

2 НАГРІВАННЯ МЕТАЛУ

2.1. Технологія нагрівання металу

Способи нагрівання металу

Спосіб нагрівання визначається характером передачі тепла металові. Якщо тепло передається металові за рахунок зіткнення його поверхні з яким-небудь середовищем (газоподібної, рідкої або твердої), нагрітої до більш високої температури, то такий спосіб нагрівання є *непрямим*.

Якщо тепло акумулюється безпосередньо в самому металі (у поверхневому шарі або у всьому перетині), а температура навколишнього середовища залишається нижче температури металу, то такий спосіб нагрівання називається *прямим*. Наприклад, нагрів металу в печах, розплавлених солях, а також в електроліті є непрямим нагріванням; нагрів металу, що відбувається при пропущенні через нього електричного струму (контактний, індукційний), є *прямим* нагріванням.

Таким чином, усе різноманіття способів нагрівання може бути зведено тільки до двох різновидів, що відрізняється по своїй фізичній істоті. Передача тепла металу при непрямому нагріванні відбувається за рахунок конвекції і випромінювання. Кількість тепла, передана металові випромінюванням, у звичайних печах складає близько 20% усього тепла, у печах швидкісного нагрівання - близько 80%. Поширення тепла в металі від його поверхні усередину відбувається за рахунок теплопровідності.

Кількість тепла, що акумулює в металі при прямому нагріванні - електричним струмом, може бути визначене за законом Джоуля – Ленца

$$Q = 0,24I^2 Rt, \quad (2.1)$$

де Q - кількість тепла;

I - сила струму, що протікає по металу за даних умов нагрівання;

R - електричний опір металу;

t - час протікання струму.

Швидкість і час нагрівання

Продуктивність нагрівального пристрою залежить від швидкості нагрівання металу і за інших рівних умов зростає зі збільшенням швидкості нагрівання. Однак для якості металу небайдуже, з якою швидкістю робити нагрівання. При повільному нагріванні крім зниження продуктивності може виникнути брак металу через знеуглецьовуються, окислювання. При швидкому нагріванні через надмірно велику різницю температури між поверхнею і серединою заготівлі можуть з'явитися тріщини.

Таким чином, існує максимальна швидкість нагрівання, при якій буде забезпечена висока якість виробу при найменших витратах; цю швидкість

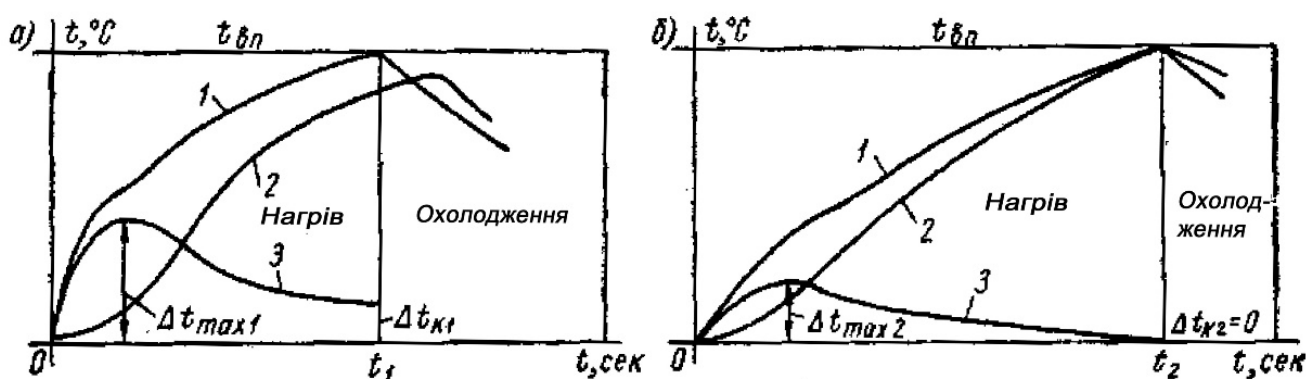
називають припустимою. Швидкість нагрівання може бути виражена величиною, що показує підвищення температури металу в одиницю часу (град/сек, град/хв), або часом нагрівання, що приходить на кожну одиницю товщини (хв/см, сек/см).

Швидкість нагрівання залежить від ряду факторів, головними з яких є: перепад температур по перетині заготівлі, форма і розмір поперечного перерізу заготівлі, теплофізичні властивості металу, спосіб нагрівання.

Для з'ясування впливу перепаду температур на швидкість нагрівання розглянемо графіки (рис. 2.1), що показують зміну температури поверхні і центра однієї і тієї ж заготівлі при нагріванні її до верхньої межі температурного інтервалу ($t_{г.н.}$) з різною швидкістю і наступним остиганням на повітрі.

З графіків видно, що процес нагрівання може бути розбитий на два періоди. Перший характеризується максимальним перепадом температур по перетину заготівлі Δt_{max} ; другий - кінцевим перепадом температур Δt_k , коли поверхня заготівлі досягла температури верхньої межі $t_{г.н.}$.

Перший період є найбільш небезпечним з погляду утворення тріщин, тому що в цей період виходить максимальний перепад температур між поверхнею і центром заготівлі Δt_{max} (рис. 2.1, а і б, крива 3). Перепад температур Δt_{max} викликає появу в заготівлі теплових напруж, що є наслідком різного теплового розширення зовнішніх і центральних шарів заготівлі. Поверхневі шари заготівлі, як більш нагріті, прагнуть розширитися, збільшитися в обсязі, чому перешкоджають внутрішні, більш холодні шари.



а – при наявності перепаду Δt_{k1} ; б – при відсутності перепаду $\Delta t_{k2} = 0$: 1 – температура поверхні; 2 – температура центра; 3 – різниця температур між поверхнею і центром; t – час нагрівання заготівлі

Рисунок 2.1 – Графіки нагрівання однієї і тієї ж заготівлі з різною швидкістю

У результаті цього в поверхневих шарах виникають стискаючі напруги, а у внутрішніх - що розтягують. Величина цих напруж тим більше, чим більше різниця температур і чим нижче загальна температура металу, при якій вони виникли, тобто чим менше час, протягом якого крива 3 досягла свого максимуму (рис. 2.1, а і б). Якщо в заготівлі, що нагрівається, малися залишкові внутрішні

напруження, то при швидкому нагріванні останні, що додається до теплового напруження, можуть перевищити міцність металу і викликати утворення в ній тріщин.

Крім зазначених напруг при нагріванні можуть виникати структурні напруги, що є результатом структурних перетворень, що супроводжуються зміною обсягу фаз. Однак ці напруги виникають при таких температурах, при яких метал має досить високу пластичність, і тому не представляють небезпеки.

Тому що різні метали і сплави мають різну пластичність і різні швидкості протікання процесу рекристалізації, то в кожному конкретному випадку деформування необхідно досвідчене визначення припустимого перепаду температур. Установлено, що при обробці тиском мало- і середньовуглецевих сталей перепад температур Δt_k в 100°C впливає на якість металу.

При нагріванні з великою швидкістю в інтервалі температур від 20° до $500-700^\circ\text{C}$, теплові напруги можуть привести до руйнування металу. Однак цю обставину варто враховувати тільки при нагріванні заготовок великих перетинів (зливків) з високовуглецевих і високолегованих сталей. Заготівлі невеликих перетинів (до $100-150$ мм у діаметрі) з будь-якої сталі можна нагрівати до $500-700^\circ\text{C}$ з будь-якою технічно можливою швидкістю.

Розмір поперечного перерізу позначається на величині теплових напруг, що тим більше, чим більше перетин. Отже, зі збільшенням поперечного перерізу заготівлі швидкість нагрівання повинна зменшуватися.

Основними характеристиками теплофізичних властивостей, що впливають на швидкість нагрівання металу є: теплопровідність, теплоємність, питома вага, електричний опір і магнітна проникність. Вплив теплоємності, теплопровідності і питомої ваги може бути враховано за рахунок *температуропровідності*, що характеризує швидкість поширення температури в металі.

Коефіцієнт температуропровідності визначається з виразу:

$$\alpha = \frac{\lambda}{c\gamma}, \quad (2.2)$$

де α – коефіцієнт температуропровідності в $\text{м}^2/\text{год}$;

λ – коефіцієнт теплопровідності в $\text{ккал}/\text{м}\cdot\text{год}\cdot\text{град}$ ($\text{Вт}/\text{м}\cdot\text{град}$);

c – питома теплоємність в $\text{ккал}/\text{кг}\cdot\text{град}$ ($\text{Дж}/\text{кг}\cdot\text{град}$);

γ – питома вага в $\text{кг}/\text{м}^3$ ($\text{н}/\text{м}^3$).

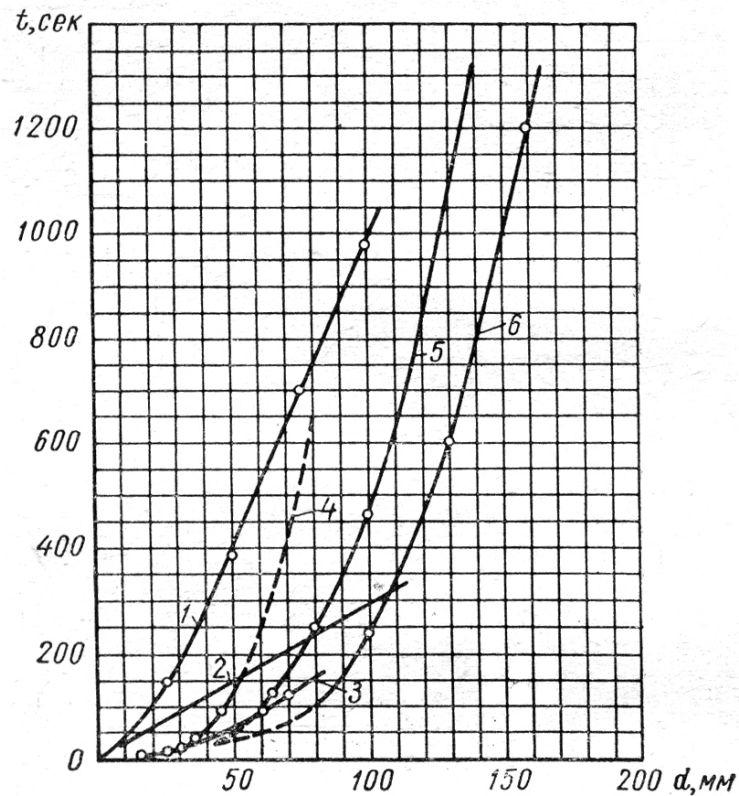


Рисунок 2.2 – Графік часу нагріву заготовок із вуглецевих сталей до температури 1200°C при різноманітних способах нагріву

При електричних способах нагрівання на поширення тепла в металі крім температуропровідності вплив на електроопір і магнітну проникність, тому що вони характеризують кількість заготівлею енергії, що поглинається, при протіканні по ній електричного струму.

Виходячи з поняття теплофізичних властивостей, неважко встановити, що їхній вплив позначається в остаточному підсумку на різниці температур у перетині заготівлі, що нагрівається. Очевидно, що чим більшої температуропровідністю володіє метал, тим за інших рівних умов перепад температур буде менше і метал буде швидше нагріватися. Також очевидно і те, що чим більшим електроопором володіє метал, тим більше виділиться в ньому тепла при протіканні по ньому електричного струму. Час нагрівання металу залежить від тих же факторів, що й швидкість. З графіків, приведених на рис. 2.2, а і б видно, що для однієї й тієї ж заготівлі час нагріву t тим менше, чим більше кінцевий перепад температур Δt_k , і при $\Delta t_{k1} > \Delta t_{k2}$ $t_1 < t_2$.








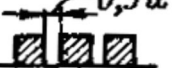

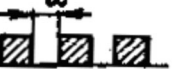

Розташування заготовель	α	Розташування заготовель	α
	1		1
	1		1,4
	2		4
	1,4		2,2
	1,3		2
			1,8

Рисунок 2.3 – Значення коефіцієнта α

На практиці для визначення часу нагрівання часто користуються досвідченими даними у виді різного роду таблиць і графіків. Як приклад на рис. 2.3 приведений графік для визначення часу нагрівання заготовок (до температури 1200°) з вуглецевих сталей при різних способах нагрівання.

Час нагрівання в печах заготовок і злитків більш великого перетину може бути визначене по емпіричній формулі:

$$\tau = k\alpha d\sqrt{d}, \quad (2.3)$$

де k - коефіцієнт, що враховує теплофізичні властивості металу, для низьковуглецевих і низьколегованих сталей рівний 10, для високовуглецевих і високолегованих сталей 20;

d - діаметр або сторона квадрата заготівлі в м;

α - коефіцієнт, що враховує розташування заготовок на поду печі; значення його приведені на рис. 2.3.

Час нагріву високовуглецевих і високолегованих сталей складається з обох періодів: від кімнатної 850° та від 850 до 1200°С; для першого періоду коефіцієнт k приймається 13,3, для другого – 6,7.

Перегрів і перевитрата

Нагрівання сталі до температури вище верхньої межі температурного інтервалу супроводжується інтенсивним зростанням зерна. Це явище називається *перегрівом*. Перегрів також може з'явитися в результаті тривалої витримки металу і при більш низькій температурі. Перегрів знижує механічні властивості сталі, особливо ударну в'язкість. У більшості випадків перегрів

можна виправити відпалюванням або нормалізацією, однак у випадках, коли зерна сталі втрачають здатність до рекристалізації, перегрів не виправимо.

При нагріванні до температури, що значно перевищує верхню межу вище температури перегріву, інтенсивне окислювання металу відбувається не тільки з поверхні, але і по границях зерен з частковим їх оплавленням; при цьому зв'язок між зернами порушується і метал при деформації руйнується. Це явище зветься перепаленням. Перепалення є непоправним видом браку. Теоретично в сталі зі змістом вуглецю 0,2% перепалення настає при температурі 1470°, а в сталі зі змістом вуглецю 1,1% - при 1180°C.

На рис. 2.4 зображена мікроструктура відпаленої (а), перегрітої (б) і перепаленої сталі (в), травленої трипроцентним розчином HNO_3 у спирті.

Окислювання та позбавлення вуглецю сталі

При високих температурах відбувається активна хімічна взаємодія сталі з навколишніми газами (пічними і повітрям), у результаті чого її поверхневі шари окислюються і знеуглецьовуються. Окислювання поверхні металу називається *угаром*. Окислений шар являє собою окалину, що утвориться в результаті дифузійного процесу окислювання заліза і домішок, що входять до складу сталі. Окалина складається з окислів заліза у виді з'єднань Fe_2O_3 , Fe_3O_4 і FeO , що розташовуються як би в трьох шарах. Окиснювачами сталі крім кисню є вуглекислий газ, сірчистий газ і водяна пара.

Активне утворення окалини при нагріванні сталі починається при температурі близько 700°C і зростає особливо швидко при температурах вище 900°C. На величину угару впливають: температура нагрівання, атмосфера робочого простору нагрівального пристрою, тривалість нагрівання, хімічний склад металу, а також форма і розміри заготовлі, що нагрівається.

Угар наносить величезні збитки виробництву, тому що крім безповоротних утрат металу окалина при деформації вдавлюється в поверхню металу, викликаючи необхідність збільшення припусків на механічну обробку.

Окалина, будучи досить твердою речовиною, подібним до наждаку, прискорює в 1,5 - 2 рази знос інструмента (штампів, бойків, прокатних валків та ін.), крім того, взаємодіючи з подом і футеровкою нагрівальних пристроїв, піддає їх руйнуванню.

Можна вважати, що приблизно близько 5% сталі, що виплавляється в нашій країні губиться на окалину при нагріванні в прокатних, ковальських і термічних цехах.

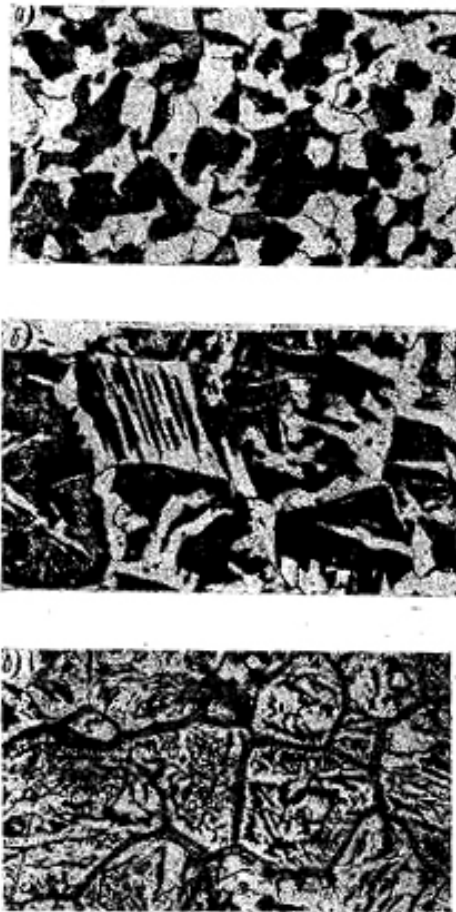


Рисунок 2.4 – Мікроструктура сталі 40×200

У зв'язку з заподіюваним угаром збитком необхідно приймати заходи для його зниження й усунення його впливу на інструмент. З цією метою застосовуються методи прискореного нагрівання, нагрівши металу в покриттях, нагрів у нейтральній, відновній, або захисній атмосфері. Однак повний захист металу в процесі нагрівання здійснити не вдається, тому перед пластичною деформацією застосовуються різні способи видалення окалини: при прокатці - попереднє пропущення злитків між рифленими валками, що збивають окалину; при штампуванні - попереднє осаджування заготовок або гідроочищення, що полягає в короткочасній дії на заготівлю декількома струменями води під тиском 100-150 ат (10-15 Мн/м²).

Позбавлення вуглецю сталі, що поширюється - в окремих випадках на глибину до 1,5 - 2 мм, полягає у вигоранні вуглецю з її поверхневих шарів (за рахунок взаємодії його з киснем і воднем).

Принципово позбавлення вуглецю залежить від тих же факторів, що і угар, тому заходи, що знижують угар, одночасно зменшують позбавлення вуглецю.

2.2. Нагрівальні пристрої

Нагрівальні пристрої можуть бути класифіковані:

- 1) по джерелу енергії на полум'яні печі й електричні установки;
- 2) по призначенню - на пристрої ковальські, прокатні і термічні;
- 3) за принципом дії - з періодичним завантаженням і з безперервним завантаженням (методичні). По перші заготівлі в процесі нагрівання залишаються нерухомими, завантаження і видача їх відбувається переважно через те ж усадочне вікно, по друге - заготівля в процесі нагрівання пересуваються від місця завантаження до місця видачі.

У свою чергу, полум'яні печі підрозділяються додатково:

- а) по роду застосовуваного палива - на печі, опалювальні твердим, рідким або газоподібним паливом;
- б) по способу використання тепла газів, що відходять - на печі рекуперативні і регенеративні.

Полум'яні печі

Для опалення печей застосовується тверде, пилоподібне, рідке і газоподібне паливо. Як тверде паливо використовують кам'яне вугілля, антрацит і кокс із теплотворною здатністю від 3500 до 7000 ккал/кг (14,6-29 МДж/кг). Тверде паливо спалюється на так званих колосникових ґратах, розташованих у топковій камері печі.

Пилоподібне паливо одержують шляхом розмелу різних видів вуглецю і спалюють його за допомогою пальників. Воно може бути використане з великим економічним ефектом (майже в два рази), ніж тверде паливо. Найбільше застосування для печей одержали рідке і газоподібне паливо.

Як рідке паливо застосовується мазут, теплотворна здатність якого складає 10000 ккал/кг (42 МДж/кг). Для спалювання мазуту застосовуються форсунки двох типів - високого (1 - 6 ат) і низького тиску (0,01 - 0,03 ат).

Як газоподібне паливо застосовуються природний газ і штучні гази, що є продуктами газифікації твердого палива або відходами металургійного виробництва. Калорійність природних газів коливається в середньому від 8000 до 10200 ккал/м³ (33,6 - 43 МДж/м³). До числа штучних газів відносяться генераторні, світильні, коксувальні і доменний (колошниковий) гази. Найбільшу калорійність має світильний газ - 4700 ккал/м³ (19,7 МДж/м), найменшу - доменний - 950 ккал/м³ (4 МДж/м). Спалювання газоподібного палива здійснюється за допомогою пальників низького й високого тиску.

Основними показниками, що характеризують ефективність роботи печей є: напруженість поду, к. к. д. і питома витрата палива. Напруженість поду визначає продуктивність печі і виражається відношенням кількості нагрітого до заданої температури металу протягом однієї години на одному квадратному метрі поду

$$H = \frac{G}{F_n}, \quad (2.3)$$

де H - напруженість поду в $\text{кг/м}^2 \cdot \text{год}$;

G - продуктивність печі в кг/год ;

F_n - площа поду в м^2 .

Коефіцієнт корисної дії печі і представляє відношення кількості тепла, витраченого на нагрівання металу, до кількості тепла, яке внесене в піч паливом, підігрітим повітрям і екзотермічною реакцією при угарі металу

$$\eta = \frac{Q}{Q_n} \cdot 100 \%, \quad (2.4)$$

де η – к. к. д. печі в %;

Q – паливо, використане на нагрів металу, в ккал (Дж);

Q_n – паливо, внесене до печі, в ккал (Дж).

Питома витрата палива виражається відношенням кількості використаного палива до ваги нагрітого металу.

Полум'яні печі періодичної дії

У ці печі метал завантажується періодично, окремими партіями (садками). Після того як завантажена партія заготовок нагріється до необхідної температури, їх послідовно виймають з печі і піддають деформації. Як тільки вся партія заготовок оброблена, у піч завантажують наступну і т. п.

До печей періодичної дії відносяться камерні печі, нагрівальні колодязі, щілинні й очкові печі.

Камерні печі підрозділяються на печі з нерухомим і висувним подом, а також на печі з використанням і без використання тепла димових газів, що ідуть. На рис. 2.5 зображена схема найпростішої печі, що широко застосовується в ковальсько-штампувальних цехах. Печі складається з металевого каркаса 2, який викладений усередині вогнетривкою цеглою - шамотом. Стіни 3, подина і стеля 4 утворюють робочий простір печі 5. У бічній стінці розташоване вікно 7 для завантаження і розвантаження печі; воно закривається масивною чавунною заслінкою 9, підвішеної до противаги 10 за допомогою троса, перекинутого через блок 6. Спалювання палива в печі здійснюється за допомогою пальників або форсунок 11. Розпечені гази, що віддали своє тепло металові, поміщеному на під, ідуть через канал 8 в атмосферу.

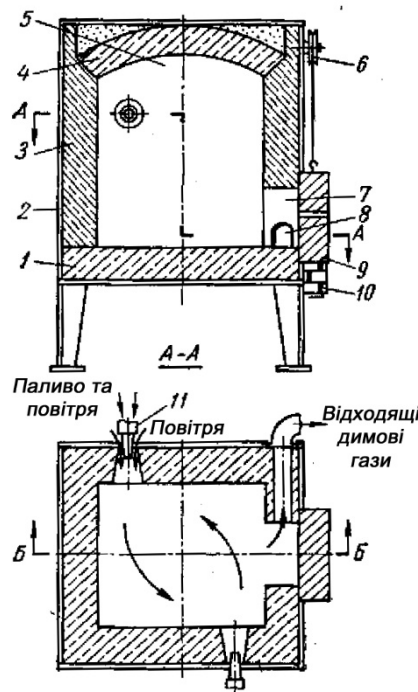


Рисунок 2.5 – Схема конструкції камерної печі

Такі печі будуються з розміром поду від 1 до 6-8 м^2 і більш. Напруженість поду зазначених печей складає 300-400 $\text{кк}/\text{м}^2 \cdot \text{ч}$. Ці печі призначені для нагрівання порівняно невеликих заготовок або злитків. К. к. д. камерних печей без використання тепла газів, що ідуть, 10-15%; питома витрата палива в перерахуванні на умовне складає 0,11-0,3 $\text{кг}/\text{кг}$.

Причиною низького к. к. д. камерних печей описаного типу є великі втрати тепла. Якщо вважати усе фізичне тепло, внесене в піч паливом при його спалюванні, за 100%, то його витрата (в %) розподілиться по наступних статтях.

Корисна витрата тепла на нагрівання металу.....	10-15
Втрати на неповноту згоряння палива	1,5-2
Втрати тепла через щілини і вікна.....	10-15
Втрати тепла на випромінювання кладкою в атмосферу	25
Втрати тепла з газами, що відходять.....	45-50

Але незважаючи на низький к. к. д. камерні печі мають широке застосування в ковальсько-штампувальному виробництві, тому що вони прості по конструкції, легко можуть бути демонтовані і не вимагають високої кваліфікації від обслуговуючого персоналу.

Тепло газів, що відходять, може бути використане для підігріву палива і повітря, необхідного для горіння. Воно використовується в пристроях, називаних *рекуператорами* і *регенераторами* (перші - безперервної дії, другі - періодичного).

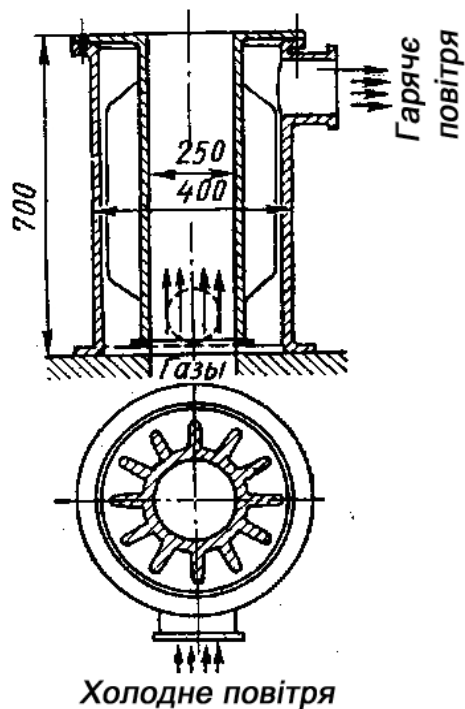


Рисунок 2.6 – Конструкція металічного рекуператора

У рекуператорах холодне повітря пропускається по трубах, які зовні омиваються газами, що відходять. Рекуператори в залежності від температури підігріву повітря бувають металеві (сталеві, чавунні) і керамічні. Найбільше поширення одержали металеві рекуператори (через менші габарити і гарну герметичність), у яких повітря підігрівається до 200-300°C. На рис.2.5 зображений металевий рекуператор однієї з конструкцій, що встановлюється на невеликі камерні печі.

Регенератори являють собою камери, викладені вогнетривкою ґратчастою цеглою. Піч повинна мати два регенератори, що працюють поперемінно; один з регенераторів нагрівається газами, що ідуть, а другий у цей час віддає тепло минаючий через нього холодному повітрю або газів. У регенераторі повітря підігрівається до температури 600-900°C. Регенераторами обладнаються, звичайно, великі печі. К. к. д. печей, обладнаних рекуператорами або регенераторами, підвищується на 10-15%.

Печі з висувним подом являють собою великі камерні печі, обладнані регенераторами. Подом печі є платформа, футерована вогнетривкою цеглою, що переміщається на роliках або на ковзанках. Така конструкція поду дозволяє завантажувати в піч досить великі зливки або заготівлі, вага яких досягає десятків і навіть сотень тон.

Подина висувається за допомогою мостового крана або лебідки. На рис. 2.7 зображена схема поперечного розрізу печі з висувним подом. На подину завантажують краном злиток 2, після чого його заковують у піч. Уздовж причілків печі розташовані пальники або форсунки. Повітря, нагрітий у лівому регенераторі 7, надходить до пальників 3 по обидва боки печі по одній парі

каналів 4. Гарячі гази омивають злиток 2 і по іншій парі каналів 4, розташованих по обидва боки печі, надходять у правий регенератор 7, нагрівають його і йдуть у димохід 8. Коли правий регенератор нагріється (через 20-30 хв), а лівий остудиться, здійснюється перекидання клапанів із тим, щоб правий регенератор працював на нагрівання повітря, а лівий нагрівався газами, що відходять. За допомогою шиберів 6 регулюють кількість поданого до пальників повітря. Для запобігання металевих частин платформи від гарячих газів печі поставлена пісковий затвор 5. Зазначені печі працюють з напруженістю поду, 300-350 кг/м²·год і мають к. к. д. 20-25%. Звичайно печі з висувним подом встановлюються в цехах вільного кування, обладнаних гідравлічними пресами, а також у термічних цехах.

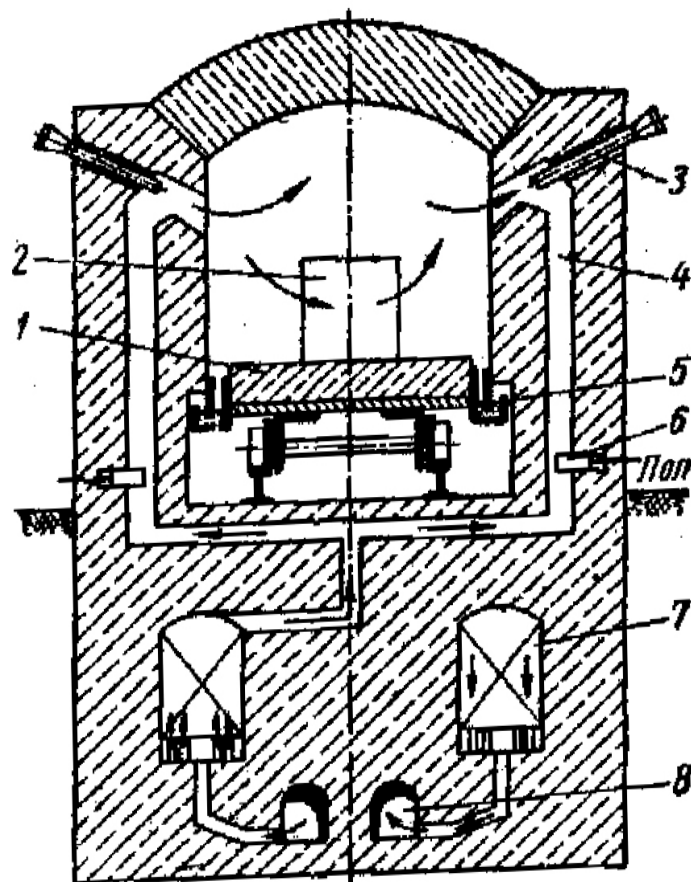


Рисунок 2.7 – Схема поперечного перерізу печі з рухливим подом

Нагрівальні колодязі являють собою шахтні печі, обладнані регенераторами або рекуператорами. Зводом нагрівальних колодязів є кришка, що для завантаження або розвантаження колодязя зрушується убік за допомогою спеціального механізму. Колодязі призначені для нагрівання і підігріву злитків, що мають напіврідку серцевину. У робочий простір колодязів злитки містяться у вертикальному положенні, що забезпечує більш рівномірний їх нагрів і виключає зсув усадочної раковини. Колодязі опалюються найчастіше газами. Як правило колодязі застосовуються в прокатних цехах.

Щілинні й очкові печі, призначені для нагрівання кінців прутків або труб, являють собою порівняно невеликі печі, що застосовуються в штампувальних цехах. У цих печах завантажувальним вікнам надають форму щілин або ряду окремих отворів.

Полум'яні печі безперервної дії.

До печей безперервної дії відносяться методичні печі, у яких заготівля в процесі нагрівання пересувається від місця завантаження до місця видачі.

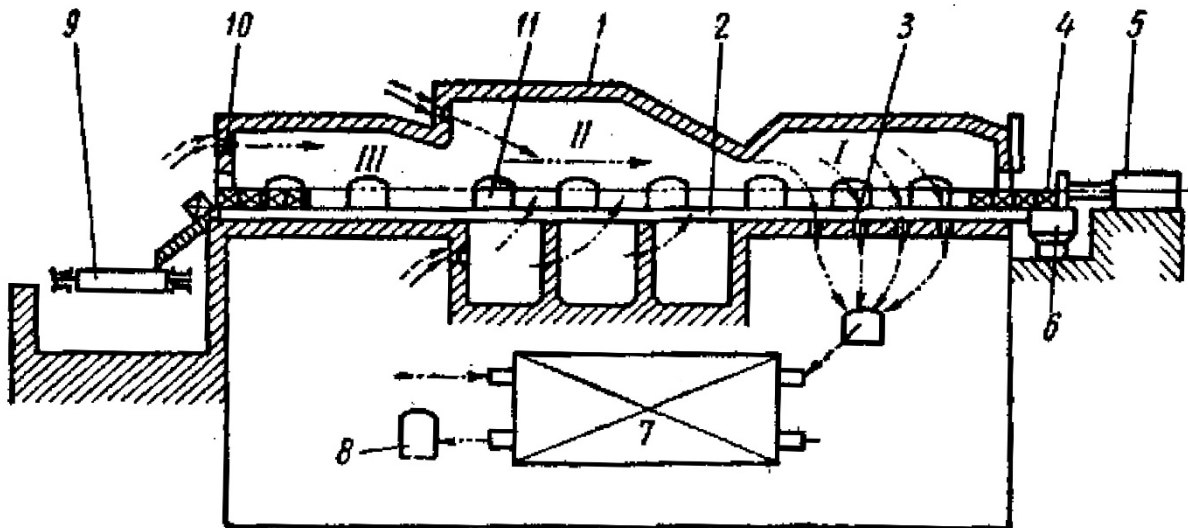


Рисунок 2.8 – Схематичний розріз методичної печі з трьома зонами

Методичні печі мають досить довгий робочий простір (до 30 м і більш), який може складатися з декількох зон із різною температурою. На рис. 2.8 зображений схематичний розріз (зони I, II, III) методичної печі з рекуператором. Печ має фігурну стелю 1, що відокремлює зони друг від друга. Заготівлі 4, подані на завантажувальну площадку 6, проштовхуються в печ за допомогою штовхальника 5. Штовхальники можуть діяти від гідравлічного або механічного приводу. Для зменшення зусилля проштовхування заготівлі переміщуються по сталевих трубах 2, охолоджуваним водою.

Перша зона печі є підігрівальною і має температуру 600-800°C; друга - зона максимального нагрівання (зона зварювальних температур) - має температуру 1250-1350°C (нагрівання заготівлі у цій зоні здійснюється з двох сторін - зверху і знизу); третя зона є зоною витримки, у якій відбувається вирівнювання температури по перетині заготівлі. Температура в третій зоні звичайно на 50-100° вище верхньої межі температурного інтервалу для даного металу.

Печ опалюється паликами або форсунками 10. Гарячі газ рухаються на зустріч заготовкам, омивають їх і через канали 3 у поді першої зони ідуть у рекуператор 7, а відтіля в димовідвід 8. Для спостереження за нагріванням і правильністю розташування заготовок на поду в бічних стінках печі мають вікна 11. Печ починає віддавати нагрітий метал з того моменту, коли заготівлі

розташуються впритул один до одного по всій довжині поду. При переміщенні холодної заготівлі в піч просуваються всі попередні, і нагріта заготівля попадає на рольганг 9, що подає неї до штампувального або прокатного агрегату.

Печі зазначеної конструкції в основному застосовуються в прокатних і ковальських цехах для нагрівання великих (товщиною більш 200-250 мм) злитків і заготовок. Напруженість поду цих печей досягає $800-1000 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{год}$, к. к. д. складає 30-40%, а питома витрата палива майже в два рази менше, ніж у камерних печах. Методичні печі з двох зон часто застосовуються в ковальсько-штампувальних цехах для нагрівання дрібних і середніх заготовок і невеликих злитків.

Швидкісне нагрівання

Основними особливостями швидкісного нагрівання є: підвищення температури робочого простору до $1400-1500^\circ\text{C}$ і забезпечення всебічного обігріву заготовок. Швидкість нагрівання при цьому способі підвищується не тільки за рахунок збільшення перепаду температур, але і за рахунок підвищення швидкості руху газів, що омивають заготівлю, що нагріваються. У газових печах швидкісного нагрівання тепло, передане металові випромінюванням, складає 80%, а тепло, передане конвекцією, усього лише 20%.

При швидкісному нагріванні досягається зменшення витрати палива, угару металу і збільшення продуктивності за рахунок скорочення часу нагрівання (див. рис. 2.2).

Швидкісне нагрівання здійснюється в механізованих і автоматизованих печах, опалювальних висококалорійним газом або мазутом. *Печі швидкісного нагрівання* застосовуються двох типів: камерні - для нагрівання коротких заготовок і прохідні - для довгих прутків і труб.

На рис. 2.9 зображена газова піч для швидкісного нагрівання коротких заготовок круглого перетину. Заготівлі в цій печі перекочуються по двом направляючим 2, привареним до труб 1, охолоджуваним водою. У верхній частині робочого простору розташовані пальники 3. Для підігріву повітря піч обладнана рекуператором 5. Продукти горіння надходять у рекуператор по каналах 4 і 6; для зниження їхньої температури передбачені вікна 7, через які засмоктується повітря. У рекуператор повітря подається по каналі 8, розташованому над зводом печі; цим досягається охолодження зводу, що збільшує термін його служби, а також частковий підігрів повітря.

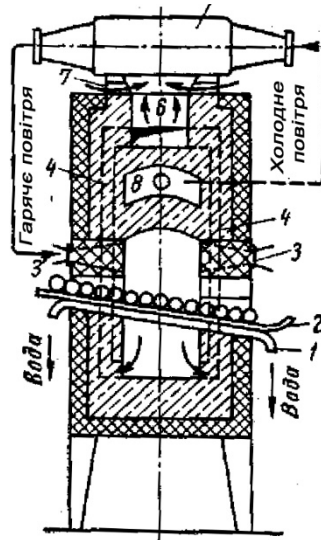


Рисунок 2.9 – Схема конструкції пересувної печі з рекуператором для швидкісного газового нагріву

Печі розглянутого типу застосовуються в ковальсько-штампувальному виробництві для нагрівання порівняно тонких заготовок діаметром до 70-100 мм. У трубопрокатних цехах швидкісне нагрівання застосовують для заготовок діаметром до 200 мм. Печі швидкісного нагрівання є більш економічними, ніж печі звичайного нагрівання. Продуктивність печей швидкісного нагрівання досягає 2000 кг/год, а їх к. к. д. складає 40-45%. Угар металу при швидкісному нагріванні не перевищує 1,5% від ваги заготівлі.

Безокисне нагрівання

Зі способів, що застосовуються, безокисного нагрівання практичний інтерес представляють наступні:

1) нагрів в розплавлених солях; 2) нагрів з утворенням захисних покриттів на поверхні заготівлі, що нагрівається; 3) нагрів в муфельних печах із захисною атмосферою; 4) нагрів в камерних печах відкритого полум'я.

Нагрівання заготовок може здійснюватися у ванні з розплавленими солями хлористого барію і натрію (приблизно 70% $BaCl$ + 30% $NaCl$). Цей метод застосовуємо для нагрівання дрібних заготовок під кування і штампування. Тривалість нагрівання в два-три разів менше, ніж при нагріванні таких же заготовок у камерній печі.

На поверхню заготівлі, що нагрівається, тим або іншим способом наноситься плівка, що охороняє її від окислювання. Наприклад, заготівлю можна нагріти в атмосфері оксиду літію або в розплавленому склі. При першому способі грубні гази насичуються невеликою кількістю пару оксиду літію, що омиває метал, відновлюють окис заліза на його поверхні. У результаті поверхня металу покривається найтоншим шаром оксиду літію, що охороняє його від окислювання, як при подальшому нагріванні, так і при наступній деформації. Плівка оксиду літію одночасно служить гарним змащенням при деформуванні металу. При

іншому способі заготівлі містяться в рекуперативну обертову горизонтальну піч, у якій знаходиться розплавлене скло. Заготівлі, перекочуючи в робочому просторі, покриваються тонким шаром скла, що охороняє них від окислювання.

Для збереження заготівлі від окислювання в муфельній печі її заповнюють захисним газом, що складається з CO і H_2 . Зміст CO в захисному газі досягає 30%, а H_2 - 15%. Муфельні печі з захисною атмосферою застосовуються для нагрівання дрібних заготовок при точному штампуванні.

Одним з найбільш прогресивних методів безокисного нагрівання під кування і штампування є нагрівання в камерних печах відкритого типу. У цих печах нагрівши металу відбувається в атмосфері не цілком згорілого газу. Згоряння газоподібного палива в цих печах відбувається в дві стадії. У камері нагрівання металу газ спалюється з коефіцієнтом надлишку повітря 0,4- 0,55, завдяки чому в цій камері досягається таке співвідношення між окисними і відбудовними складовими продуктів горіння, що практично виключає можливість окислювання металу. Продукти неповного окиснення догорають в іншій камері і тепло, що при цьому виділяється, витрачається на підігрів повітря в рекуператорі до 800-1000°C, без чого неможливо одержати необхідну температуру (1250-1350°C) у камері нагрівання. При цьому способі нагрівання величина угару складає приблизно 0,25-0,30%.

Механізовані печі

У цих печах основні трудомісткі операції - завантаження заготівлі у піч, переміщення і видача їх з печі - механізовані. У механізованих печах заготівлі переміщуються різними способами: перекочуванням циліндричних заготовок по похилому поду, за допомогою штовхальників, балок що крокують, роликового й обертового поду і т. п. До механізованих печей відносяться карусельні, конвеєрні, печі з крокуючими балками і т. п.

Печі з крокуючими балками застосовують для нагрівання листового, смугового і сортового матеріалу; *печі з роликовим подом* - для нагрівання листового і смугового матеріалу під штампування, гнуття й інші операції; *конвеєрні печі* - для нагрівання кінців заготовок для висадження на горизонтально-кувальних машинах і ін.

Останнім часом велике значення починають одержувати *карусельні печі*, що дозволяють легко забезпечити режим нагрівання, що вимагається, заготовок будь-якої форми. Карусельні печі в порівнянні з методичними займають меншу площу і забезпечують більш рівномірне нагрівання, тому що заготівлі на поду цих печей розташовуються не впритул.

Карусельні печі бувають двох різновидів: з кільцевим подом і тарілчастим; перші по характеру нагрівання заготівлі подібні з методичними печами, а другі - з камерними. І в тих, і в інших карусельних печах під із заготовками одержує обертання, швидкість якого може регулюватися. Заготівля нагрівається до відповідної температури за час одного обороту поду.

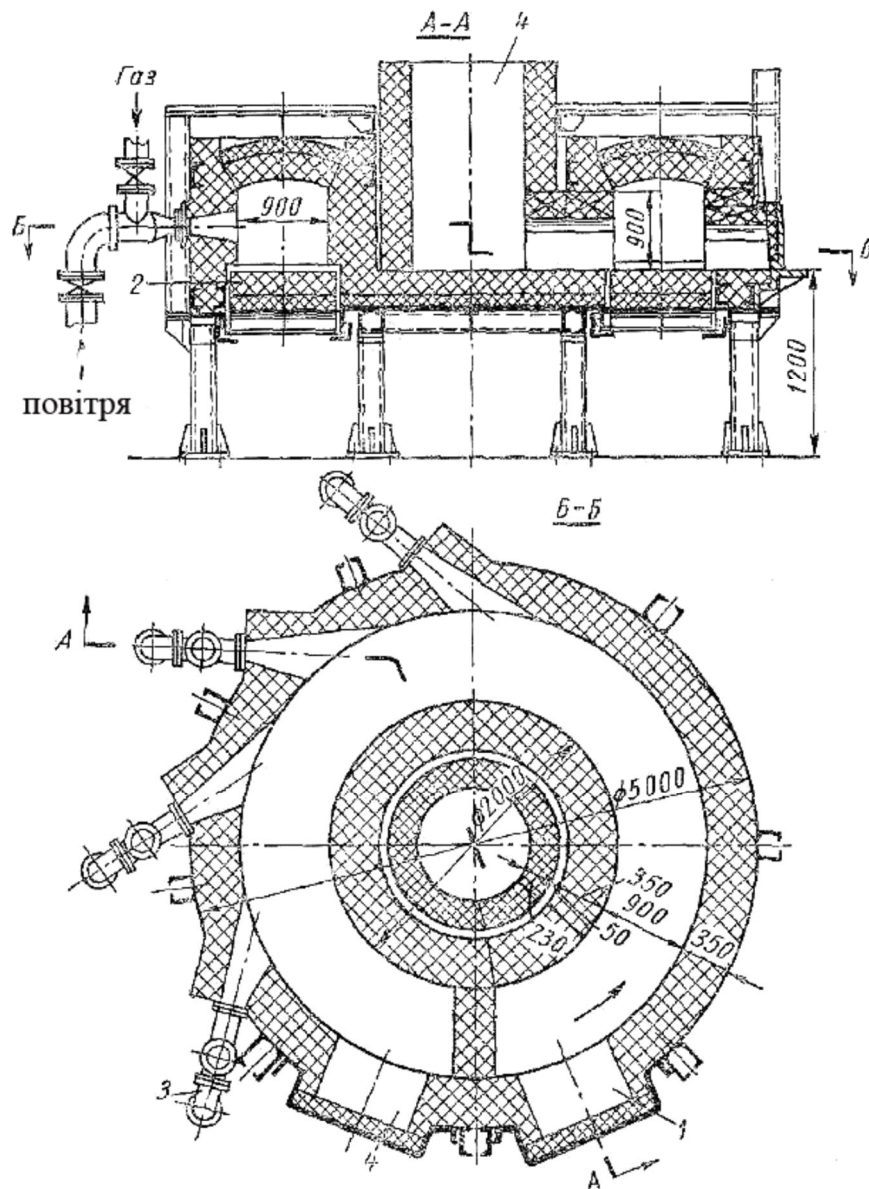


Рисунок 2.10 – Схема конструкції карусельної печі з кільцевим подом

На рис. 2.10 зображений розріз карусельної печі з кільцевим подом. Заготівлі з завантажувальної площадки містяться на кільцеву подину 2, що обертається назустріч рухові гарячих газів. Форсунки (або пальники) 3 розташовуються в стіні таким чином, щоб забезпечити поступове і швидке нагрівання заготівлі. Нагріта заготівля з розвантажувальної площадки 4 подається до штампувального агрегату або прокатного стану.

Показники роботи карусельних печей з кільцевим подом близькі до показників методичних печей. Карусельні печі будуються з діаметром поду від 1 до 30 м. Малі печі з діаметром поду до 10 м застосовуються в ковальсько-штампувальних цехах, а великі - у прокатних.

Печі опору. Печі опору конструктивно виконуються так само, як і полум'яні печі, з тією лише різницею, що замість форсунок або пальників у стінах монтуються металеві або карборундові елементи опору, що підключаються до силової мережі. Опору, нагріваючи, випромінюють тепло, що і передається металеві, що поміщається на під печі. Печі з карборундовими опорами забезпечують нагрівання металу до 1200-1250°C, а печі з металевими опорами - до 900-950°C.

Для нагрівання сталей застосовуються печі з карборундовими опорами, що будуються з розмірами поду до 1 м², потужністю до 50 кВт. Продуктивність цих печей складає 130 кг/год, а питома витрата електроенергії 600 кВт·год/т і більш.

Великою перевагою електropечей опору є можливість точного регулювання температури робочого простору. Печі з карборундовими опорами застосовуються в ковальсько-штампувальних цехах.

Індукційне нагрівання. В основі індукційного нагрівання лежить явище електромагнітної індукції, сутність якого полягає в тому, що при внесенні провідника в перемінне електромагнітне поле в ньому виникає електрорушійна сила (е. д. с). Провідник, що представляє собою опір току, що протікає по ньому, нагрівається за рахунок джоулевого тепла. Для створення могутнього перемінного магнітного поля застосовуються багатовиткові соленоїди (індуктори), виконані з мідної трубки квадратного або прямокутного перетину, охолоджувані проточною водою. Усередину такого індуктора міститься заготівля, що нагрівається. Джерелом перемінного струму може бути або промислова мережа (50 Гц), або перетворювач частоти (машинний або ламповий генератор).

Принципова електрична схема індукційного нагрівання зображена на рис. 2.11.

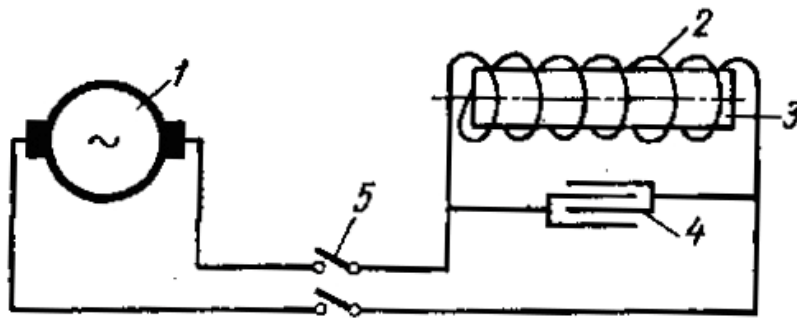


Рисунок 2.11 – Принципова електрична схема індукційного нагріву

Перемінний струм від перетворювача 1 по кабелі подається до індуктора 2, усередині якого знаходиться заготівля, що нагрівається, 3. Паралельно котушці індуктора підключається батарея конденсаторів 4, що, будучи нагромаджувачем електростатичної енергії, підвищує низький коефіцієнт потужності індуктора. Для включення і вимикання нагрівання служить пристрій 5 у виді контактора.

При протіканні перемінного струму по провіднику спостерігається так називаний *поверхневий ефект* (скін-ефект), який полягає в тому, що струм розподіляється в перетині провідника нерівномірно: у поверхневому шарі останнього він більше, а в центрі - менше. З деяким наближенням, достатнім для практичних розрахунків, можна вважати, що перемінний струм протікає по провіднику тільки в поверхневому шарі товщиною Δ . Цей шар Δ прийнятий називати глибиною проникнення, величина якої може бути підрахована по формулі

$$\Delta = 5030 \sqrt{\frac{\rho}{\mu \cdot f}}, \quad (2.5)$$

де ρ - питомий електроопір провідника в Ом·см;

μ - відносна магнітна проникність матеріалу провідника – величина без розміру, яка показує в скільки раз магнітна проникність провідника більше проникності вакууму;

f – частота струму в Гц.

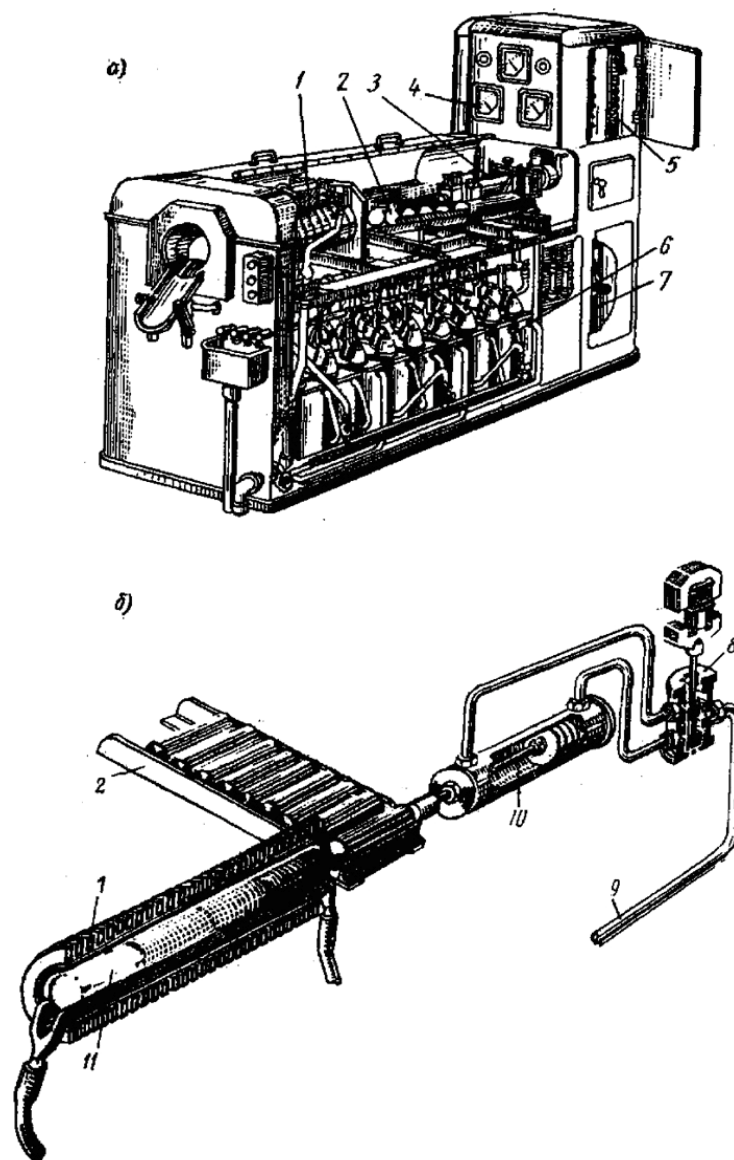
З формули (2.5) можна зрозуміти, що зі збільшенням питомого електроопору і зменшенням частоти струму глибина проникнення зростає. У феромагнітних матеріалів відносна магнітна проникність при температурі крапки Кюрі (770°C) падає до 1 і глибина проникнення різко зростає (у 20-30 разів).

Швидкість нагрівання, а також к. к. д. системи заготівля - індуктор залежать від співвідношення діаметра заготівлі d і глибини шару Δ . Практикою встановлено, що при нагріванні більшості металів, повинно дотримуватися нерівність

$$3 < \frac{d}{\Delta_z} < 6. \quad (2.6)$$

При нагріванні феромагнітних матеріалів Δ_z підраховується для температури крапки Кюрі при $\mu = 1$ і при відповідній даній температурі ρ . При нагріванні парамагнітних матеріалів, у яких $\mu=1$, Δ_r визначається, виходячи із середнього значення ρ , в інтервалі температур нагрівання від кімнатної до максимальної. Якщо дотримується нерівність (2.6), то к. к. д. системи заготівля - індуктор складає не менш 50%. Час нагрівання заготівлі з вуглецевих сталей може бути визначена з графіків, приведених на рис. 2.2.

Індукційні нагрівачі, що застосовуються в промисловості, підрозділяються на періодичні і методичні. Сутність роботи тих і інших аналогічна роботі камерних і методичних печей. Найбільше часто застосовуються нагрівачі методичної дії.



1 – індуктора, 2 – завантажувального лотка, 3 – пневматичного штовхальника, 4 – вимірник приладів для спостереження за режимом нагрівання, 5 – апаратури автоматичного керування подачею заготівлі в індуктор, 6 – конденсаторною батареєю і 7 – контактора, що включає і виключає нагрівання; 11 – реле часу через визначені інтервали, що відповідають необхідному темпу подачі заготівлі, 8 – включає електропневматичний золотник, і стиснуте повітря з трубопроводу 9 подається в циліндр 10 пневматичного штовхальника

Рисунок 2.12 – а) загальний вид методичного індукційного нагрівача для мірних заготовок; б) кінематична схема нагрівача

При переміщенні поршня штовхальника заготівля, що лежить на лотку 2, надходить в індуктор 1. При завантаженні в індуктор холодної заготівлі лежача з протилежної сторони індуктора нагріта до кувальної температури заготівля виштовхується на транспортер і доставляється до штампувального агрегату.

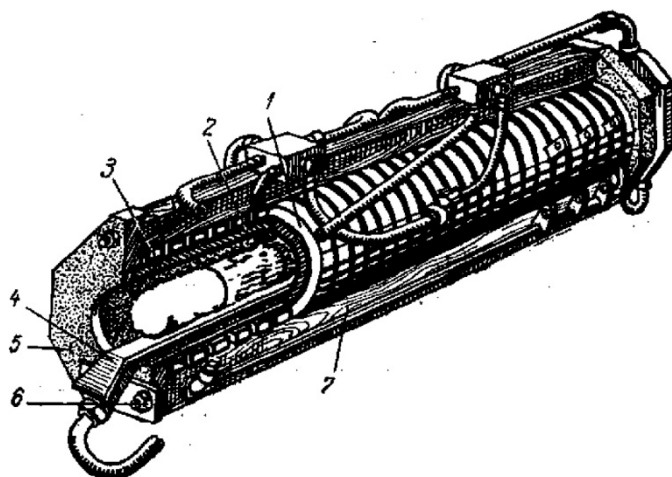


Рисунок 2.13 – Конструкція індуктора

Індуктор складається з багатовиткової спіралі 1, виконаної з мідної трубки прямокутного перетинів. Між витками її розташовуються картонні ізолюючі кільця. Спіраль індуктора стиснута асбоцементними щокми 5 за допомогою латунних шпильок 6. Для запобігання зсуву витків спіралі служать дерев'яні бруси 7. Всередині спіралі 1 знаходиться електрична 2 і тепла 3 ізоляція, що складається з гільз міканіту, азбесту і шамоту, у цілому представляє собою футеровку індуктора. Для збереження футеровки від руйнування при просуванні заготовлі уздовж індуктора розташовуються направляючі 4 з жаростійкої сталі, охолоджувані водою. Форма поперечного перерізу вікна спіралі індуктора виконується в залежності від форми поперечного перерізу заготовлі.

Внутрішній діаметр спіралі індуктора обирається з розуміннь досить високого к. к. д. системи заготівлі - індуктор по формулі

$$D = (1,5 \div 2) d. \quad (2.7)$$

Довжина спіралі індуктора повинна бути довше сумарної довжини заготовок, що нагріваються в ній, на один-два діаметрів заготівлі. Електричні і теплові розрахунки індукторів.

Середні енергетичні показники при індукційному нагріванні вуглецевих сталей наступні.

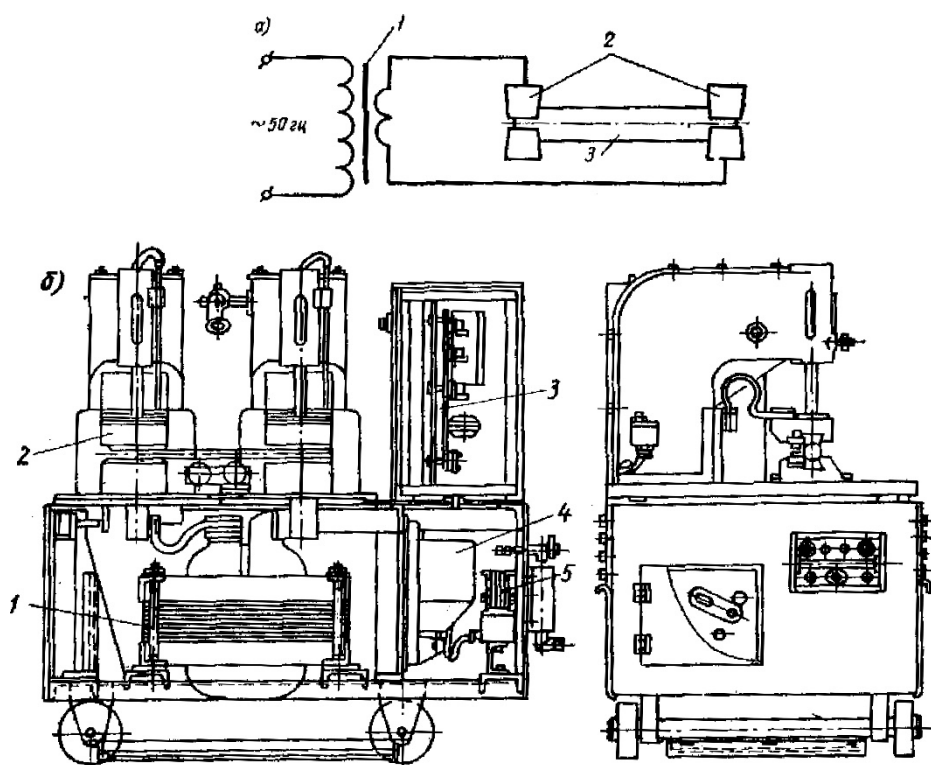
К. к. д. нагрівача в %	близько 60-65
питома витрата електроенергії по промисловій мережі в кВт·ч/кг	0,45-0,5
продуктивність нагрівача в кг/год	2000-3000

Індукційне нагрівання застосовується в даний час у ковальсько-штампувальних цехах автомобільних і тракторних заводів.

Він має ряд переваг, основними з яких є велика швидкість нагрівання, високий к. к. д., малий угар (0,4-0,6 %) і ін. До недоліків індукційного електронагріву можна віднести порівняно високу вартість силової електричної

установки, труднощі здійснення підігріву заготовок і нагрівання заготовок складної форми.

Електроконтактний нагрів. В основі електроконтактного способу нагрівання лежить закон Джоуля - Ленца, що виражається формулою (2.1). Принципова електрична схема контактного нагрівання зображена на рис. 2.14, а. Від понижуючого силового трансформатора 1 струм за допомогою гнучких шин подається до пневматичних мідних контактів 2, між якими затискається заготівля, що нагрівається, 3. Силовий трансформатор у первинній обмотці має кілька ступіней регулювання, що дозволяє змінювати напругу, а отже, і силу струму у вторинному ланцюзі, тобто в заготівлі. Напруга у вторинному ланцюзі трансформаторів для контактного нагрівання буває від 4 до 16 в, а сила струму може досягати декількох десятків тисяч ампер.



1 – понижуючий трансформатор; 2 – затискні контактні голівки; 3 – шафа з апаратурою керування; 4 – контактор; 5 – електропневматичний кран

Рисунок 2.14 – Принципова електрична схема контактного нагрівання (а) і установка електроконтактного нагрівання заготовок типу ДО-17 (б)

На рис. 2.14, б зображена одна з конструкцій контактних установок потужністю 150 кВт. Установка призначена для нагрівання заготовок довжиною від 400 до 650 мм і діаметром від 20 до 42 мм.

В даний час є можливість нагрівати електроконтактним способом заготівлі до 75 мм у діаметрі. Нагрівання заготовок діаметром більш 75 мм не застосовується з економічних розумінь, тому що при великих розмірах заготовок надзвичайно зростають розміри силових трансформаторів. Коефіцієнт корисної дії електроконтактних установок коливається від 60 до 80%. Питома витрата

електроенергії при нагріванні вуглецевих сталей складає 0,325 кВт·год/кг, що в півтора рази менше ніж при індукційному нагріванні.

Основними недоліками електроконтактного нагрівання є обмеженість розмірів заготовок, що нагріваються, порівняно мала стійкість затискних контактів, а також складність нагрівання заготовок перемінного перетину.

При застосуванні електроконтактного нагрівання технологію деформації (штампування) рекомендується проектувати так, щоб з однієї заготівлі одночасно виготовлялося кілька кувань; це дозволило б вести нагрівання з великим к. к. д. установки.

У промисловості електроконтактний нагрів часто застосовується безпосередньо в штампувальних агрегатах, наприклад в електровиймаючих машинах. На цих машинах виготовляються, кування типу стрижнів з голівками або кілець.

Контроль температури при обробці тиском

Тому що для обробки тиском досить важливим є суворе дотримання температури нагрівання металу, то необхідний її контроль. У виробничих умовах контроль температури здійснюється шляхом виміру її відповідними приладами, названими *пірометрами*.

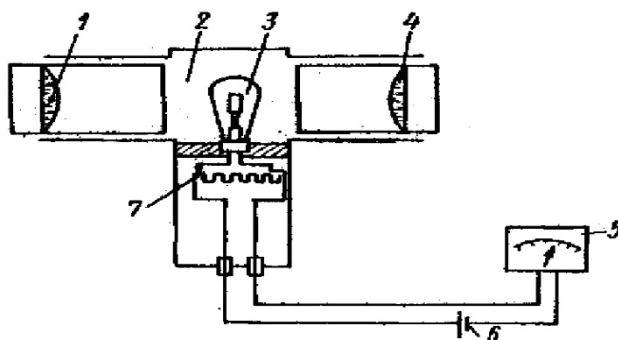


Рисунок 2.15 – Принципова схема оптичний пірометр зі зникаючою ниткою.

Пірометри, що застосовуються, підрозділяються: на термоелектричні, оптичні, радіаційні і фотоелектричні. Пірометри крім безпосереднього виміру температури можуть виконувати функції регуляторів теплового режиму роботи нагрівальних пристроїв. Найбільше застосування одержали *термоелектричні пірометри*, що складаються з термопар і мілівольтметра або потенціометра. Ці пірометри досить зручні внаслідок можливості фіксації й автоматичного запису температури на великій відстані від вимірюваного об'єкта і забезпечують велику точність виміру (до $\pm 5^\circ$). Для виміру температур до 1100°C застосовні хромель-алюмелеві термопар, а для температур до 1500°C платино-платинородієві.

У виробничих умовах для періодичного швидкого контролю температури розігрітого тіла застосовується оптичний пірометр зі зникаючою ниткою,

принципова схема якого зображена на рис. 2.15. Дія цього пірометра засновано на порівнянні випромінювання розпеченого тіла з яскравістю нитки лампи накаливання. Через об'єктив 1 промені розпеченого тіла попадають в окуляр 4, а потім в око спостерігача. У зоровій трубці 2 поміщена лампа накаливання 3, розжарення нитки якої регулюється за допомогою реостата 7, включеного в ланцюг батареї, або акумулятора 6. Зміна ступеня розжарення лампи 3 фіксується міліамперметром 5, градуйованим у градусах Цельсія. При збігу температури розпеченого тіла з температурою нитки остання на тлі тіла зникає (не буде видна). При температурі тіла, більше ніж температура нитки, остання матиме вигляд темної. Точність виміру багато в чому залежить від стану поверхні розпеченого тіла (від наявності або відсутності окалини) і від досвіду пірометриста. Оптичним пірометром можливо вимірювати температури від 700 до 1500°C.

Радіаційні пірометри (ардометри) працюють за допомогою платинової пластинчастої термопари, поміщеної в зоровій трубці, що направляється об'єктивом на розпечене тіло. Теплові промені, випромінювані тілом, фокусуються об'єктивом на спаї платинової термопари. Виникаюча т. е. р. с. фіксується мілівольтметром, градуйованим у градусах Цельсія. Такі пірометри придатні для виміру температури робітника простору печей.

Фотоелектричний пірометр являє собою прилад, що служить для виміру або реєстрації температур за допомогою фотоелемента. Якщо у візуальному оптичному пірометрі очей – спостерігача порівнює яскравість об'єктів, то фотоелемент у фотоелектричному пірометрі порівнює або вимірює світлові потоки від розпечених тіл, що створюють ту або іншу освітленість на його катоді. Фотоелектричний пірометр відрізняється високою точністю вимірів і швидкою дією, завдяки чому він часто застосовується як пристрій, що вимикає при швидких процесах нагрівання, наприклад, таких, як індукційний і електроконтактний.

2.3 Механізми ділянки нагрівальних печей широкоштабових станів гарячої прокатки

Устаткування пічної ділянки широкоштабового стану гарячої прокатки призначено для передачі слябів або зі складу, або безпосередньо зі слябінгу або від установки неперервного розливання сталі (УНРС) на завантажувальний рольганг стану, завантаження слябів в нагрівальні печі і видачі їх з печі на приймальний рольганг. До цього устаткування відносяться транспортери слябів, передавальні візки, зіштовхувачі, підйомні (завантажувальні) столи, штовхачі, буфера (амортизатори), упори, приймачі слябів, а також рольганги, що транспортують сляби уздовж печей перед їх завантаженням в печі і нагріті сляби до стану.

Склад і розташування устаткування пічної ділянки можуть бути різні для кожного стану і залежать від відносного розташування складу слябів і нагрівальних печей, від протяжності прольоту складу слябів і від числа нагрівальних печей.

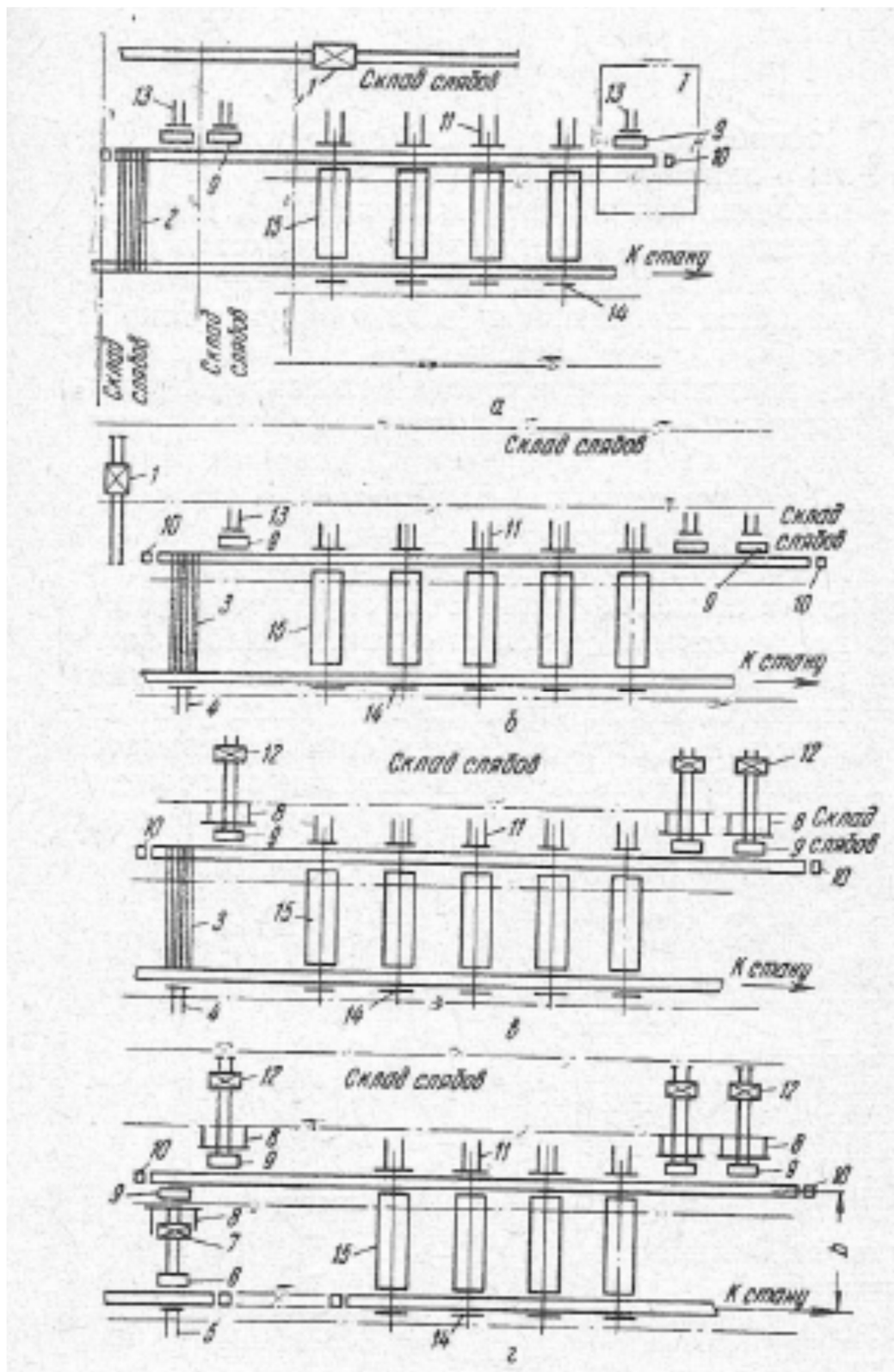
На рис. 2.16 показана схема можливого розташування і складу устаткування пічної ділянки. У кожної з них є відмінна особливість, яка є визначальною при виборі складу і розташування устаткування. Вказані схеми розраховані на надходження слябів в пачках (пакетах) зі складу, від слябінгу або від УНРС до завантажувальних пристроїв стану.

Особливістю схеми (рис. 2.16, а) є комбіноване розташування прольотів складу слябів щодо станового прольоту: два прольоти складу розташовано під прямим кутом і один – паралельно. Завантажувальний рольганг стану перетинає всі прольоти складу слябів. У кожному з перпендикулярно розташованих прольотів складу слябів встановлено по одному завантажувальному пристрою і ще один такий пристрій є в третьому паралельному прольоті. У разі відсутності паралельного прольоту ділянка 1 не потрібна. Пакети слябів подаються складськими кранами безпосередньо на завантажувальні пристрої стану. Сляби, що не вимагають проміжного складування для огляду і зачистки, передаються від слябінгу на завантажувальний рольганг ланцюговим транспортером. До ланцюгів транспортера через певний крок прикріплені пальці, які захоплюють сляби безпосередньо на роликах рольганга, тому зіштовхувач 4 тут не встановлюють.

За розташуванням устаткування схеми (рис. 2.16,б і в) є ідентичними. В обох схемах склад слябів розташовують в двох прольотах, паралельних становому прольоту. Від слябінгу на завантажувальний рольганг штабового стану сляби передаються транспортером штангового типу. На першу секцію штанг сляби з рольганга переміщуються зіштовхувачем 4.

Відмінність даних схем полягає в способі передачі слябів зі складу на завантажувальні пристрої стану.

У першому випадку сляби з другого прольоту складу передаються візком в перший проліт, потім краном першого прольоту – безпосередньо на завантажувальні пристрої або складуються в першому прольоті. По схемі в сляби з другого прольоту передаються спеціальними візками безпосередньо до завантажувальних пристроїв стану без участі крана. В обох випадках сляби з першого прольоту укладаються на завантажувальні пристрої краном, але можливе також їх укладання на візки, якщо це не лімітуватиме передачу слябів з другого прольоту.



1 – передавальний візок; 2 – транспортер ланцюговий; 3 – транспортер з крокуючими штангами; 4 – зіштовхувач; 5 – зіштовхувач; 6 – завантажувальний стіл; 7 – передавальний візок; 9 – завантажувальний стіл; 10 – стаціонарний упор; 11 – пічний штовхач; 12 – передавальний візок; 8, 13 – зіштовхувач; 14 – буфер; 15 – нагрівальна піч

Рисунок 2.16 – Схеми можливого розташування і складу устаткування пічної ділянки

Схема (рис. 2.16, а) є найбільш переважною у випадках, коли відстань між осями завантажувального і приймального рольгангів перевищує 30 м і коли застосовують сляби масою більше 23 т. Основна відмінність цієї схеми від двох попередніх полягає в заміні транспортера спеціальним візком. Для укладання слябів в пакет перед завантаженням на передавальний візок і для переміщення пакету на візок, а також для переміщення пакету з візка з подальшою розкладкою по одному слябу застосовано два пристрої, кожен з яких складається з підйомно-опускаючого столу і зіштовхувача.

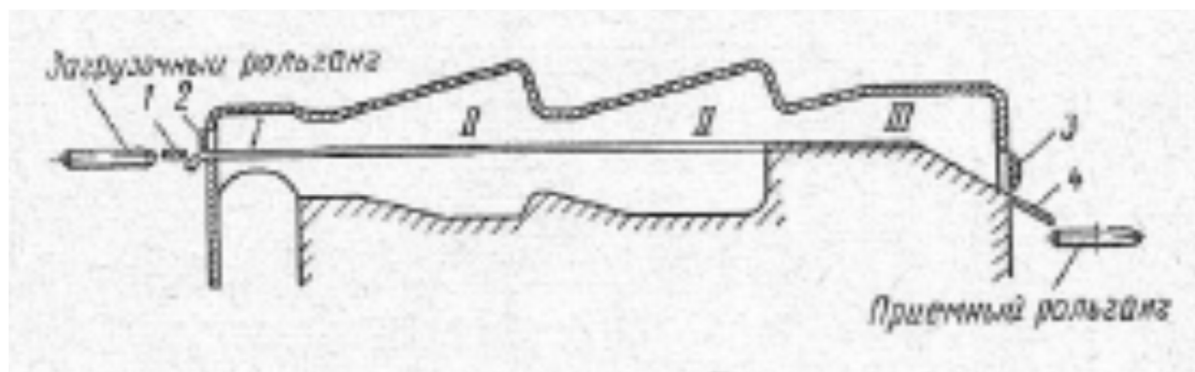
Таку схему можна застосовувати як в компоновці широкоштабового стану зі слябінгом, так і в компоновці з установкою неперервного розливання сталі. У першому випадку рольганги представляють собою єдиним рольганг, а в другому випадку вони можуть бути роз'єднані, як показано на схемі, оскільки передача слябів з установки неперервного розливання сталі безпосередньо до стану не передбачається.

Вимоги, що пред'являються до устаткування пічної ділянки, характеризуються умовами його роботи і в першу чергу високою температурою гарячих слябів і в зоні печей, великими динамічними навантаженнями, які супроводжують навантажувально-розвантажувальні операції, переміщення пакетів і окремих слябів великої маси, наявністю окалини як на слябах тих, що поступають для завантаження в печі, так і видаваних з печей. Тому деталі устаткування пічної ділянки, дотичні з гарячими слябами, повинні бути достатньо масивними щоб уникнути їх викривлення від високих температур, а вузли, що постійно знаходяться під впливом високих температур, тобто розташовані у вікон печей, необхідно охолоджувати водою. Деталі і вузли механізмів необхідно розраховувати з умов динамічних навантажень, рухомі частини і масляні ванни повинні бути надійно захищені від засмічення окалиною, підстави механізмів повинні мати посилене з'єднання з фундаментами.

Нагрівальні печі

На сучасних широкоштабових станах для нагріву слябів застосовують три- або чотиризонні методичні печі з дворядним завантаженням. У тризонній печі є одна зварювальна зона, а у чотиризонній дві. Сляби завантажуються в пакетах холодними або гарячими, тобто що мають температуру до 800° С. Температура в печі біля вікна посадки досягає 900 – 1100° С. Цю частину печі називають методичною зоною. У ній метал нагрівається до температури посадки, тобто до 850 – 1050° С. Дві наступні частини чотиризонної печі (рис. 2.17) називають зварювальними зонами. Тут сляби остаточно нагріваються до необхідної температури. У цих зонах підтримують температуру до 1350° С. Температура нагріву металу залежить від якості металу, вмісту вуглецю, і може досягати 1300° С. Однак у печах з широким подом (понад 10 м) нагрівати метал вище 1200 – 1220° С не рекомендують щоб уникнути рідкого шлакоутворення і значних труднощів, що виникають у зв'язку з цим, при очищенні монолітної частини поду від окалини. У печах з вузьким подом метал нагрівається до температури 1250 –

1280° С. В останній зоні (томильній) температура досягає 1300° С. Тут метал піддають томлінню, тобто витримці, необхідній для рівномірного прогрівання слябу за всім обсягом, тому под цієї зони монолітний (суцільний).



I— методична зона; II—зварювальні зони; III—томильна зона; 1 — приймальний стіл; 2 — заслінка; 3 — кришка; 4—похила плита

Рисунок 2.17 – Схема методичної нагрівальної печі:

Методичні печі широкоштабових станів, як правило, опалюють сумішшю коксового і доменного газів з різною теплотою згорання (від 6700 до 9200 кДж/м³). Розміри поду методичних печей сучасних широкоштабових станів досягають 11 × 38 м; при цьому довжина монолітного поду складає більше 20 % від довжини активного поду печі. Продуктивність такої печі при холодному садінні складає 260 т/год, а напруга активного поду 650 кг (м²·год). При гарячому садінні ці величини приблизно в 1,5 рази більше.

За кордоном для широкоштабового стану активно упроваджуються нагрівальні печі з крокуючим подом. Позитивні результати вирішення цієї проблеми сприятимуть розширенню можливостей нагріву важких слябів довжиною (10 – 12 м) до температури 1300° С.

Контрольні питання

1. Параметри нагріву металу.
2. Калориметрична та дійсна температура горіння палива.
3. Методичні та напівметодичні печі ковальсько-штампувального виробництва.
4. Зміна механічних параметрів металу при нагріванні.
5. Розрахунок горіння палива. Перерахунок складу палива.
6. Камерні печі ковальського виробництва.

Література до розділу 2: [2, 4, 7, 8]