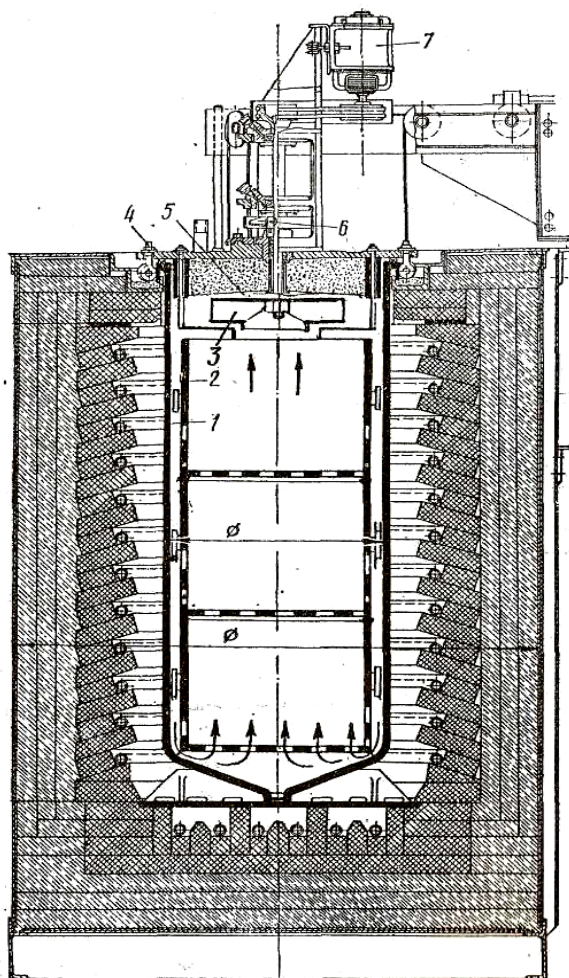


Рисунок 4 - Електрична вертикальна муфельна піч для газової цементації

ків ззовні кришки на валу встановлюється ще один пропелерний вентилятор 6. Деталі завантажують у дірчасті кошики 2 і поміщають у реторту. Після розігріву печі цементуючий газ або гас (по 60-80 крапель на хвилину) подають

у реторту, де він швидко випаровується. Газ, що утворюється, підхоплюється вентилятором, проганяється через отвори в кошику, енергійно обмиває оброблювані деталі й іде через відвідну трубку у кришці печі на спалювання. У кришці печі повинен бути передбачений третій отвір для "свідків". Термін служби реторти з жаростійкої сталі становить 3000-4000 год., питома витрата сталі - 0,8% від маси оброблюваних деталей.

У малих вертикальних печах можна використати муфеловане полум'я, створюване нагрівальними трубчастими елементами.

У вертикальних печах, що використовуються для азотування невеликих деталей (рис.5), циркуляція атмосфери здійснюється вентилятором 1, розміщеним у поді печі. Стрічкові нагрівачі 3 відділені від робочого простору циліндричним екраном 4. Герметичність кришки створюють масляним затвором 5 глибиною 0,2 м й азбестовою прокладкою 6. Деталі завантажують у піч у спеціальних кошиках з дірчастим дном. Для прискорення охолодження деталей газ за допомогою вентилятора пропускається через труби 2, охолоджені водою. Заводи ЕТО випускають вертикальні печі для азотування з діаметром робочого простору 0,6-2,5 м і висотою 0,6-3,8 м, їхня настановна потужність дорівнює 50- 300 кВт. Конструкції більших вертикальних печей можна об'єднати в такі групи: полуменеві з безпосереднім опаленням, полуменеві напівмуфельні, полуменеві рециркуляційні, електричні.

Вертикальні печі з безпосереднім опаленням добре працюють на газовому паливі (рис.6 а). Така піч являє собою футерований циліндр, по висоті якого розміщені пальники 2. При опаленні газом низького тиску осі пальників направляють тангенціально до деталей. Це дозволяє створювати навколо останніх рівномірний кільцевий потік газів, що рухаються, і запобігати місцевим перегрівам. Тому

при проектуванні варто передбачити між стінкою печі і садкою вільний простір шириною до 300 мм. По висоті печі пальники розміщують у шаховому порядку з відстанню між рядами 0,8-0,12 м. Для створення більш рівномірного нагрівання кількість безполумєневих пальників збільшують і відстань між ними по вертикалі доводять до 0,4-0,6 м. Роботу пальників необхідно регулювати за окремими температурними зонами.

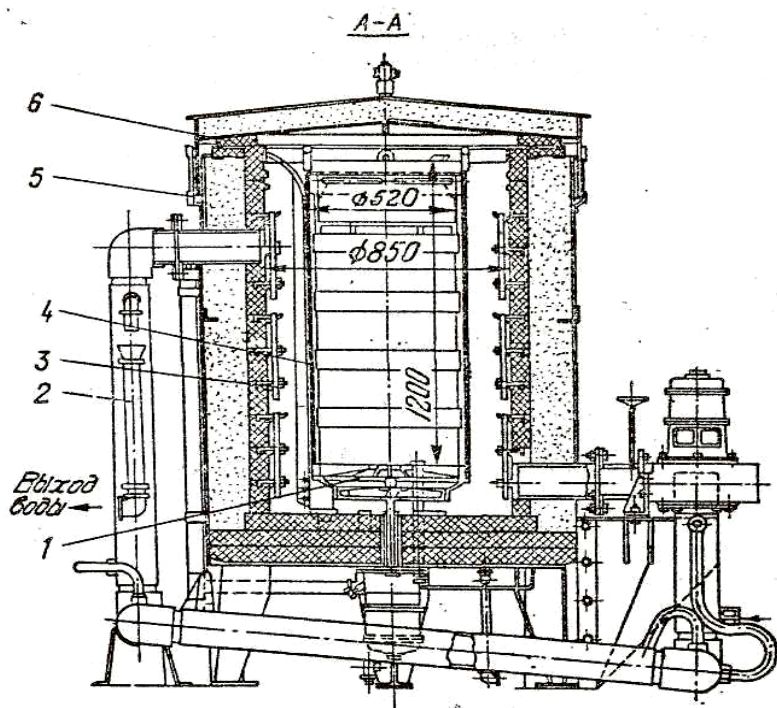


Рисунок 5 - Вертикальна електрична піч для азотування типу США

Продукти згоряння у вертикальних шахтних печах відводять униз печі по каналах 1 у напрямку природного руху

більш холодних газів, а в печах безполуменевого горіння - нагору. Це знижує вартість підземних споруджень.

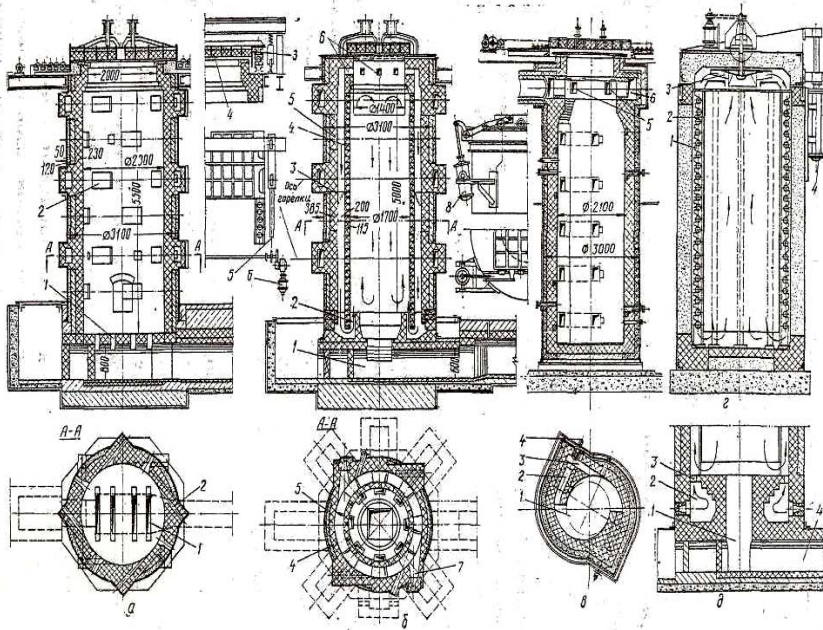


Рисунок 6 – Великі вертикальні печі

Конструкція вертикальної напівмфельної печі показана на рис.6 б. Головна частина печі - футерований циліндр 5, усередині якого поміщений напівмфель 4 із шамотної цегли. Простір усередині його являє собою робочу камеру, а кільцевий канал між напівмфелем і зовнішньою стінкою печі шириною 200-300 мм служить камерою згоряння. Продукти згоряння під впливом тиску, створюваного форсунками або пальниками 7, опускаються вниз і через вузькі канали 2 потрапляють у робочий простір. Унаслідок геометричного напору газів і підвищеної швидкості їхнього виходу (до 10 м/с) продукти згоряння підіймаються уздовж стінок напівмфеля нагору до кришки печі. Під кришкою вони повертаються й направляються вниз по осі печі, ідучи

в лежак 1. Частина продуктів згоряння підсмоктується до потоків гарячих газів, що піднімаються, збільшуючи кількість циркулюючих газів. Для підвищення рівномірності температури печі у верхній частині напівмуфеля встановлюється декілька (чотири-вісім) пропускних каналів 6, регульованих заслінками. За допомогою таких каналів частина газів може направлятися з топки безпосередньо нагору робочої камери. При дуже високих печах роблять отвори в кілька ярусів по висоті напівмуфеля. Напівмуфель кріплять до зовнішньої стінки рядом контрфорсів 3, які також використовують для введення термопар у робочий простір печі.

Завдяки наявності напівмуфеля кількість пальників або форсунок може бути значно скорочено.

Напівмуфельні печі встановлені на ряді заводів і дають цілком задовільну рівномірність нагрівання. Однак для них характерні такі недоліки: порівняно швидкий вихід з ладу напівмуфеля; значні розміри й обсяг кладки, а отже, підвищені теплові втрати й витрата палива; повільний розігрів й охолодження, тому що муфель є значним акумулятором тепла; неекономічність. Тому напівмуфельні печі варто спеціалізувати на одному температурному режимі. Їх доцільно використовувати при опаленні рідким паливом і нагріванні до низьких температур, коли важко підтримувати горіння в робочому просторі печі.

На рис. 6 в наведена конструкція вертикальної рециркуляційної печі ТШОВ з безпосереднім опаленням, у якій циркуляція газів у робочому просторі створюється за рахунок енергії паливноповітряних струменів. Пальники 4 розміщують із двох боків печі в шаховому порядку на відстані по висоті 1,0-1,3 м. Факел їхнього полум'я направляється до робочого простору 1 по стінках печі. Рециркуляція відбувається за рахунок підсмоктування газів з робочого простору по каналу 3 пальником 4 й інжектором 2. Про-

дукти згоряння видаляються нагору через канали 5 у кришки печі в кільцевий лежак 6.

Для низьких температур (700°C і нижче) варто застосовувати печі із примусовою циркуляцією атмосфери. В більших вертикальних електричних печах примусову циркуляцію нагрітого повітря здійснюють відцентровим 3 або осьовим вентилятором, розміщеним у кришці печі (рис.6 г). Робочий простір печі відгороджують від нагрівальних елементів металевим екраном 2. Нагрівальні елементи 1 розміщують або на внутрішній стінці печі, або на зовнішній стінці металевого екрана. В останньому випадку значно полегшуються їхня заміна й ремонт. При полуменовому нагріванні (рис,6 д) унизу печі влаштовують кільцеву топку 2, з якої продукти згоряння потрапляють через щілини 3 у загальний потік циркулюючих газів. У цьому разі краще використати осьові вентилятори, які можуть міняти напрямок руху газів. Надлишкові гази видаляються через центральний канал 1 у лежак 4.

Більші середньотемпературні електричні вертикальні печі являють собою футерований циліндр, на внутрішніх стінках якого в кілька рядів кріпляться на гаках й ізоляторах електричні нагрівальні елементи. Для запобігання механічним ушкодженням застосовують спеціальні вертикальні стійки або кільцеві виступи з металевим облицюванням (див.рис.1). Щоб уникнути окиснювання деталей, які нагріваються, у вертикальних печах створюють газову завісу, що підводиться нагору й униз робочого простору печі. При відкриванні кришок з метою безпеки піч автоматично вимикається. Деталі завантажують і розвантажують мостовим краном або електроталлю. Для забезпечення рівномірності нагрівання по висоті печі влаштовують декілька самостійно регульованих зон. Електричні вертикальні печі забезпечують гарною тепловою ізоляцією.

У більших вертикальних печей кришки 4 роблять із половинок, що розсовуються на колесах або кулях 3, з боків їх облаштовують пісковими затворами. Розсовують половинки кришок, використовуючи ланцюги Галля 5, перекинуті через блоки (рис.6 а), або пневматичні циліндри (рис. 6 б). Суцільну кришку доцільно відкривати за допомогою масляного гідравлічного циліндра 4 (рис.6г).

При нагріванні під загартування тонких сталевих труб, профілів і листів з алюмінієвих сплавів, коли час перенесення деталей з печі в гартівний бак повинен бути якомога меншим, використовують вертикальні печі з баком, розташованим у котловані під піччю (рис. 7). Робочий простір 1 печі для нагрівання під загартування труб (рис.7 а) має знизу отвір 2, що закривається кришкою 3, яка перебуває на пересувному візку 4. На тому самому візку кріплять вертикальний масляний гартівний бак 5. Деталі, що нагріваються, завантажують у печі на підвіску. Після того як вони нагріються, гартівний бак підкочують під піч, зсуваючи убік кришку. Деталі разом з підвіскою опускають у гартівний бак, де підвіска укладається на спеціальні балки. По закінченні загартування кришка печі й візок з баком повертаються в попереднє положення. Герметичності днища досягають за допомогою піскового затвора.

У більшості випадків деталі охолоджують у воді. При загартуванні в маслі застосовують змієвик 5, з'єднаний з охолодною мережею рядом гнучких шлангів. Внутрішній діаметр описаних печей доходять до 1,5 м, а висота - до 8 м. Печі для загартування тонких сталевих труб із температурою нагрівання 950°C при діаметрі робочого простору 1,2 м і висоті 6,8 м має потужність 200 кВт і продуктивність 0,5 т/год.

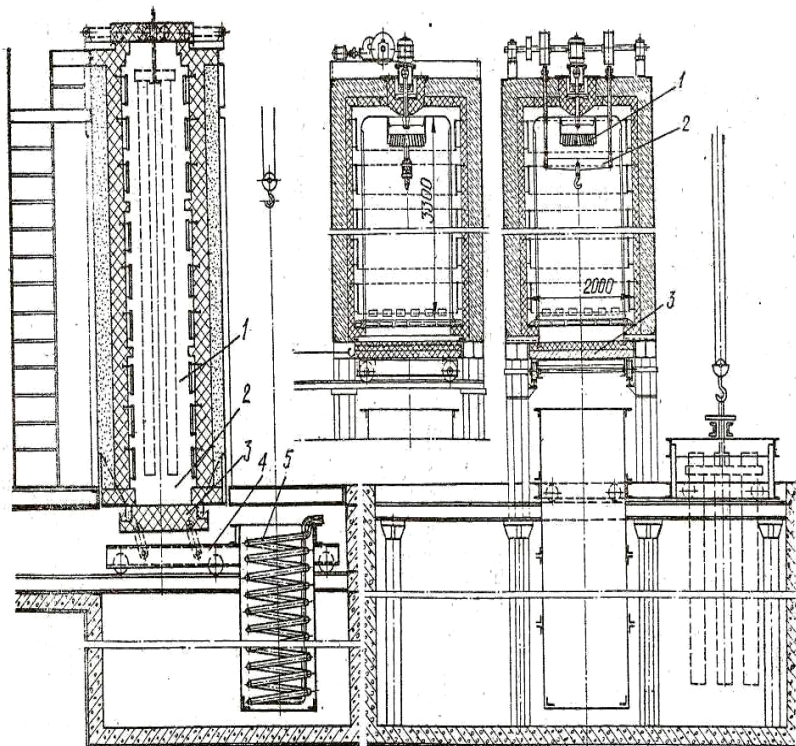


Рисунок 7 - Вертикальні печі із завантаженням деталей знизу для нагрівання під загартування тонких виробів

Піч для нагрівання під загартування нержавіючих труб до температури 1150°C , діаметр якої дорівнює 1,5 м, а висота 6,7 м, має потужність 450 кВт і середню продуктивність 0,6 т/год. К.к.д. печі становить близько 40%, витрата електроенергії 600 кВт·год/т, маса печі 30 т.

При нагріванні під загартування профілів і листів з алюмінієвих сплавів для підвищення рівномірності нагрівання й скорочення часу операції доцільно створити примусовий рух нагрітого повітря вентилятором 1, розміщеним угорі печі (рис,7 б). Пристосування або кошик з дета-

лями зачіпають гаком і за допомогою підвіски 2 та двох блоків піднімають у піч електричною лебідкою. Дно печі виконане у вигляді футерованого візка 3, що зсувається убік. При нагріванні до 500°C й внутрішніх розмірах 15x3,5x3,5 м піч має потужність 120 кВт, продуктивність 0,5 т/год і к.к.д. 45%. Піч для нагрівання під загартування алюмінієвих листів при корисних розмірах 1,0x1,6x3,0 м має потужність 125 кВт і середню продуктивність 0,35 т/год. Рівномірність розподілу температур становить ± 5 °C.

Більш просту конструкцію має піч із нерухомим гартівним баком 16 (рис.8). Вертикальна піч 5 установлюється над баком 16 на площадці 1, укріпленій на колонах. Бак має діаметр значно більший, ніж піч, і трохи висувається з-під печі. Усередині бака шарнірно укріплені два консольних крани 10 й 13, укосини яких можуть виходити за габарити печі. Садку труб або алюмінієвих профілів, що підлягають нагріванню, занурюють у бак і підвішують на консольний кран 10.

Перед загартуванням садки, що перебуває в печі, дно печі відкривають, опускаючи шток гідравлічного циліндра 9, що виводить кришку 11 з піщаних затворів 12, і зсувають убік візок 8 із днищем двома гідравлічними циліндрами 7. Візок рухається на колесах 17 по балках 14. За допомогою лебідки садка, підвішена на гаку 6, швидко опускається в гартівний бак і встановлюється на консольному крані 13. Гідравлічний циліндр 15 повертає консольний кран; видаючи садку з-під печі. Кран 10 підводить до центра печі нову садку, що піднімають тросом спеціальної лебідки. При цьому днище печі повертається назад.

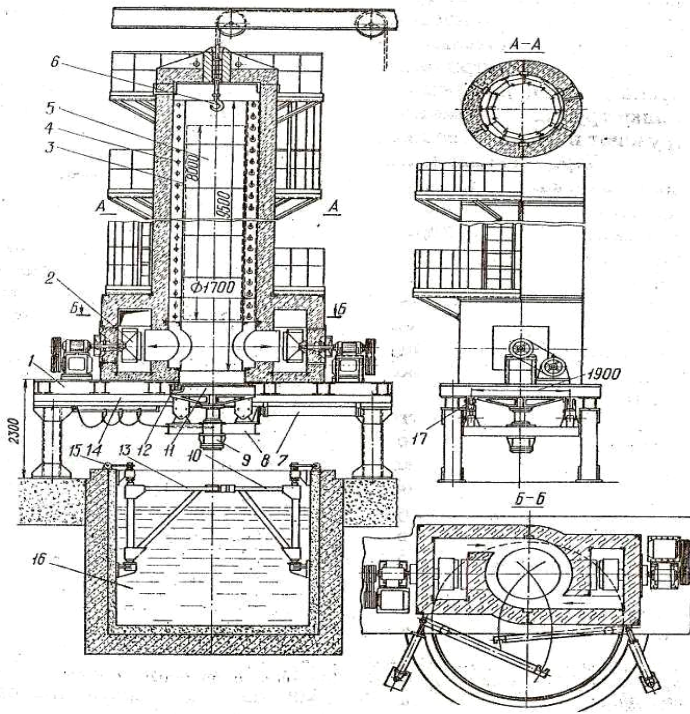


Рисунок 8 - Вертикальна піч для загартування тонких довгих труб і пресованих профілів з алюмінієвих сплавів із примусовою циркуляцією атмосфери

Шахта печі футерована діатомітовим засипанням між двома металевими стінками. На внутрішньому боці циліндра розміщують нагрівальні елементи 4, відділені від робочого простору циліндричним екраном 3. Для підвищення рівномірності нагрівання й поліпшення теплопередачі конвекцією піч внизу має два відцентрових вентилятори 2 продуктивністю по $60000 \text{ м}^3/\text{год}$. Вентилятори відсмоктують повітря знизу робочого простору печі й женуть його нагору між внутрішньою стінкою та екраном 3 через нагрівачі 4. Швидкість нагрітого повітря в робочому просторі печі 20 м/с . Піч з висотою робочого простору 9 м і діа-

метром 1,3 м при нагріванні профілів з алюмінієвих сплавів до температури 505°C має середню продуктивність 1 т/год при потужності 400 кВт. Одноразова садка становить 2 т, тривалість нагрівання – 2 год.

Для поліпшення використання об'єму вертикальної печі застосовують спеціальні жаростійкі підвіски (рис. 9). При нагріванні однієї деталі вона кріпиться на якір (а), чотириох - на хрестовину (б), а більшої їхньої кількості - на зірочках (в). Деталі можуть розміщатися в кілька рядів по висоті печі. Кожен ряд має окрему зірочку. Маса підвіски з деталями часто становить 30-50 т і вище, тому не можна спирати садку на піч або на її кожух. Необхідно використати для цієї мети розсувні балки на спеціально встановлених колонах. Для підвищення рівномірності нагрівання підвіску іноді обертають за допомогою електродвигуна.

Великі вертикальні печі можна використовувати при достатній висоті цеху й наявності потужних кранових засобів. Для обслуговування вертикальних печей по їхній висоті через 2,5-3,0 м обладнують спеціальні робочі площадки.

Останнім часом для термічної обробки, спікання молібдену й окисів широко використовуються вертикальні вакуумні печі. На рис.11 наведені типові конструкції таких печей.

Малі печі (рис.10 а) мають футерівку у вигляді металевих екранів 5, розміщених на водоохолоджуваних бічних стінках 3, поді 6 і кришці 2. Остання притискається до кожуха печі через гумову прокладку болтами або ексцентриковими затискачами. Для завантаження печі кришку знімають краном або таллю. Нагрівальні елементи 1 кріпляться на спеціальному металевому циліндрі 4.

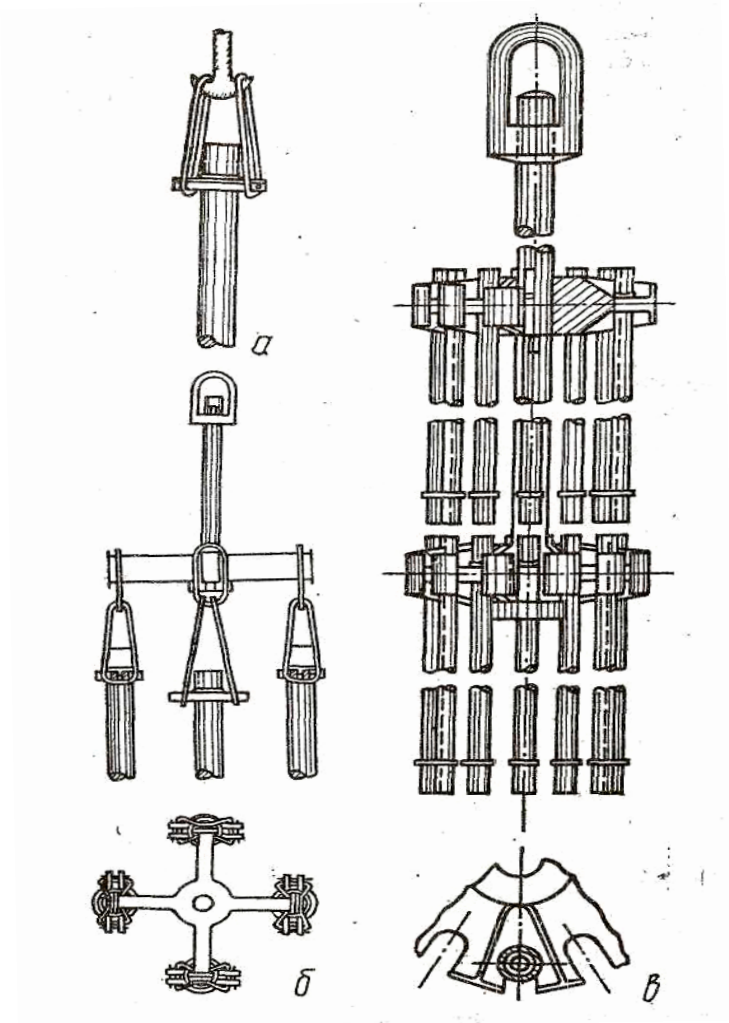


Рисунок 9 - Кріплення деталей для нагрівання у вертикальних печах

У більших печах (рис.10 б) екрани часто замінюють керамічною футерівкою 5. Склепіння 2, що підвішується до кришки печі 1, при завантаженні садки піднімається й відводиться убік спеціальним механізмом. Нагрівальні елементи 7 зигзагоподібної форми розміщують на внутрішній частині футерівки водоохолоджуваних стінок 3 склепіння й поду печі.

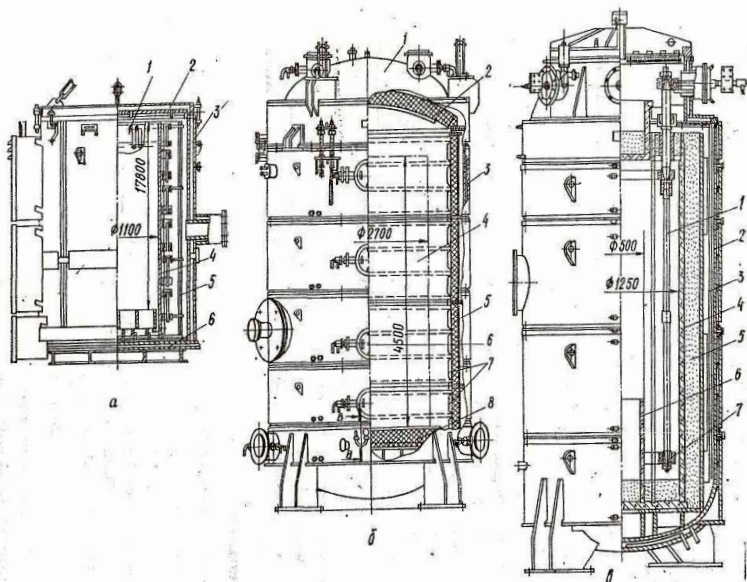


Рисунок 10 – Вакуумні вертикальні (шахтні) електричні печі заводів ЕТО типу СШВ

У поді їх укладають на фасонні плити 8. Виводи нагрівачів проходять через люки герметизованих патрубків 6, охолоджуваних водою. Кожух печі збирають із декількох секцій 4, які з'єднують болтами через гумові прокладки. Кришка має вакуумне гумове ущільнення й підтискається до кожуха спеціальними болтами.

Високотемпературні (2000-2500°C) вакуумні печі (рис.10 в) виконуються з нагрівачами у вигляді графітових або молібденових стрижнів 1, замкнених у нижній частині кільцем 7. Футерівка печі складається із графітових кілець 4 і теплоізоляції 5, виготовленої із графітової крихти. Між футерівкою і зовнішнім водоохолоджуваним кожухом 2 додатково влаштовують ряд металевих екранів 3. Садку встановлюють на підставку 6.

Унизу вакуумних малих шахтних печей іноді розміщують камеру охолодження, у якій деталі можна гартувати струменем азоту В камері встановлюють підйомник, що опускає нагріту садку в камеру охолодження.

3.1 Визначення продуктивності печі СШЦМ-6.12/10

3.1.1 Вихідні дані для розрахунку

Температура цементації $t_{ц}$.

Глибина цементаційного шару 0,7-0,8 мм.

Цементації піддаються валики розміром $d \times l$ мм.

Матеріал валиків - сталь 20.

Піч працює безупинно.

3.1.2 Розрахунок укладання деталей у печі

Кошик печі СШЦМ-6.12/10 має розміри $\varnothing 600 \times 300$ мм.

На дно кошика встановлюється решітка з отвором для проникнення цементаційного газу. Валики встановлюються вертикально у відведені для них осередки на спеціальних підставках в n рядів. В одному ряді укладається N деталей. Відстань між валиками становить 20-25 мм. Оскільки в піч можна помістити два кошики, кількість валиків, що завантажують одночасно, буде

$$a = N \cdot n \cdot 2 \text{ деталей.}$$

Вага одного валика $q = \rho \cdot V$ кг, $\rho = 7900$ (кг/м³),

$$V = \pi \cdot r^2 \cdot \ell \text{ (м}^3\text{)}.$$

Вага садки $G = q \cdot a$ (кг).

Вага кошиків 80 кг.

3.1.3 Розрахунок часу нагрівання деталей і визначення продуктивності печі

Критерій Bi для заданої деталі

$$Bi = \frac{S \cdot \alpha}{\lambda},$$

де S - радіус, або половина товщини деталі, м;

λ - коефіцієнт теплопровідності сталі.

Для сталі 20-29, 19 Вт/м·К (або 105 кДж/м·година·К);

α - розрахунковий сумарний коефіцієнт тепловіддачі [1].

При $Bi < 0,25$ час нагрівання заданих деталей може бути визначено за формулою нагрівання тонких тіл, тобто

$$\tau = \frac{G \cdot c}{\alpha \cdot F} \cdot 2,3 \lg \left(\frac{t_{cp} - t_{mn}}{t_{cp} - t_{mk}} \right),$$

де c - середня теплоємність сталі 20 - 0,71 кДж/кг·°С;

t_{cp} - температура середовища (печі), °С, t_{cp} ;

t_{mn} - температура металу початкова, °С, $t_{mn} = 20$ °С;

t_{mk} - температура металу кінцева;

G - вага садки, кг;

F - активна поверхня садки, м²;

$$F = \pi \cdot da \cdot \left(\ell + \frac{d}{2} \right), \text{ м}^2$$

α - сумарний коефіцієнт тепловіддачі визначається за формулою [1]

$$\alpha = 0,13 \cdot C_{np} \left(\frac{T}{100} \right)^3 + 41,9 \quad \text{кДж/м}^2 \cdot \text{год} \cdot \text{К},$$

а наведений коефіцієнт випромінювання - за формулою [1]

$$C_{np} = \frac{20,5}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{F_1}{F_2} \cdot \left(\frac{1}{\varepsilon_2} - 1\right)} \text{кДж/м}^2 \cdot \text{година} \cdot \text{К}^4 (\text{Вт/м}^2 \cdot \text{К}^4),$$

де ε_1 - ступінь чорноти оброблюваної сталі дорівнює 0,3 [1];

ε_2 - ступінь чорноти вогнетривкої кладки, беремо рівною 0,75;

F_1 - поверхня металу, що сприймає тепло

$$F_1 = \pi \cdot da \cdot \left(\ell + \frac{d}{2}\right)$$

F_2 - внутрішня поверхня печі - з паспорта печі 5,24м²

Оскільки деталі встановлюються в кошиках одна на іншу, можна взяти коефіцієнт укладання $K_u = 2$. У цьому разі час нагрівання дорівнює 2 години.

Час витримки при цементації для одержання шару глибиною 0,7-0,8 мм за довідковими даними [3] становить 2,8 години. Час завантаження й вивантаження беремо 0,2 години [1].

Таким чином, повний цикл процесу - час нагрівання деталей, тривалість витримки (цементації) і час на завантаження й вивантаження деталей - становить

$$P = 2\tau_n + 2,8 + 0,2, \text{ година.}$$

Продуктивність печі при цьому буде

$$A = G/P \text{ кг/годину.}$$

Цей технологічний параметр печі використовується при розрахунку потрібного устаткування в цеху або на термічній дільниці відповідно до програми й типу виробництва.

4 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

4.1 Вивчити пристрій печі СШЦМ-6.12/10 та її конструктивні особливості.

4.2 Ознайомитися з допоміжним і додатковим устат-

куванням цеху, призначеним для обслуговування печі.

4.3 Вивчити будову пристосувань і способи укладання деталей у печах типу СШЦМ-6.12/10 при цементації.

4.4 Провести розрахунок продуктивності печі у відповідності з пунктом 3.1 й завданням для кожної бригади.

5 ЗМІСТ ЗВІТУ

Звіт повинен містити:

- мету роботи;
- короткі теоретичні відомості й технічну характеристику печі СШЦМ-6.12/10;
- виконані розрахунки й оцінку отриманих результатів;
- висновки про зроблену роботу.

6 ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ ПІД ЧАС ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Студенти зобов'язані строго виконувати правила техніки безпеки під час роботи з електроустаткуванням, нагрівальними пристроями й печами, підйомно-транспортними механізмами відповідно до проведеного інструктажу та інструкцій.

7 ПИТАННЯ ТЕСТОВОГО КОНТРОЛЮ

7.1 До якого типу печей належить піч СШЦМ-6.12/10?

7.2 Розшифруйте індексацію печі, запропоновану викладачем.

7.3 Яке додаткове устаткування використовується при обслуговуванні печей типу СШЦМ?

7.4 Яке допоміжне устаткування застосовується при термообробці виробів у печах типу СШЦМ?

7.5 Назвіть номенклатуру деталей, оброблюваних у

шахтних (вертикальних) печах типу СШЦМ.

7.6 Назвіть способи захисту нагрівальних елементів шахтних печей опору від атмосфери робочого простору печі й механічних впливів.

7.7 Яким чином підвищити рівномірність нагрівання й скоротити час термообробки при низьких температурах у печах типу СШЦМ?

7.8 Устаткування для загартування, що застосовується в шахтних печах.

7.9 Пристосування для кріплення й укладання деталей, яке застосовується в печах типу СШЦМ.

7.10 Устаткування для завантаження й вивантаження садки, яке застосовується в шахтних печах.

8 ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ ІЗ ВИЗНАЧЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ

Номер бригади	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Температура цементациі	920	922	923	924	925	927	928	929	930
Діаметр валика d, м	0,06	0,085	0,068	0,075	0,08	0,088	0,078	0,070	0,065
Довжина валика l, м	0,2	0,18	0,15	0,14	0,12	0,10	0,16	0,17	0,13
Температура печі t, °С	950	960	970	980	990	1000	990	980	970
Число деталей N, шт.	35	30	37	32	30	25	32	33	34
Число рядів, n	1	1	2	2	2	3	2	1	2

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Рустем С.Л. Устаткування й проектування термічних цехів. -М.: Машгиз, 1962. -С. 206-235.
2. Соколов К.Н. Устаткування термічних цехів, -Київ-Донецьк: Вища школа, 1984. -С.71-83.
- 3.Шмиков А.А. Довідник терміста. -М.: Машгиз, 1961. -392 с.

Лабораторна робота 5

«Визначення конструктивних особливостей, умов роботи індукційних нагрівальних установок та контрольні завдання при виконанні СРС»

1 МЕТА РОБОТИ

1.1 Ознайомитися з видами установок для нагрівання струмами високої частоти.

1.2 Вивчити особливості й умови роботи індукційних нагрівальних установок.

1.3 Набути навичок розрахунку індукційного нагрівання.

2 УСТАТКУВАННЯ, ПРИЛАДИ ТА МАТЕРІАЛИ

2.1 Індукційна нагрівальна установка з ламповим генератором ВЧГ 1-60/0,066.

2.2 Прилади контролю установки.

2.3 Набір індукторів для індукційного нагрівання.

3 ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ

3.1 Індукційне нагрівання

Індукційне нагрівання здійснюється за рахунок теплової дії вихрових струмів Фуко, що виникають при індукціюванні потоку. Феромагнітні матеріали нагріваються також теплом, що виділяється при перемагнічуванні. Деталь поміщають у спеціальну котушку (індуктор), виконану з мідної трубки й охолоджувану водою. Індукційні струми, що виникають у деталі, відтискуються до її поверхні. Це явище називають поверхневим ефектом. Глибина проник-

нення магнітного потоку в метал приблизно визначається за формулою Штейнметца

$$\delta = \sqrt{\frac{\rho}{\mu f}} \quad (1)$$

де δ - глибина проникнення магнітного потоку у виріб, см; ρ - електричний питомий опір, Ом·см; μ – магнітна проникність металу, Гс/Е; f – частота струму, Гц. Значення δ збільшується із зменшенням f і μ , підвищенням ρ і не залежить від розмірів деталі. При поверхневому нагріванні застосовують струми високої частоти.

З підвищенням температури металу ρ зростає, а μ зменшується, тому глибина проникнення струму у виріб збільшується. Для сталі μ різко зменшується при нагріванні вище точки магнітного перетворення ($A_2=780^\circ\text{C}$), коли $\mu = 1$ Гс/Е при температурі 20°C $\mu = 100-150$ (табл.1). Підставивши у формулу (1) $\rho = \rho_t = 10^{-4}$ Ом·см і $\mu=1$, для сталі запишемо

$$\delta_t \approx \frac{50,3}{\sqrt{f}}.$$

Глибина проникнення струму при «гарячому режимі» може бути взята за глибину нагрівання, тому що в цьому шарі виділяється основна частина енергії (до 90%).

При індукційному нагріванні струмами високої частоти різниця температур поверхневих нагрітих шарів і внутрішніх холодних доходить до 900°C і вище, однак тріщини в металі не утворюються. Епюра напруг у поверхневому шарі при індукційному нагріванні аналогічна до епюри напруг, одержуваної у разі нагрівання тіл зовнішнім джерелом тепла, але величина напруг значно нижча. Це пояснюється тим, що при великому перетині ненагрітих внутрішніх шарів зусилля, що припадають на одиницю перетину, невеликі.

Таблиця 1 - Глибина проникнення індукційних струмів у сталі та міді залежно від частоти струму

Метал	Температура, °С	$\rho, \text{ Ом}\cdot\text{см}\cdot 10^4$	$\mu, \text{ Гц/Е}$	Глибина проникнення, см при частоті, Гц				
				електромережі	Звуковий		радіочастоті	
					50	2000	10000	100000
Сталь 0,5%С	15	0,18	100	0,30	0,05	0,021	0,007	0,002
	850	1,10	1	7,40	1,17	0,530	0,166	0,053
Мідь	15	0,017	1	0,90	0,15	0,07	0,020	0,007

Якщо частоту струму зменшити, глибина проникнення, а отже і глибина нагрівання збільшаться. У цьому разі можуть утворитися тріщини, викликані внутрішніми напруженнями, які з'являться в результаті різниці температур по перетину. При наскрізному індукційному нагріванні різниця температур по перетину стає мізерно малою й тому тріщини не утворюються.

Необхідну частоту струму залежно від форми виробу й товщини шару можна визначити за такими формулами:

$$f \approx \frac{5 \cdot 10^4}{\delta^2}$$

для деталей простої конфігурації;

$$f \approx \frac{5 \cdot 10^5}{\delta^2}$$

для деталей складної конфігурації;

$$f \approx \frac{2 \cdot 10^6}{\delta^2}$$

для шестерень із модулем більше 8.

Перевищувати одержані частоти не рекомендується, тому що в протилежному разі час нагрівання збільшиться й різко знизиться к.к.д. Необхідна частота струму залежить

також від діаметра деталі. Нижче наведені рекомендовані частоти для деталей різного діаметра, що нагріваються:

Діаметр деталі, см	15	7-15	5-12
Частота струму, Гц	50	500	1000
Діаметр деталі, см	3-8	2-4	< 3
Частота струму, Гц	2500	8000	60000 і вище

Практично для індукційного нагрівання при термічній обробці використовуються три частоти:

1 $f = 60000-80000$ Гц - для деталей діаметром менше 3 см при джерелі струму від лампових генераторів. Більші частоти не застосовують, вони входять у діапазон радіочастот.

2 $f = 1000-10000$ Гц - для деталей діаметром 3- 15 см і товщині нагрітого шару понад 2 мм. Використовуються машинні або тиристорні перетворювачі.

3 $f = 50$ Гц - для поверхневого нагрівання деталей діаметром більше 15 см, а також для наскрізного нагрівання з живленням від мережі.

Найбільша потужність в індукційній установці доводиться на початковий момент, коли питомий електричний опір металу, що нагрівається, незначний. У міру нагрівання споживана потужність зменшується. У сталі навантаження різко падає після втрати нею магнітних властивостей.

3.2 Установки для нагрівання струмами високої частоти

Гартівна установка для нагрівання струмами високої частоти складається з генератора с.в.ч., знижувального трансформатора, конденсаторних батарей, індуктора, верстата (іноді верстат замінюється пристосуванням для приведення в рух деталі або індуктора) та апаратури, що несе допоміжну службу (реле часу, реле керування подачею га-

ртівної рідини, сигнальних, блокувальних і регулювальних пристроїв).

У розглянутих установках застосовуються такі генератори с.в.ч.: при середніх частотах (500-10000 Гц) машинні генератори, а останнім часом статичні перетворювачі тиристорного типу; при високих частотах (60000 Гц і вище) лампові генератори. Перспективним видом генераторів є іонні перетворювачі, так звані екситронні генератори. Вони дозволяють звести втрати енергії до мінімуму.

На рис. 1 зображена схема установки з машинним генератором. Крім машинного генератора 2 і двигуна 3 зі збудником 1, установка містить знижувальний трансформатор 4, конденсаторні батареї 6 та індуктор 5. Трансформатор знижує напругу до безпечної (30-50 В) й одночасно збільшує силу струму в 25-30 разів, доводячи її до 5000-8000 А.

У машинних генераторах середніх частот застосовуються обертові перетворювачі індукторного типу, ротор і статор яких мають зубці. При обертанні ротора під кожним зубцем статора чергуються зубці й впадини ротора й у робочій обмотці з'являється електрорушійна сила. Частота генеруючого струму залежить від швидкості обертання й числа зубців ротора $Z_{рот}$. При використанні асинхронних двигунів із частотою обертання 50 частота вироблюваного генератором струму $f = 50$ Гц. З конструктивних міркувань оптимальна частота розглянутих генераторів 500- 8000 Гц.

Часто генератор і привідний мотор з'єднуються в одному корпусі у вигляді двопідшипникової установки. Це дає можливість спростити конструкцію й краще використовувати мідь і залізо, а за наявності водяної сорочки зменшити шум від роботи машини. На вільному кінці вала генератора встановлюється збудник для живлення обмотки збудження генератора. Машинні генератори мають потужність 55-1500 кВт.

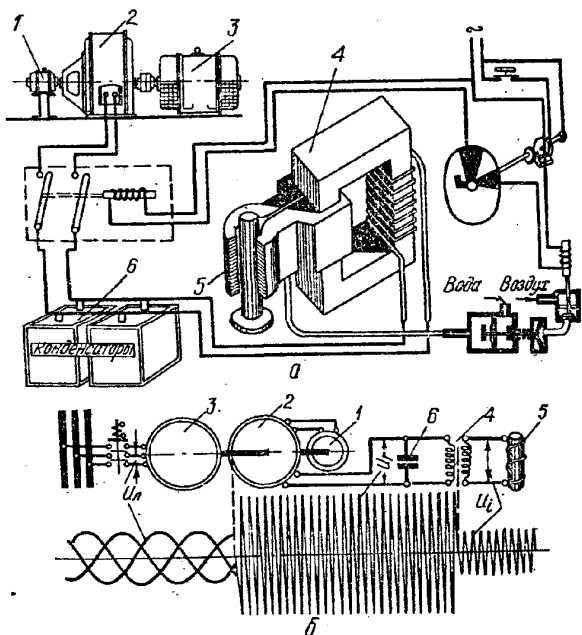


Рисунок 1 - Схема високочастотної установки з машинним генератором: а-загальна; б - принципова

Установка з тиристорним перетворювачем (рис.2) складається з таких основних частин: випрямляча 1 на керованих тиристорах; фільтра 2, що вмикає індуктивність L і конденсатора C для згладжування пульсації вихідної напруги випрямляча; інвертора 3, що перетворює постійний струм у змінний заданої частоти (він зібраний на чотирьох керованих тиристорах за схемою однофазного мостового автономного інвертора, що працює в режимі переривчатого входного струму). Індуктор 5 під'єднується через трансформатор 4 у діагональ вентильного мосту $T1 - T4$ і $T3 - T2$. Якщо відкриті вентилі $T1$ і $T2$, струм проходить у напрямку 1, а при відкритих вентиліях $T3$ і $T4$ у зворотному напрямку. Комунікація вентилів здійснюється ємністю C_k .

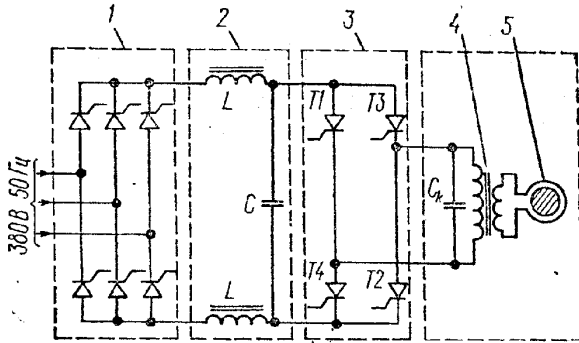


Рисунок 2 - Схема установки з тиристорним перетворювачем

Імпульси на тиристри подаються поперемінно зі зміщенням на 180° по діагоналі інвертора. Оскільки ємність C_k увімкнена паралельно первинній обмотці трансформатора 4, то на вторинній його обмотці виникає змінна напруга із частотою комунікації вентиля 500-2500 Гц. Конденсатор C_k також компенсує реактивну потужність індуктора, підвищуючи коефіцієнт потужності $\cos\phi$. Напівпровідникові тиристорні перетворювачі частоти в порівнянні з машинними мають більш високий к.к.д. (на 10-15 %), менші габарити, з їхньою допомогою можна регулювати робочу частоту, створюючи оптимальні режими нагрівання. Тиристорні перетворювачі мають потужність 160-3000 кВт і частоту 4000-10000 Гц. Здійснюється випуск тиристорних перетворювачів потужністю 1600, 2400 і 3200 кВт, частотою 1000 Гц, заснованих на паралельно увімкнених перетворювачах ТПЧ- 800-1,0.

У табл. 2 наведені дані із машинних і тиристорних перетворювачів.

Принципова типова схема установки з ламповим генератором представлена на рис.3. Вона складається з підвищувального трансформатора 1, випрямляча 2 з анодним трансформатором, генераторного блока 3, коливального контура з індуктором 4 і системи керування. Напруга жи-

вильної мережі $U_1=220/380$ В із частотою 50 Гц підвищується трифазним трансформатором 1 до $U_2= 8000-10000$ В. Ця напруга подається на газотронний випрямляч 2, що перетворює змінний струм високої напруги в постійний напругою U_3 . При цьому напруга підвищується ще в 1,35 раза. На схемі показані шість газотронів, з'єднаних за схемою Гретца. Випрямна дія газотронів заснована на властивості інертних газів, що наповнюють газотрон, пропускати струм тільки в одному напрямку. Випрямний струм надходить у ламповий генератор, що працює на самозбудженні, з автотранспортним сітчастим зв'язком, у якому постійний трансформатор знижує напругу U_4 до U_3 . Остання використовується в індукторі для нагрівання під загартування.

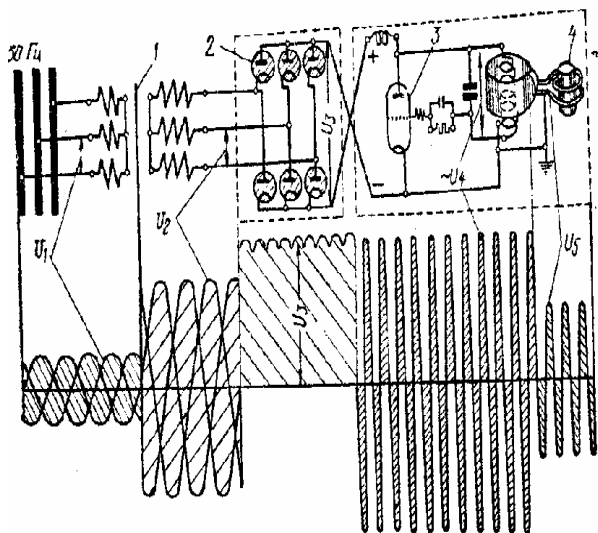


Рисунок 3 – Принципова схема установки з ламповим генератором

Таблиця 2 - Основна технічна характеристика перетворювачів с.в.ч. для середніх частот

Тип перетворювача	Дані перетворювача				Струм збудження		Дані двигуна				К.к.д. агрегату, %	Маса, т	Габарити агрегату, м
	потужність, кВт	частота, Гц	сила струму, А	напруга, В	напруга, В	сила струму, А	Тип	потужність, кВт	напруга, В	частота обертання, с ⁻¹			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Машинні													
ПВ-100-8000	110	8000	$\frac{150}{300}$	$\frac{375}{750}$	180	4	ВДЭ-130-4	130	$\frac{220}{380}$	50	63	5,0	1,53x1,12x1,06
ВГО-500-8000	565	8000	740	750	65	12	АТМ-850-2	850	$\frac{3000}{6000}$	50	84	18,0	5,34x1,75x1,19
ПВ-50-2500	55	2500	$\frac{75}{150}$	$\frac{375}{750}$	60	4	ВДЭ-60-2	60	$\frac{220}{380}$	50	70	1,8	1,20x1,00x0,80
ПВ-100-2500	110	2500	$\frac{150}{300}$	$\frac{375}{750}$	60	8	ВДЭ-125-2	125	$\frac{220}{380}$	50	72	3,0	1,42x0,83x,83
ВГО-250-2500	250	2500	$\frac{175}{350}$	$\frac{750}{1500}$	65	4,4	КАМО-350-2	35	$\frac{3000}{6000}$	50	80	6,0	4,00x1,50x1,00
ВГО-500-2500	500	2500	$\frac{330}{665}$	$\frac{750}{1500}$	65	4,4	АТМ-700-2	700	$\frac{3000}{6000}$	50	75	7,2	5,42x1,50x1,20
ВГВФ-1500-2500	1580	2500	$\frac{1054}{2108}$	$\frac{750}{1500}$	70	15	СТМ-3500-2	2500	6000	50	88	57	7,69x2,25x1,48
ВГО-500-1000	500	1000	$\frac{333}{666}$	$\frac{750}{1500}$	90	7	АТМ-700-2	700	$\frac{3000}{6000}$	50	88	13	4,77x1,70x1,10
ВГО-1500-1000	1500	1000	$\frac{1054}{2220}$	$\frac{750}{1500}$	90		СТМ-3500-2	2500	6000	50	88	34	7,52x2,25x1,50
ВГО-1500-500	1500	500	$\frac{1110}{2220}$	$\frac{750}{1500}$	100	149	ДА3-1616-4	2000	6000	25	88	21	7,28x2,00x1,66
Тиристорні													
ТПЧ-160-4,0	160	4000	-	2x400	Витрата охолоджуваної води, м ³ /год.								-
ТПЧ-250-2,4	250	2400	-	800	Те саме								-
ТПЧ-500-2,4	500	2400	1200	800	Те саме								4,0x6,8x2,2
ТПЧ-800-1,0	800	1000	-	800	Те саме								-

Основним елементом генератора є трьохелектродна електронна лампа, що має катод, анод і керуючу сітку. Електрони з розжареної нитки спрямовуються на анод під впливом позитивного потенціалу, що задається на ньому. Наявність третього електрода - сітки - дає можливість управляти електронним потоком. При подачі на неї високочастотних коливань через лампу буде проходити пульсуючий струм із частотою, що дорівнює частоті струму на сітці. Якщо отриманий пульсуючий струм направити в резонансний контур, настроєний на частоту пульсації, у ньому виникнуть потужні високочастотні коливання. Аноди генераторних ламп мають потребу в постійному охолодженні водою (витрата води близько 0,4 л/хв на 1 кВт).

Частота f у лампових генераторах визначається параметрами анодного контура (індуктивністю L і ємністю C) і може бути обчислена за формулою

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}.$$

На термічній ділянці цеху ВАТ «СНВО ім. Фрунзе», що входить до філії кафедри СумДУ, розміщена індукційна нагрівальна установка з ламповим генератором ВЧГ1-60/0,066. Вона має технічну характеристику, наведену в табл.3.

За умовами техніки безпеки напруга на клеммах індуктора не повинна перевищувати 30-80В.

Для одержання такої напруги у високочастотних установках застосовують знижувальні трансформатори. В установках з ламповим генератором використовують повітряні трансформатори, які одночасно є частиною коливального контура.

В установках з машинним генератором застосовують трансформатори із залізним магнітним ланцюгом. Ці трансформатори необхідно охолоджувати. Витрата води на

Таблиця 3 - Технічна характеристика лампових установок, які застосовують для загартування с.в.ч.

Тип установки	Потужність, кВт	Частота, МГц	Тип генераторної лампи	Габарити установки, м	Витрати Охолодженої води, л/хв.
ВЧГ 1-60/0,066	60	0,066	ГУ-66А	2,7х1,5х2,3	25
ВЧГ 1-100/0,066	100	0,066	ГУ-68А	3,0х1,8х2,3	40
ВЧГ 1-160/0,066	160	0,066	ГУ-68А	4,0х3,0х2,3	60

охолодження становить $0,005 N_r$, л/хв (N_r - потужність генератора, кВт).

Індукційні нагрівальні установки внаслідок розсіювання магнітного потоку дають дуже низький коефіцієнт потужності $\cos\phi$, особливо при високих частотах. Для його підвищення реактивну складову струму компенсують, умикаючи в ланцюг конденсаторні батареї. Коефіцієнт потужності при цьому досягає значення, близького до одиниці. Конденсатори, крім компенсації реактивної потужності, утворюють резонансний контур, що підвищує силу струму в три й більше рази. У ламповому генераторі конденсаторні батареї одночасно служать частиною коливального контура. В установках з ламповим генератором застосовуються слюдяні або керамічні конденсатори з ультрафарфору або тиканиду; останнім часом успішно використовуються металеві конденсатори з рідким азотом, що перебуває під тиском 1,2 МПа. В установках з машинними генераторами застосовуються паперово-масляні конденсатори з водяним охолодженням, розмір їхніх банок дорівнює 360х140х350 мм.

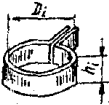
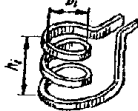
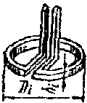
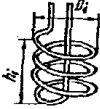
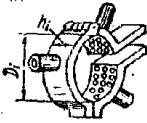

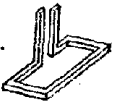


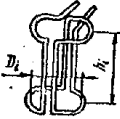
Індукційне нагрівання металу роблять за допомогою індуктора, що є важливою частиною високочастотної установки, значною мірою визначає к.к.д. установки й

форму загартованого шару. Він являє собою котушку з мідної трубки, частіше прямокутного перетину. Необхідно, щоб товщина стінки трубки була більше глибини проникнення струму в мідь. Для індуктора, охолоджуваного водою протягом усього періоду роботи, товщина стінок повинна становити 1,5-2,0 мм. При спреїєрному загартуванні, коли вода в трубки надходить тільки в момент охолодження, товщину стінок активної частини індуктора беруть 4-6 мм, індуктор у цьому разі роблять литим або зварюють із окремих штирів. Щоб уникнути замикання витків індуктора, їх ізолюють азбестовим шнуром, просоченим рідким склом.

У табл. 4 дані типові конструкції індукторів із зазначенням сфери їхнього застосування. При конструюванні циліндричних індукторів варто враховувати, що висота одновиткової котушки не повинна перевищувати її радіус, а багатовиткової котушки - двох-трьох діаметрів. Кількість води, необхідна для охолодження індуктора, дорівнює 1 л/с на 100 кВт потужності генератора. При безперервно-послідовному загартуванні часто за індуктором розміщують спеціальне спреїєрне кільце або на нижньому боці індуктора роблять (під кутом 45°) ряд отворів для виходу води.

Поверхнєве загартування різноманітних деталей одержало широке поширення. Це викликало потребу у великій кількості гартівних верстатів, установок і пристосувань. На багатьох підприємствах гартівні верстати й установки повністю автоматизовані, і нагрівання деталей с.в.ч. введено до виробничого потоку.

Таблиця 4 - Типи та конструкції індукторів

Одновиткові індуктори	Сфера застосування	Багатовиткові індуктори	Сфера застосування
	Нагрівання зовнішньої поверхні циліндричних деталей		Нагрівання зовнішньої поверхні циліндричних деталей
	Нагрівання внутрішньої поверхні циліндричних деталей		Нагрівання внутрішньої поверхні циліндричних деталей
	Роз'ємний індуктор для нагрівання шийок колінчатих валів і подачі охолоджувальної рідини через отвір на внутрішній поверхні		Нагрівання зовнішньої поверхні конічних деталей
	Нагрівання скоб складної форми і плит методом переміщення		Нагрівання плит і площин методом переміщення
	Нагрівання одного зуба шестерні з модулем $m > 6$ при послідовній обробці «Зуб за зубом»		Одночасне нагрівання бокової поверхні і торців циліндричних деталей при обертанні їх навколо вертикальної осі

Примітка: при одночасному нагріванні й необхідній висоті нагрітого шару $h_{дет}$ висота індуктора $h_{інд} = h_{дет} + 2a$ (де a – повітряний зазор між деталлю й індуктором), а діаметр індуктора $D_{інд} = D_{дет} + 2a$ і $D_{інд} = D_{дет} - 2a$ відповідно для випадків нагрівання зовнішніх і внутрішніх поверхонь.

3.3 Розрахунок індукційного нагрівання

Потужність індукційної установки залежить від часу нагрівання. Чим менший час нагрівання, тим потрібна більша потужність. Маса металу, що нагрівається, наближено визначається глибиною проникнення δ -струмів у метал при гарячому режимі. Для деталей циліндричної форми маса нагрівної частини

$$G = \frac{\pi}{4} [d^2 - (d - 2\delta)^2] \cdot l \cdot \gamma \cdot 10^{-3} \quad (2)$$

Тут d - діаметр, см; l - довжина деталі, см; γ - щільність, кг/см³.

З огляду на теплові втрати знаходимо необхідну кількість тепла

$$Q_T = \frac{Q_M}{\eta_T} = \frac{Gc_T(t_{M.K} - t_0)}{\eta_T},$$

де η_T - термічний к.к.д., що залежить від частоти струму. У низькочастотних установках з тепловою ізоляцією й центрувальними пристроями $\eta_T = 0,85 - 0,90$. Для звукових частот (2000-10000 Гц) $\eta_T = 0,40$, а для радіочастот (60-80 кГц) η_T визначається ступенем перегріву поверхні в порівнянні із заданою температурою: при перегріві на 100°C $\eta_T = 0,12$; при перегріві на 200°C $\eta_T = 0,21$. В індукційних установках з футерованою котушкою індуктора коефіцієнт η_T коливається в межах 0,8-0,75, точніше він може бути підрахований за формулами втрат тепла стінками. Для циліндричного робочого простору й одношарової футеровки.

$$Q_{CT} = \frac{2\pi l(t_{вн} - t_{зовн})}{\frac{1}{\lambda} \ln \frac{d_{306}}{N12}}, \quad (3)$$

де l - довжина футерівки, м; $t_{\text{вн}}$ і $t_{\text{зовн}}$ - температура внутрішньої й зовнішньої футерівки, причому $t_{\text{вн}} - t_{\text{м.к.}}$, $t_{\text{зовн}}$ знаходиться з розрахунку втрат тепла через стінку (варто врахувати, що тепло, одержуване зовнішньою стінкою футерівки, передається воді, що охолоджує трубки індуктора); $\lambda=0,8-1,0$ Вт/(м·К) – коефіцієнт теплопровідності футерівки з шамоту; $d_{\text{зовн}}$ і $d_{\text{вн}}$ – зовнішній і внутрішній діаметр футерівки, м. Товщина футерівки береться рівною 20-25 мм. Термічний к.к.д. індуктора $\eta_{\text{T}}=Q_{\text{M}}/(Q_{\text{M}}+Q_{\text{СТ}})$. Середня потужність, необхідна для нагрівання металу (враховуючи теплові втрати),

$$N_{\text{T}}=Q_{\text{T}}/\tau, \quad (4)$$

де τ - час нагрівання деталі, с.

Час поверхневого нагрівання с.в.ч. часто вибирається в межах 4-12 с; приблизно його можна визначити, виходячи з питомої потужності генератора $N_{\text{пит.г}}$, що при одночасному нагріванні беруть 0,8-1,1 кВт/см² поверхні виробу, а при безперервно-послідовному 1, 3-1,5 кВт/см²:

$$\tau = \frac{Q_{\text{T}}}{(0,60 - 0,65)N_{\text{пит.г}} \cdot F} \quad (5)$$

Тут $N_{\text{пит.г}}$ – питома потужність генератора, кВт/год²; F -поверхня деталі, що нагрівається, см².

Залежність мінімального часу наскрізного індукційного нагрівання заготовок від діаметра й частоти при температурному перепаді між поверхнею й серцевиною наприкінці нагрівання 100°С показана на рис.4. Для випадку нагрівання труб замість діаметра варто брати подвоєну товщину стінки.

Потужність генератора нагрівальної установки

$$N_{\text{Г}}=N_{\text{T}}/\eta_{\text{ел}},$$

де $\eta_{\text{ел}}$ - електричний к.к.д. установки. Для високочастотних установок з машинним генератором $\eta_{\text{ел}} = \eta_{\text{інд}} \cdot \eta_{\text{тр}}$. К.к.д. котушки індуктора $\eta_{\text{інд}} = 0,75-0,80$, а к.к.д. трансформатора з залізним сердечником $\eta_{\text{тр}} = 0,80-0,85$, тоді $\eta_{\text{ел}} = 0,60-0,65$.

Для високочастотних установок з ламповим генератором $\eta_{\text{ел}} = 0,55-0,60$, а для індукційної установки промислової частоти $\eta_{\text{ел}} = 0,65-0,75$. При безперервно-послідовному методі індукційного нагрівання висоту індуктора беруть 20-30 мм, а швидкість його руху в межах 3-5 мм/с.

Потужність конденсаторних батарей N_c повинна дорівнювати реактивній потужності, створюваній гартівною системою. У першому наближенні $N_c = 1,5N_r / \cos\phi$, а ємність конденсаторних батарей

$$C_{\text{конд}} = \frac{N_c \cdot 10^9}{2\pi f U^2}.$$

Тут U - напруга батареї, кВ.

Коефіцієнти потужності $\cos\phi$ для машинних генераторів, що працюють на частотах 2500 і 10000 Гц, відповідно дорівнюють 0,3 і 0,15. Для лампових генераторів при частотах 60-80 кГц $\cos\phi = 0,05$. Втрати енергії в паперово-масляних конденсаторах становлять 0,2-0,25%, у керамічних і слюдяних 0,05-0,10%, тому, незважаючи на малий $\cos\phi$ і більшу реактивну потужність, вони невеликі.

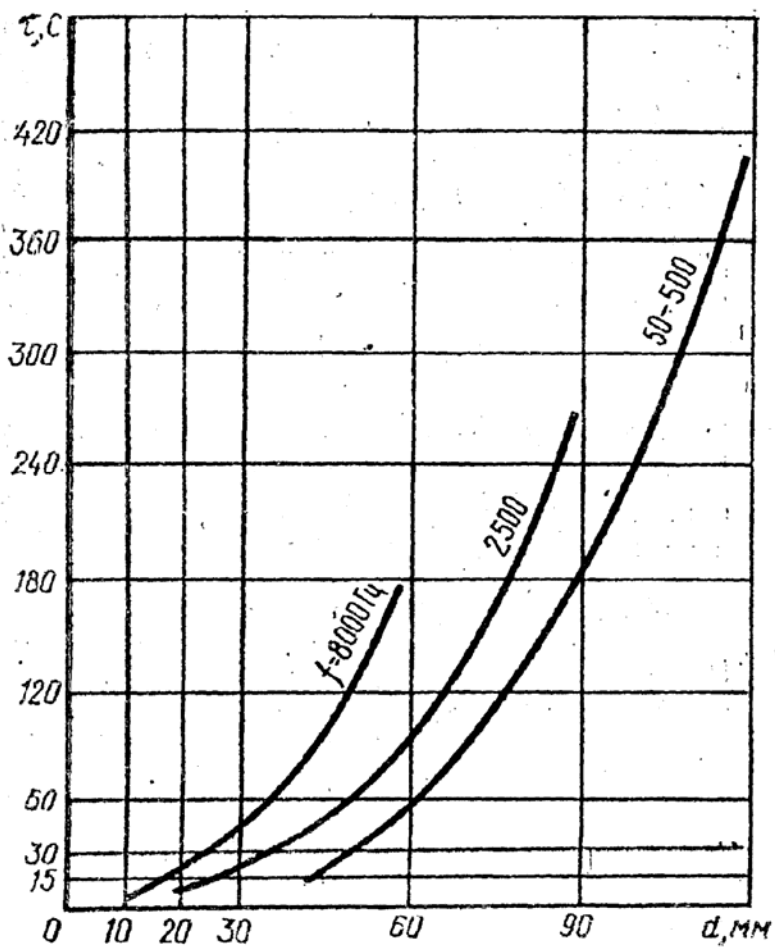


Рисунок 4 - Залежність часу наскрізного нагрівання заготовок індукційним способом від їх діаметра та частоти струму

3.4 Приклади розрахунку індукційного нагрівання

Приклад 1 Визначити час нагрівання с.в.ч. шийок вала ротора центрифуги на ламповому генераторі ВЧГ1-60/0,066 (потужність 60 кВт частотою 66 кГц) у цеху на філії кафедри.

Діаметр шийки вала $d = D$, мм, висота індуктора $l = L$, мм, глибина загартування $\delta = \Delta$, мм. Використовується безперервно-послідовне нагрівання при температурі $t_{м.к} = T^{\circ}\text{C}$ (перегрів 100°C). Температура в цеху $t_0 = 20^{\circ}\text{C}$. При перегріві на 100°C термічний к.к.д., індукційної установки беруть $\eta_T = 0,12$. Електричний к.к.д. індукційної установки з ламповим генератором $\eta_e = 0,6$. Час нагрівання шийки вала ротора визначимо за формулою

$$\tau = \frac{Q_T}{N_T \cdot \eta_T \cdot \eta_e},$$

де Q_T - споживана кількість тепла, Дж.

Вона дорівнює

$$Q_T = \frac{G \cdot C \cdot (t_{м.к.} - t_0)}{\eta_T},$$

де G - маса частини вала, що нагрівається, кг,

$$G = \frac{\pi}{4} [d^2 - (d - 2\delta)^2] \cdot l \cdot \gamma \cdot 10^{-3}.$$

Тут d – діаметр, см;

l – довжина вала, см;

γ – щільність, $\text{кг}/\text{см}^3$;

C_T – теплоємність матеріалу вала;

$C_T = 0,67 \text{ Дж}/\text{кг} \cdot ^{\circ}\text{C}$;

$N_T = 60 \text{ кВт}$ – потужність лампового генератора.

При безперервно-послідовному нагріванні й висоті індуктора $l_{\text{інд}} = 20 \text{ мм} = 2 \text{ см}$ необхідно забезпечити таку швидкість його руху, $\text{мм}/\text{с}$:

$$V_{ind} = \frac{\ell_{ind}}{\tau}.$$

Приклад 2 Визначити потужність установки для наскрізного індукційного нагрівання заготовки діаметром $d_{заг} = D$, мм і довжиною $\ell_{заг} = L$, мм, масою M , кг, до температури $t_{м.к.} = T^{\circ}\text{C}$ при продуктивності N , кг/год. Температура в цеху $t_0 = 20^{\circ}\text{C}$.

Найбільш підходящу частоту й мінімальний час нагрівання вибираємо з рис.4. Одночасна садка індуктора розраховується за формулою

$$n = \frac{N \cdot \tau}{M},$$

де N - продуктивність установки, кг/год;

τ - мінімальний час нагрівання, год;

M - маса заготовки, кг.

Товщина футерівки котушки індуктора беруть 20 мм, зазор між індуктором і деталлю - 5 мм. Тоді діаметр індуктора

$$d_{ind} = d_{заг} + 25 \cdot 2, \text{ мм.}$$

Довжина котушки індуктора береться більшою довжини деталей, що нагріваються, на величину діаметра індуктора

$$\ell_{ind} = n \cdot \ell_{заг} + d_{ind}, \text{ мм.}$$

Тепло, необхідне для нагрівання заготовок, Дж,

$$Q_M = G \cdot C_t(t_{м.н} - t_0),$$

де $G = M \cdot n$ - маса садки, кг;

C_t - питома теплоємність заготовки, Дж/кг $\cdot^{\circ}\text{C}$;

$$C_t = 0,7 \text{ Дж/кг}\cdot^{\circ}\text{C};$$

$t_{м.н}$ - температура нагрівання заготовки, $^{\circ}\text{C}$;

$t_0 = 20^{\circ}\text{C}$ - температура в цеху.

Термічний к. к. д. індуктора беремо $\eta_T = 0,8$. Тоді необхідна кількість тепла з урахуванням теплових втрат, Дж,

$$Q_T = Q_M : \eta_T.$$

При часі нагрівання τ секунд і електричному к. к. д. $\eta_{\text{эл}} = 0,8$ одержимо потужність, що підводиться до індуктора, Вт,

$$N_{\text{інд}} = \frac{Q_T}{\tau \cdot \eta_{\text{эл}}}.$$

За необхідності зменшити потужність індукційної установки варто збільшити час нагрівання.

4 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

4.1 Вивчити конструкційні особливості нагрівальної установки з ламповим генератором ВЧГ1-60/0,066.

4.2 Ознайомитися із приладами контролю установки індукційного нагрівання.

4.3 Вивчити типи й конструкції індукторів, що застосовуються при обробці деталей на індукційній нагрівальній установці.

4.4 Зробити розрахунок індукційного нагрівання відповідно до завдання п.8 та прикладу п. 3.4.

5 ЗМІСТ ЗВІТУ З ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ

Звіт повинен містити:

- мету роботи;
- необхідні теоретичні відомості;
- виконані розрахунки й оцінку отриманих результатів;
- висновки про зроблену роботу.

6 ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ ПІД ЧАС ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Студент зобов'язаний строго виконувати правила техніки безпеки під час роботи з електроустаткуванням і нагрівальними пристроями, підйомно-транспортними механізмами відповідно до проведеного інструктажу.

7 ПИТАННЯ ТЕСТОВОГО КОНТРОЛЮ

7.1 Дайте класифікацію нагрівальних установок залежно від використовуваного джерела тепла.

7.2 Що є джерелом теплового впливу при індукційному нагріванні?

7.3 Від яких факторів залежить глибина проникнення магнітного потоку в метал?

7.4 Струми яких частот використовуються для індукційного нагрівання при термічній обробці?

7.5 Назвіть основні установки для нагрівання струмами високої частоти.

7.6 Назвіть основні елементи гартівної установки для нагрівання струмами високої частоти.

7.7 За допомогою якого пристрою виробляється індукційне нагрівання металу і що він собою являє?

7.8 Від яких параметрів залежить потужність індукційної установки?

7.9 Яким чином враховуються теплові втрати при розрахунку необхідної кількості тепла в індукційній установці?

7.10 Що таке електричний к.к.д. індукційної установки?

8 КОНТРОЛЬНІ ЗАВДАННЯ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ ІНДУКЦІЙНОГО НАГРІВАННЯ ПІД ЧАС ВИКОНАННЯ СРС

Завдання 1 Визначити час нагрівання струмами високої частоти шийок вала ротора центрифуги за таких умов:

Номер бригади	Діаметр шийки вала D, мм	Глибина загартування Δ, мм	Кінцева температура заготовки, t°С	Спосіб нагрівання	Висота індуктора, мм
1	60	2,0	900	Неперервно-послідовний	20
2	80	2,3	910	-<<-	20
3	100	2,8	920	-<<-	20
4	120	3,0	890	-<<-	20
5	140	3,2	900	-<<-	20

Завдання 2 Визначити потужність устаткування для наскрізного індукційного нагрівання заготовки за таких умов:

Номер бригади	Діаметр заготовки D, мм	Довжина заготовки L, мм	Маса заготовки M, кг	Температура нагрівання T, °С	Продуктивність N, кг/рік
1	50	200	5	1100	600
2	60	150	6	1200	400
3	70	120	7	1000	300
4	80	100	8	900	500

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Рустем С.Л. Устаткування й проектування термічних цехів.-М.: Машгиз, 1962. -С.334-357.
2. Соколов К.Н. Устаткування термічних цехів. - Київ-Донецьк: Вища школа, 1984. -С.157-186
3. Соколов К.Н., Коротич І.К. Технологія термічної обробки й проектування термічних цехів. -М.: Металургія, 1988. -С.233-245.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ТА РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Соколов К.Н. Оборудование термических цехов. – К.; Донецк: Вища школа, 1984. – 328 с.
2. Расчет нагревательных и термических печей: Справочник /Под ред. В.М. Тымчака и В.Л. Гусовского. – М.: Металлургия, 1983. – 482 с.
3. Соколов К.Н., Коротич И.К. Технология термической обработки и проектирование термических цехов. – М.: Металлургия, 1988. – 384 с.
4. Долженков И.Е., Стародубов К.Ф., Спасов А.А. Основы проектирования термических цехов. –К.: Высшая школа, 1986. -215 с.
5. Технологические измерения и контрольно-измерительные приборы /А.М. Беленький, В.Ф. Бердышев, О.М. Блинов, В.А. Морозов. – М.: Металлургия, 1981. – 264 с.
6. Шохорі А.В., Чумак М.Г. Термічна обробка металів: Навчальний посібник. –К.: Либідь, 2002. -511 с.
7. Дорофеев К.П. Основы автоматизации производства и вычислительная техника в термических цехах. – Л.: Машиностроение, 1978. -320 с.
8. Вишняков Д.Я., Ростовцев Г.Н., Неустроев А.А. Оборудование, механизация и автоматизация в термических цехах. –М.: Металлургия, 1964. -467 с.
9. Металлургическая теплотехника. Учебник для вузов /Кривандин В.А., Мاستрюков Б.С., Арутюнов В.А. и др. –М.: Металлургия, 1986. -426 с.
10. Автоматизированные системы управления технологическими процессами. Справочник /Под ред. Грищенко А.З., Грищук В.П. и др. –Киев: Техника, 1983. -351 с.

Навчальне видання

Будник Анатолій Федорович

**ТИПОВЕ ОБЛАДНАННЯ ТЕРМІЧНИХ
ЦЕХІВ ТА ДІЛЬНИЦЬ**

Навчальний посібник

Дизайн обкладинки А.Ф.Будника
Редактори: Н.А.Гавриленко, П.М.Єфіменко
Комп'ютерне верстання В.Д.Вінницької

Підп. до друку 29.05.2008.
Формат 60x84/16. Папір ксероксний. Гарнітура Times New Roman Cyr.
Друк офс.
Ум. друк. арк. 12,32 Обл-вид. арк. 8,94.
Тираж 100 пр. Вид. № 268.
Зам. №

Видавництво СумДУ при Сумському державному університеті
40007, м. Суми, вул. Р.-Корсакова,2
Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до Державного
реєстру ДК № 3062 від 17.12.2007.
Надруковано у друкарні СумДУ
40007, Суми, вул. Р.-Корсакова,2.