**ПІДГОТОВКА ДО ВИКОНАННЯ КОНТРОЛЬНОЇ РОБОТИ**

Кожен студент зобов'язаний виконати контрольну роботу для з'ясування ступеня засвоєння матеріалу. Завдання на контрольну роботу видає викладач.

Завдання на контрольні роботи містять запитання з найбільш важливих розділів курсу. Відповіді на ці запитання повинні бути короткими, зрозумілими, конкретними. Неприпустимі відповіді "так" або "ні" і т.п. Кожна виконана контрольна робота перевіряється викладачем. Точність, повнота та якість відповідей оцінюються в балах. Для виконання контрольної роботи студенту треба заздалегідь, скориставшись конспектом лекцій, використовуючи рекомендовану літературу, та знання отримані на лабораторних та практичних роботах, засвоїти основні положення кожної теми курсу.

При першому читанні літератури варто ознайомитись з її змістом у межах обсягу тем, охоплених програмою курсу. При переході до ретельного вивчення тем, корисно складати конспект прочитаного і записувати в конспект важкі і не зрозумілі місця, для їхнього уточнення.

Користуючись знаннями надбаними при виконанні лабораторних робот та вивченню теоретичної частині курсу, можливо, є достатньою повнотою, відповісти на запитання контрольної роботи, яка приводиться у цих методичних вказівках у вигляді теоретичного питання та задач.

До екзамену (заліку) допускаються студенти, які виконали всі лабораторні та практичні роботи та контрольні завдання.

# Тестові питання до самоаналізу

**1. Непоправний брак, що утворюється в процесі термічної обробки це:**

а) гартівні тріщини б) викривлення

в) зневуглецювання г) м'які плями

**2. Який вид термічної обробки використовують для підвищення міцностних характеристик гарячекатаних листів?**

а) загартування б) рекристалізаційний відпал

в) нормалізацію г) відпуск.

**3. Відпал рулонів найбільш доцільно проводити в:**

а) ковпакових печах б) ковпакових печах з захисною атмосферою

в) камерних печах г) вакуумних печах.

**4.Для термічної обробки відливків використовують печі:**

а) камерні б) ковпакові

в) вакуумні г) методичні.

**5. К відливкам не приймають наступні види контролю:**

а) зовнішній огляд б) перевірка розмірів

в) перевірка на злам г) перевірка на кручення.

6. **Для відливків приймають термічну обробку**:

а) закалювання на сорбіт б) рекристалізаційний відпал

в) нормалізація г) відпуск для зняття внутрішніх напруг.

**7. Негативна особливість литих легованих сталей полягає в наступному:**

а) низька прокаленість б) відпускна ламкість

в) флокіноутворення г) графітизація.

**8. Схема термічної обробки для відливок з легованих сталей має вид:**

а) відпал – нормалізація б) нормалізація – гартування

в) високотемпературний відпал – нормалізація г) гартування – відпуск.

**9. В яких печах на металургійних заводах зазвичай проводять ТО:**

а) періодичної дії камерні печі з зовнішньою механізацією

б) ковпакові печі - печі з викатним подом

в) пломеневі г) індукційні.

**10. Недоліки камерних печей:**

а) ообмежене виробництво

б) необхідність потужного мостового крану для переміщення ковпака

в) низький ККД печі внаслідок втрати на акумуляцію тепла ковпаком и стендом г) трудність герметизації поду печі

**11. Недоліки ковпакових печей:**

а) складність переміщення поду печі

б) висока продуктивність

в) можливість автоматизації і механізації процесу

г) використання високих температур нагріву.

**12. Твердість відпалених труб зі сталі ШХ6 повинна бути:**

а) 179 - 207 НВ б) 150 - 250 НВ

в) 180 - 320 НВ г) 150 - 180 НВ.

**13. Маса садки в камерних печах досягає:**

а) 12 - 25 т б) 10 - 15 т

в) 5 - 7 т г) 17 - 21 т.

**14. Після відпуску труби охолоджують:**

а) на повітрі б) у маслі

в) на охолодженому стані г) у воді.

**15. Яка особливість відпалювання труб в секціонних печах:**

а) нагрів з витримкою б) короткочасний нагрів

в) довготривалий нагрів г) нагрів зі швидким охолодженням.

**16. Термічна обробка листової сталі це:**

а) усунення нагартування і відновлення пластичності

б) отримання технологічних властивостей листа необхідних при виробництві деталей

в) отримання высоких механічних властивостей

г) зниження температуры прокатування.

**17. Якої форми бувають ковпакові печі?**

а) прямокутні та круглі б) квадратні

в) овальні г) циліндричні.

**18. Основними перевагами вертикальних печей при порівнянні с горизонтальними є:**

а) труднощі заправлення конвеєрної смуги

б) нерентабельність при невеликих масштабах виробництва

в) швидкість яка не пперевищує 120 м/с

г) висока якість смуги.

**19. Яку з марок сталей використовують для виробництва листа**

а) Ст.3 б) 08кп

в) 08сп г) 08ю.

**20. Назвіть інтервал температур змотки в рулон нестаріючих сталей**

а) 840 - 900 0С б) 600 - 650 0С

в) 840 - 880 0С г) 540 - 620 0С.

2**1. Термічне зміцнення листової сталі використовують:**

а) після прокатки б) під час прокатки

в) до циклу прокатки г) між циклами прокатки.

**22. Технологічні процеси теплової дії з метою зміни структури і властивостей сплаву називаються:**

а) хіміко-термічною обробкою б) обробкою металів тиском

в) термічною обробкою г) обробкою реструктуризації.

**23. Будь-який процес термічної обробки може бути описаний:**

а) графіком термічної обробки б) діаграмою стану

в) кривою охолоджування г) кривою нагріву.

**24. Процес термічної обробки з метою отримання більш рівноважної структури називається:**

а) відпуск б) гартування

в) відпалювання г) нормалізація.

**25. Відпал при температурі фазових перетворень називається:**

а) відпал першого роду б) відпал другого роду

в) відпал третього роду г) відпал четвертого роду.

**26. Відпал для усунення хімічної неоднорідності називається:**

а) неповний б) повний

в) дифузійний г) ізотермічний.

**27. Відпал для зняття наклепу називається:**

а) рекристалізаційний б) неповний

в) ізотермічний г) повний.

**28. Термічну операцію, при якій сталь нагрівають до температури на 30-50°С вище за верхні критичні точки, потім витримують при цій температурі і охолоджують на спокійному повітрі, називають:**

а) відпуск б) гартування

в) цементація г) нормалізація.

**29. Нормалізація сталі, в порівнянні з відпалом, є процесом:**

а) більш продуктивним б) менш продуктивним

в) рівним г) не має значення

**30. Нормалізацію застосовують для виправлення:**

а) дрібнозернистої структури б) голчатої структури

в) грубозернистої структури г) середньозернистої структури.

**31. Процес термічної обробки з метою отримання не рівноважної структури називається:**

а) відпал б) гартування

в) відпуск г) нормалізація.

**32. В результаті гартування підвищується:**

а) зносостійкість б) корозійностійкість

в) пластичність г) міцність і твердість.

**33. Основними параметрами гартування є:**

а) швидкість нагріву і охолоджування

б) температура нагріву і швидкість охолоджування

в) температура і швидкість нагріву

г) температура і швидкість охолоджування.

**34. Властивість матеріалу набувати загартований шар на певну глибину:**

а) прожарювань б) прожигаємість

в) гартування г) відпуск.

**35. Швидкість нагріву і час витримки матеріалу при гартуванні залежить від:**

а) фізичних властивостей б) хімічних властивостей

в) технологічних властивостей г) ливарних властивостей.

**36. Устаткуванням для нагріву сталі при термічній обробці служать:**

а) доменні печі б) термічні печі

в) мартенівські печі г) вакуумно-дугові печі.

**37. При якій температурі проводять низькотемпературний відпуск, 0С:**

а) 1500 – 1600 б) 2000 - 3000

в) 20 – 30 г) 150 - 200.

**38. При якій температурі проводять високотемпературний відпуск, 0С:**

а) 20 – 30 б) 2000 - 3000

в) 500 – 700 г) 200 - 300.

**39. Структура, яка утворюється при низькій відпустці, називається:**

а) сорбіт б) тростит

в) мартенсит г) ферит.

**40. Структура, що утворюється при відпуску називається:**

а) тростит б) сорбіт

в) перліт г) аустеніт.

**41. Твердість при високотемпературному відпуску:**

а) 30 НВ б) 70 НВ

в)100 НВ г) 300 НВ

**42. З підвищенням температури відпуску твердість матеріалу:**

а) знижується б) підвищується

в) залишається незмінним.

**43. Для запобігання окислення деталей застосовують:**

а) флюси б) спеціальні присадки

в) легуючі елементи.

44**. Швидке зростання зерен, яке призводить до виникнення велико кристалічної структури, називається:**

а) недогрів б) перегрів

в) нагрівання г) перегрівання.

**45. Перегрів призводить до:**

а) зниженню твердості б) підвищенню пластичних властивостей

в) підвищення прожарювання г) пониження пластичних властивостей.

**46. Перегрів металу може бути виправлений подальшою термічною обробкою:**

а) нормалізацією б) цементацією

в) гартуванням г) відпуск.

**47. Ділянки на поверхні деталі або інструменту із зниженою твердістю називаються:**

а) тверді плями б) дефектні плями

в) м'які плями г) дефектні ділянки.

**48. Перегрів деталей при гартуванні:**

а) поліпшує механічні властивості б) погіршує механічні властивості

в) поліпшує хімічні властивості г) поліпшує технологічні властивості.

**49. Перегрів деталей виправляють:**

а) гартуванням б) відпуском

в) цементацією г) відпалом.

**ЗАВДАННЯ ДО КОНТРОЛЬНОЇ РОБОТИ**

**(Теоретична частина)**

1. Ізотермічні перетворення аустеніту в легованих сталях.
2. Перетворення аустеніту при безперервному охолодженні.
3. Термокінетичні діаграми перетворення переохолодженого аустеніту.
4. Перетворення мартенситу та залишкового аустеніту при нагріванні.
5. Термічне та деформоване старіння вуглецевої сталі.
6. Технологія термічної обробки сталі.
7. Відпал I роду.
8. Відпал II роду (фазова перекристалізація).
9. Закалювання сталі.
10. Відпуск сталі.
11. Термомеханічна обробка (ТМО) сталі.
12. Термічна обробка злитків.
13. Обладнання для термічної обробки злитків.
14. Технологія термічної обробки злитків.
15. Термічна обробка сортового прокату. Обладнання для термічної обробки сортового прокату.
16. Технологія відпалу.
17. Відпал вуглецевих інструментальних сталей.
18. Відпал інструментальних сталей.
19. Відпал швидкоріжучих сталей.
20. Відпал шарикопідшипникових сталей.
21. Відпал конструкційних сталей.
22. Відпал корозійностійких та жароміцних сталей.
23. Відпал каліброваної сталі.
24. Контроль якості відпалу. Термічне зміцнення прокату.
25. Термічне зміцнення арматурної сталі.
26. Термічна обробка листового прокату. Обладнання для термічної обробки листового прокату.
27. Технологія термічної обробки листового прокату. Вуглецева сталь.
28. Термічна обробка гарячекатаних листів.
29. Термічне зміцнення. Жерсть.
30. Легованна конструкційнна сталь.
31. Корозійнно- й жароміцна сталь.
32. Електротехнічна сталь. Контроль якості термічної обробки листів.
33. Термічна обробка труб. Обладнання для термічної обробки труб.
34. Технологія термічної обробки труб. Гарячекатані труби.
35. Труби загального призначення з вуглецевих та легованих сталей.
36. Труби з нержавіючої сталі.
37. Котельні труби.
38. Підшипникові труби.
39. Нефтяні труби.
40. Термічне зміцнення труб зі низьковуглецевих сталей.
41. Контроль якості термічної обробки труб.
42. Термічна обробка чавуних виливок. Технологія термічної обробки.
43. Термічна обробка поковок. Режим охолодження поковок після ковки-штамповки.
44. Попередня термічна обробка.
45. Кінцева термічна обробка.
46. Термічна обробка поковок з теплостійких корозійно- й жароміцних сталей. Контроль якості термічної обробки поковок.
47. Термічна обробка сталевих виливок.
48. Виливки з вуглецевої та легованої сталей.
49. Виливки з високолегованих сталей. Контроль якості термічної обробки сталевих виливок.

50. Термічна обробка проволоки.

**ОСНОВНІ ФОРМУЛИ ТА МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ**

Правильний режим нагріву злитків або заготовок забезпечує високі техніко-економічні показники роботи прокатного стану, а саме зменшується витрата металу, палива, енергії на одиницю годних виробів, підвищується продуктивність праці і якість прокатних виробів, що зрештою відображається на основному показнику роботи прокатних цехів - собівартості товарної продукції. Критерії оптимальності нагріву сталі і сплавів, які включають оптимізацію сумісних техніко-економічних показників нагрівальних печей і прокатного стану, розглянуті З.А. Малим з використанням математичного апарату варіаційного числення і принципу максимуму [1].

Теорія нагріву сталі і сплавів і причини утворення всіх видів браку, які виникають при неправильному режимі нагрівання металу, детально розглянуті в роботах [2 - 8].

Температурний режим нагріву сталі і сплавів перед гарячою обробкою тиском (прокатування, кування) залежить головним чином від властивостей металу в литому (злиток) і деформованому (заготовка) станах. При встановленні температурного режиму для заданого металу необхідно ураховувати наступні дані: 1) хімічний склад і спосіб виплавки сталі або сплаву; 2) механічні властивості металу при високих температурах;

3) конструкцію нагрівальної печі; 4) форму, розмір і розташування тіла, що нагрівається, в печі.

Теоретичне визначення температури нагріву металу перед прокаткою злитків або заготовки ґрунтується на діаграмах стану сплавів.

Для визначення температури нагріву металу вуглецевих сталей користу­ються класичною діаграмою Geurensa - діаграмою стану сплаву Fe - C (рис 1). Є подібного роду діаграми і для інших сплавів [10 - 13]. Теоретична температура нагріву сплаву повинна бути близькою до температури лінії солідуса, оскільки пластичні властивості металу в межах температурного інтервалу гарячої обробки поліпшуються з підвищенням температури. Проте це справедливо не для всіх сплавів.

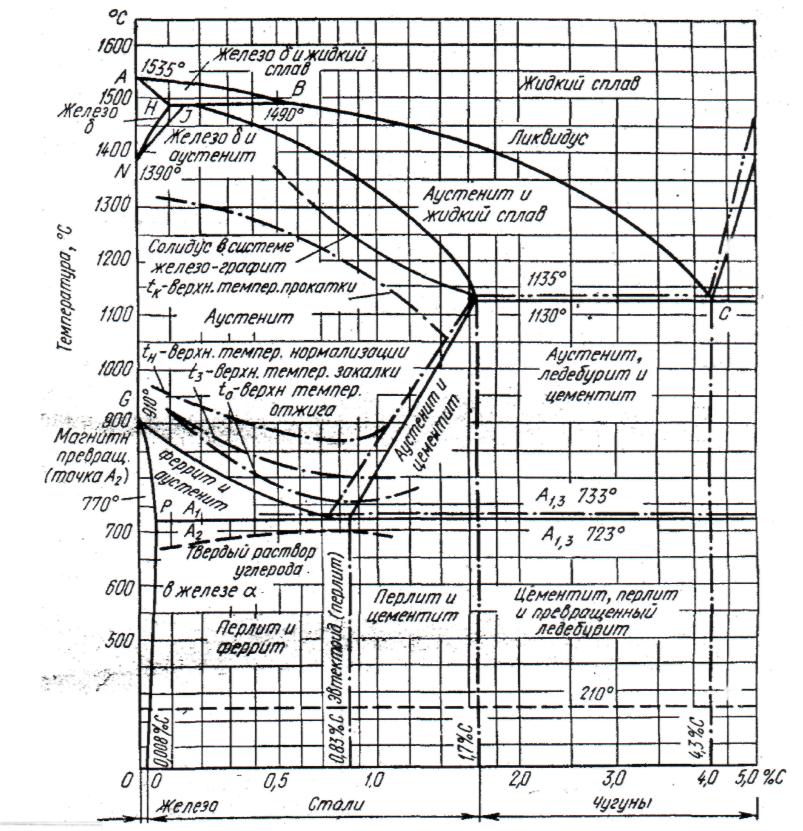


Рисунок 1 - Діаграма стану вуглецевої сталі

(tK - температура нагрівання сталі перед прокаткою)

З виробничої практики відомо, що дуже висока температура сталі і сплавів з підвищенням пластичності викликає ряд перерахованих нижче небажаних явищ, які погіршують прокатування металу і його якість [3].

1. Метал може вийти перегрітим або перепаленим, що приводить до зниження пластичності сталі унаслідок збільшення розміру зерен. Крім того, перепалена сталь з оплавленими межами зерен стає крихкою і є браком.
2. Дуже висока температура нагріву сприяє підвищенню температури кінця прокатки. В цьому випадку унаслідок процесу рекристалізації кінцева продукція може вийти грубозернистою, із зниженими механічними властивостями. В заевтектоїдних вуглецевих сталях при високих температурах кінця прокатки по межах зерен утворюється сітка карбіду (цементитна), а в окремих випадках дуже груба сітка, яка не піддається усуненню термічною обробкою.

3. При високих температурах сталі можливий брак по зневуглецюванню  
сталі, що особливо відображається на якості інструментальних сталей,  
головним чином швидкорізальних.

4. Збільшуються втрати металу від чаду.

Ураховуючи перераховані вище труднощі при визначенні оптимальної температури нагріву металу перед прокатуванням, Н. Ю. Тайц [4] і М. Л. Зарощинський [15] рекомендують розраховувати температуру нагріву вуглецевої сталі по емпіричній формулі:

tн = tсол (373 - 473°K) (1.1.)

де tн - температура нагріву сталі;

tсол - температура по лінії солідуса.

При підвищенні вмісту вуглецю в сталі максимальна температура нагріву знижується: до 1350° С при 0,1% С, 1250 - 1270°С при 0,2% С, 1200 - 1220°С при 0,4% С і 1180 - 1200°С при 0,6% С.

Для інструментально-вуглецевої сталі із вмістом вуглецю 0,8; 1,0 і 1,5% рекомендуємо самостійно знайти температуру нагріву металу, користуючись діаграмою Fe - С.

При визначенні температури кінця нагріву сталі в печі необхідно мати на увазі наступні міркування:

1) метал при вибраній температурі повинен мати однофазну структуру  
твердого розчину, оскільки багатофазна структура характеризується меншою пластичністю, ніж гомогенна або однофазна у зв'язку з відмінністю механічних властивостей фаз при високих температурах;

2) вибрана температура нагріву металу повинна забезпечити, до певної  
міри, інтенсифікацію дифузійного процесу, тобто мимовільне вирівнювання  
концентрації хімічних елементів, карбіду ліквації і інших шкідливих скупчень в  
сплаві.

Тривала витримка при 1000 - 1150°С сприяє видаленню деякої кількості водню із сталі шляхом дифузії і тим самим знижує чутливість її до флокену. Особливо це відноситься до таких флокеночутливих сталей, як шарикопідшипникова, конструкційна, хромонікелева і ін.

Температура нагріву металу також визначається його механічними властивостями при високих температурах. Результати механічних випробувань металу при високих температурах представляють у вигляді графіків, по яких визначають інтервал пластичності металу, що піддають випробуванню і проводять вибір температури металу перед прокаткою і в кінці неї. Один з таких графіків приведений на рис. 2. Температуру нагріву зливків з вуглецевих і легованих сталей перед прокаткою і температуру в кінці прокатки можна визначити по табл. 1.

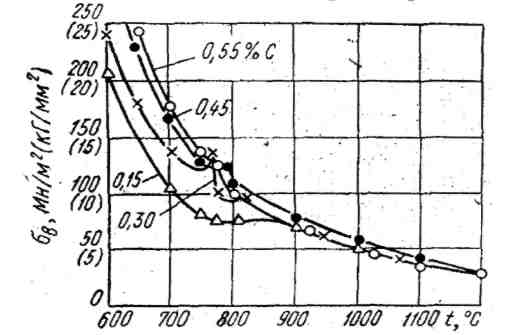


Рисунок 2 - Вплив температури на межу міцності нелегованої сталі з різним вмістом вуглецю

Пояснення до таблиці 1:

1. сталі 18ХНВА, 30ХГСА, 60С2 володіють великою схильністю до наклепу при температурах нижче 850°С;
2. для зменшення полосчатості в структурі готового сорту із сталі 15 температура кінця прокатки повинна бути не нижчим 850 0С;

Температури початку і кінця прокатки різних сталей [2].

1. сталь У7 при температурі нижче 750° С схильна до утворення  
   полосчатої структури, а вище 900° С - до випадання феритної складової;

Таблиця 1. Температура початку і кінця прокатування різних сталей [2]

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Вид сталі | Марка сталі | Температура  початку прокатки, ºС | Температура кінця  прокатки, ºС |
| Конструкційна | 15  12ХНЗА  18ХНВА  30ХГСА  60С2 | 1260  1260  1220  1240  1140 | ≥ 850  ≥ 800  ≥ 850  ≥ 850  ≥ 800 |
| Інструментальна | У7  У12А  ЄИ366  Х12М  Р9  Р18 | 1220  1200  1150  1170  1190  1230 | 750-900  800-850  ≥900  ≥850  ≥900  ≥900 |
| Окалиностійка, нержавіючі, жароміцні, а також стопи з високим омічним опором | Х9С2  1X13  Х17  Х28  1Х25Ю5  1X18Н9  Х18Н11Б  Х18Н25С2  Х23Н18  Х13Н4Г9  1Х14Н14В2М  Х15Н60  Х20Н80 | 1240  1280  1100  1100  1100  1250  1200  1180  1200  1180  1200  1160  1170 | >900  ≥850  Не обмежені  750-850  ≤800  ≥850  ≥900  ≥850  ≥900  ≥900  ≥850  ≥850  ≥800 |

4) для запобігання утворенню в готовому крупному сорті із сталі У12А сітки карбіду температуру кінця прокатки приймають не вище 850°С, а при прокатуванні сорту дрібних розмірів із стороною (20 мм) для запобігання чорного зламу - не нижче 800°С;

5) щоб уникнути утворення графіту в поверхневих шарах виробів із сталі ЗИ366 температура кінця прокатки цієї сталі повинна бути не нижчим 900°С;

6) для сталі Х28 температура кінця прокатки повинна бути в межах 750 - 850° С, оскільки при більш високій температурі готовий прокат має крупне зерно.

Сталі аустенітного класу володіють схильністю до швидкого наклепу, тому для них температуру кінця прокатки приймають не нижче 850° С.

Окрім різноманітних методів визначення температури нагріву сталі перед прокаткою, заснованих на використовуванні діаграм стану сплавів і механічних випробувань металу при високих температурах, у виробничій практиці температуру поверхні tn і середини tc злитка або заготовки визначають також за даними tгаз,т і t0T. Вирішимо цю задачу аналітичним способом з використанням критерійних функцій. Для цього скористаємося методом Л. М. Марієнбаха [17].

1. По таблицях, що є в роботах [18, 19], встановлюють фізичні константи для металу: λ*,* ср, р; а = λ /срр (середні значення в інтервалі температур металу при посаді металу в піч і заданій температурі нагріву).
2. Визначають коефіцієнти теплопередачі а по формулі Шака з поправкою Хейлінгенштедта:

α = 50 + 0,3(tгаз - 700°C) (1.2)

3. Знаходять відношення α S/2 λ, де S - сторона або діаметр тіла, що нагрівається.

1. Визначають відношення 4ατ/S, де τ - час нагріву металу, що розраховується по методу Л. М. Марієнбаха.
2. По знайдених αS/2 λ, і 4ατ/S2 за допомогою діаграм (рис. 3 - 6) знаходять значення відносин:



6. З цих співвідношень визначають tn і tc. Теоретичні методи визначення  
температури нагріву металу не можуть претендувати на абсолютний збіг з  
даними практики. Необхідна додаткова перевірка правильності рішення задачі  
в лабораторних і виробничих умовах. При проектуванні прокатних станів, що  
будуються, або теоретична температура перепалу і максимальна  
температура нагріву [4 - 6] при розробці технології прокатування нових сталей і  
сплавів оптимальні режими нагріву металу розробляють на базі дослідних даних з обґрунтуванням останніх попередніми розрахунками.

Гранична температура нагріву металу перед прокаткою знаходиться в нерозривному зв'язку з швидкістю або часом нагріву. Чим вище температура нагріву, тим більше повинна бути швидкість нагріву.

При невідповідності температури нагрівання його швидкості неминуче виникнення браку у вигляді перегріву або перепалу.

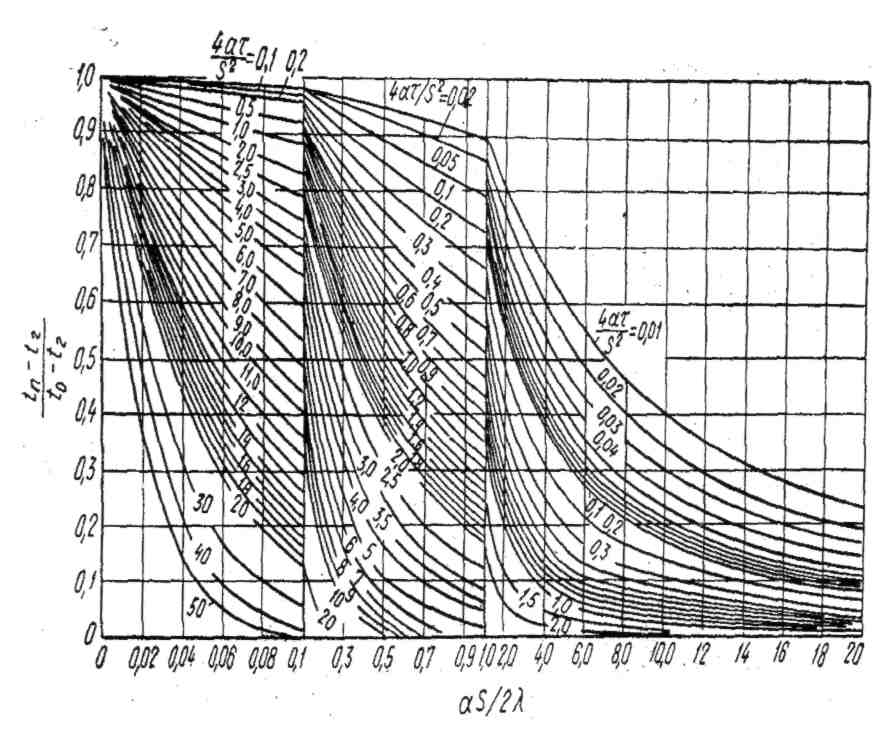


Рисунок 3 - Графік температур Шака для поверхні пластин

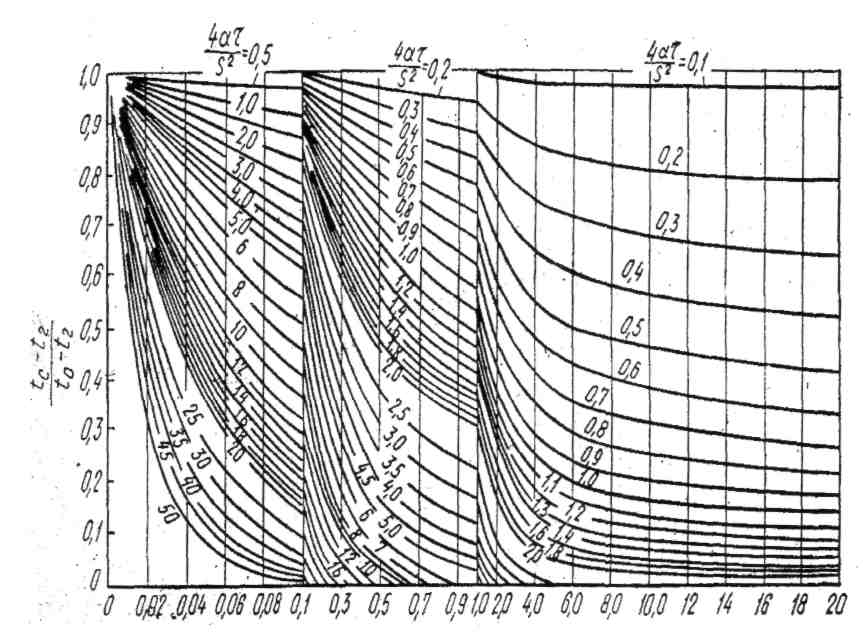


Рисунок4 - Графік температур Шака для середини пластин

***Тривалість нагріву сталі***

В технології нагріву сталі істотну роль грає час нагріву сталі і сплавів. Правильне визначення часу нагріву не тільки забезпечує якість, що вимагається, прокатних виробів, структуру і механічні властивості, але і створює сприятливі умови деформації металу при прокатуванні. Рівномірно прогрітий метал характеризується прямолінійним виходом металу з валків, без вигинів смуги, без дрантя на її поверхні. Такий метал «м'яко» захоплюється валками без ударів. В цьому випадку досягається безаварійна експлуатація і високі техніко-економічні показники роботи стану, забезпечуються безпечні умови праці.

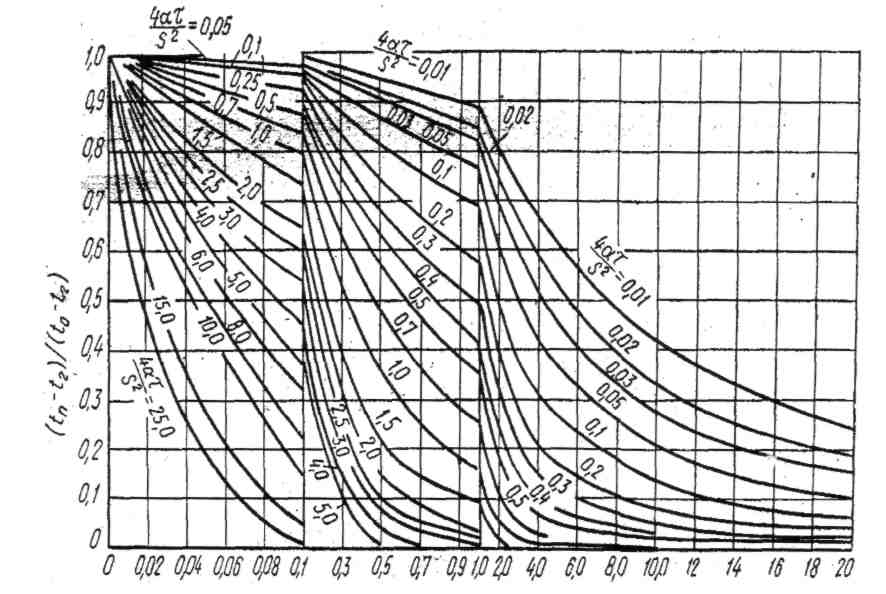


Рисунок5 - Графік температур Шака для поверхні циліндра

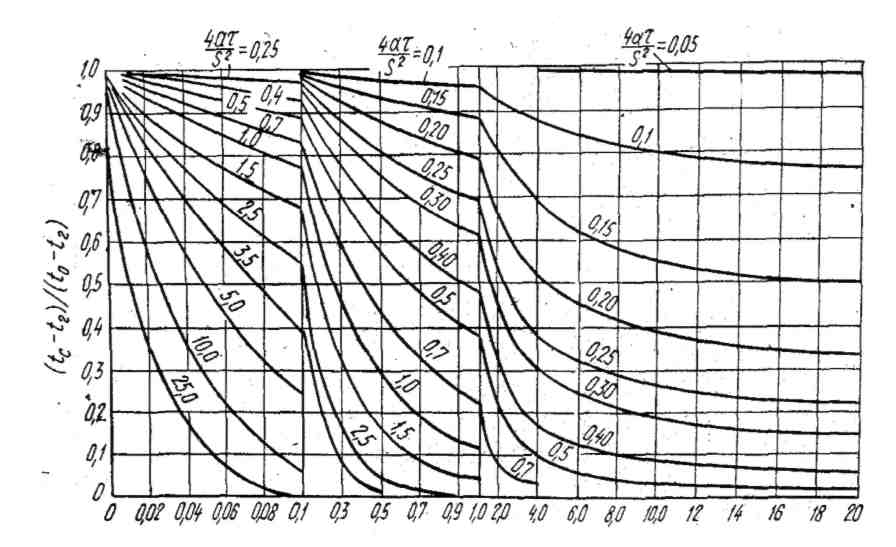


Рисунок 6 - Графік температур Шака для осі циліндра

Для визначення сумарної тривалості нагріву металу в печі і часі нагрівання металу по зонах печі скористаємося тільки кінцевими формулами, приведеними в роботах [4 - 6].

Нижче приведені розрахункові формули різних авторів, по яким можна визначити тривалість нагріву сталі.

Формули Н. Ю. Тайца [4]

При двоступеневому нагріванні:



 г; } (1.3)

τ = τ1 + τ2 г;

 хв./сек.

При трьохступеневому нагріванні:

 г;

 г; } (1.4)

 г;

τ = τ1 + τ2+ τ3 г;

Час нагріву тіл визначають по формулі Н.Ю. Тайца, отриманій на підставі робіт Б.В. Старка [4]:

 (1.5)

Тонке тіло від масивного за даними Р.П. Іванцова відрізняється величиною критерію Біо: для тонкого тіла Ві ≤ 0,25, для масивного тіла Ві ≥ 0,50, для тіла середніх розмірів 0,25 < Ві < 0,50.

*Метод Л. М. Марієнбаха* [5]

Тривалість нагріву сталі τ визначають в наступній послідовності:

1. знаходять дані про фізичні якості матеріалу, що нагрівається, що характеризується наступними параметрами: λ*,* ср; р; α (табл. 2);
2. визначають коефіцієнт теплопередачі α;
3. визначають величину α S/2 λ;

4) обчислюють величину 

1. по діаграмах рис. 3 - 6 знаходять значення 4ατ/S2;
2. з урахуванням значення 4ατ/S2 визначають величину τ, г (задача № 7).

Таблиця 2. Позначення величин для розрахунку

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Найменування величини | Умовне позначення | Одиниці  вимірювання в  системі СІ | Зв'язок з  одиницями інших  систем |
| Коефіцієнт теплопроводності  Питома масова теплоємність  Коефіцієнт температуропроводності  Коефіцієнт теплопередачі ітеплоотдачі  Поверхнева щільність теплового потоку  Час (тривалість нагріву)  Час при ступінчатому нагріві окремо для кожної ступені  Температура газу  Температура печі  Температура поверхні тіла  Температури середини тіла  Початкова температура тіла  Кінцева температура тіла  Початкова температура газу  Початкова температура печі  Різність температури поверхні і середини тіла  Початкова різність темпера­тур поверхні і середини тіла  Найбільша різність температур по перетину  Абсолютна температура  Розрахункова товщина тіла  Радіус перетину циліндра рівновеликого по площі перетину з тілом, що нагріва-ється прямокутного або квадратного перетину | λ  СР  α = λ/ СРρ  α  q  τ  τ1  τ2  τ3  tГАЗ  tПІЧ  tП.Т.  tС.Т.  tО.Т.  tК.Т.  tО.Г.  tО.ПІЧ.  Δt = tП – tC  Δtº = tПº – tCº  ΔtГ  T  S      R | Вт/(м·град)  Дж/(кг·град)  м2 /г  Вт/(м2 »град)  Вт/м2  г  г  °С  °С  °С  °С  °С  °С  °С  °С  °С  °С  °С  °К  м  м | 860кал/(м·г·град)  0,24 кал/(кг·гард)  860кал/(м·г·град)  860кал/м2 ·г  T = t + 273,16°C |

Продовження табл. 2

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| Розрахункова височина  циліндра  Змінення тепловмісту в різні періоди нагрівання  Формули для визначення змін тепловмісту по зонам печі  Абсолютна температура продуктів горіння, що улітають  Поправочний коефіцієнт часу нагрівання, що враховує форму тіла  Питома тривалість нагрівання  Однократна загрузка печі  Часова продуктивність печі  Довжина робочого простору печі  повна  активного поду  камера, що підогріває  зварочної камери  Температурний градієнт  Критерій Фур’є  Критерій Біо  Швидкість нагрівання  Коефіцієнт лінійного теплового розширення металу  Коефіцієнт об'ємного розширення металу  Відношення маси тіла, що нагрівається до його поверхні | H  Δi1, Δi2, Δi3  Δi1 = i1 - i0  Δi2 = i2 – i1  Δi3 = i3 – i2  Tуход.г  k1      z = 60τ  S  Gпіч  G  lп.дл.  lп.дл.  lакт.  lпод.  lзвар.  Grad t      C  α1  β = 3 α1 | м  Dж/кг  Dж/кг  Безрозмірний(для платин k1 = 1, для циліндра k1=2, для шару k1 = 3)  хв./см  кг  кг/г  м  м  м  м  м  °С/м  Безрозмірний  Безрозмірний  °С/г  град-1  град-1  кг/м2 | 0,24 кал/кг  0,24 кал/кг |
|  |

*Метод Н.М.Іцковича [6]*

Н.М. Іцкович запропонував наступні формули для наближених розрахунків часу нагріву по зонах печі, години:





 (1.6)



Час нагріву металу в кожній зоні, отримане по формулах (1.6) перевіряють по інших формулах:

**Ошибка! Ошибка внедренного объекта.**

**Ошибка! Ошибка внедренного объекта.** (1.7)

**Ошибка! Ошибка внедренного объекта.**

Визначення значень Δі, Δt1 Δt2 і Δt3 детально розглянуто в роботі [6].

Визначення тривалості нагріву металу до температури початку прокатки по методах, приведених в роботах [4 - 6], можна рекомендувати тільки інженерам проектних організацій, оскільки для цієї роботи буде потрібно багатьох часу. У виробничих умовах для вирішення цієї задачі використовують перераховані нижче напівемпіричні формули, добре перевірені на практиці.

1. Формула М.М. Доброхотова [20]:

 г, (1.8)

де τ - час нагріву від 0 до 1200° С;

D - діаметр круглої або сторона квадратної заготовки;

k1 - постійний коефіцієнт (k1 = 10 для м'якої сталі k1 - 20 для

високолегованої сталі). Аналогічна формула приведена в роботі [21]:

 г, (1.9)

де *а* - 1÷4 - коефіцієнт, що ураховує спосіб укладання заготовок в печі (рис. 7), тобто коефіцієнт, що ураховує нерівномірність підведення тепла з різних сторін заготовки;

k1 - дослідний коефіцієнт, що ураховує температуропровідність сталі

k1 = 12,5 для вуглецевої і легованої сталі і k1 = 20÷25 для високолегованої;

D - розмір поперечного перетину заготовки.

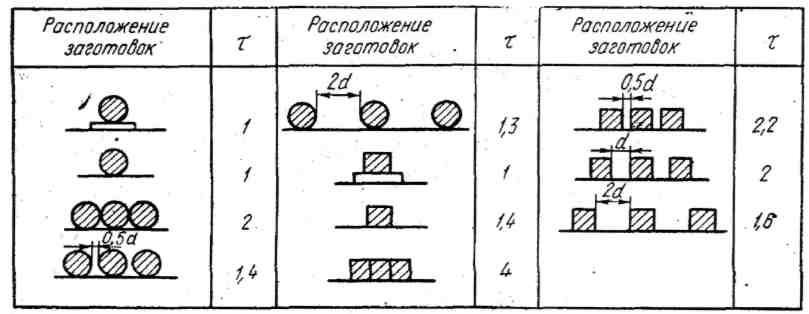


Рисунок 7 - Вплив розташування заготовок в піч під час нагрівання

2. Формула Н. Ю. Тайца [4]:

 хв., (1.10)

де S - товщина зливка. Формула придатна для визначення часу нагріву заготовок з низьковугле­цевих сталей в методичних печах при температурі газів 800 - 850° С, що йдуть.

3. Формула, рекомендована Всесоюзною конференцією в 1938 р. по  
стахановських методах термічної обробки чорних металів:

 (1.11)

де S - товщина металу, що нагрівається, м;

n - показник ступеня, визначається дослідом;

*а* - коефіцієнт температуропровідності.

Відповідно до досліджених даних величина питомої тривалості нагріву зливків 2 змінюється в наступних межах: 12 - 14 хв./см для вуглецевої і легованої сталі, 21- 23 хв./см для шарикопідшипникової сталі, 8 - 10 хв./см - для м'якої сталі.

Час нагріву можна визначити по формулі:

τ = kS (1.12)

За останній час в металургійній і машинобудівній промисловості почали використовувати прогресивний, так званий швидкісний, метод нагріву металу [4, 22]. Так, за даними заводу «Електросталь» для зливків з швидкорізальної сталі Р18 тривалість нагріву можна визначити по формулі (1.12) або

 г, (1.13)

де S - сторона, або діаметр перетину.

Менші значення к приймають для зливків перетином менше 250x250 мм, а великі - для зливків перетином більше 250х250 мм.

За даними Ю. М. Чижикова [23], коефіцієнт к вибирають залежно від виду сталі: Сталь k

Вуглецева 0,10 - 0,15

Легована конструкційна 0,15 - 0,20

Високолегована конструкційна і спеціальна 0,20 - 0,30

Високолегована інструментальна.... 0,30 - 0,40

Цей коефіцієнт тим менше ніж більше теплова потужність нагрівальних печей. При гарячому садінні зливків тривалість нагріву залежить від їх темпера­тури при садці: вона тим менше ніж вище температура. Тривалість нагріву гарячих зливків в колодязях можна визначити по формулі:

τ = kS - 0,006 (t - 200) г, (1.14)

де t - температура металу при посаді;

k - коефіцієнт, що ураховує вплив складу сталі і умов нагріву.

На одному з металургійних заводів дійсні графіки нагріву гарячих зливків леговані сталей масою 5000 - 6000 кг відповідали наступній залежності:

τ = 7,0 - 0,006(t - 200) г, (1.15)

**ПРИКЛАДИ РІШЕННЯ ЗАДАЧ**

***Визначення температури нагріву сталі***

*Задача № 1.* Визначити граничну температуру нагріву злитка доевтектоїдної вуглецевої сталі 15 наступного хімічного складу %: 0,13 С; 0,25 Si; 0,44 Mn; 0,026 S; 0,018 Р; 0,07 Сг; 0,17 Ni. Сталь належить до перлітного класу її критичні точки: AC1 = 735° С; АC3 = 863° С, Аr3 = 840° С; Аr1 = 685° С.

*Рішення*

По діаграмі Fe - С (рис. 2) для сталі заданого хімічного складу температура по лінії солідуса *tсол* = 1460°С. По формулі (1.1.) початкова гранична температура:

*t*поч = *tсол* - 200° = 1460 - 200 = 1260°С

Результати механічних випробувань при високих температурах показують, що сталь 15 володіє найвищою пластичністю в інтервалі 1200 -1300° С [2].

*Задача № 2.* Визначити граничну температуру нагріву злитка із сталі У7 наступного хімічного складу %: 0,73 С, 0,27 Si, 0,25 Мn, 0,028 S, 0,015 Р, 0,08 Сr, 0,25 Ni. Доевтектоїдна сталь У7 відноситься до перлітного класу, її критичні точки: AC1 = 730° С; АC3 = 770° С; Аr1 = 700° С (в умовах повільного охолоджування).

*Рішення*

По формулі (1.1):

*tсол* = 1380 0С;

tH = *tсол* - 160°С = 1380 - 160 = 1220°С

Результати механічних випробувань [12] показали, що сталь У7 володіє хорошою пластичністю в інтервалі температур 700 - 1250° С.

tсол = 1330°С;

tн = tсол - 130°С = 1330 - 130 = 1200°С

*Задача № 3.* Визначити граничну температуру нагріву злитка із сталі 1Х21Н5Т.

*Рішення*

Ця сталь двофазна, неіржавіюча ферито - аустенітного класу, яка, згідно рис. 8, має до температури 840° С структуру α + γ +σ, а в інтервалі температур 840 - 1200° С зберігає двофазну структуру α + γ в інтервалі 1200 - 1420° С сплав стає однофазним *а.* З 1420° С і вище сплав переходить в рідку фазу. Сталь 1Х21Н5Т має підвищені параметри пластичності в інтервалі температур 900 - 1200° С, а саме: δ =95 ÷ 143% і ψ *=* 91,0 ÷ 78%.

Пластичність даної сталі залежить від співвідношення вмісту фериту і аустеніту. Максимальну пластичність сталь має при α/γ = 4 (α = 80% γ = 20%; рис. 9 і 10). Отже, температура нагріву злитків повинна бути не нижчим 1200 і не вище 1300°С.

Більш високу температуру нагріву зливка прийняти не можна, оскільки з підвищенням температури нагріву спостерігається зростання зерен фериту, різко знижуються механічні властивості сталі, вона стає крихкою (рис. 11).



Рисунок 8 - Діаграма стану Fe - Cr – Ni

Рисунок 9 - Вплив температури на число скручувань та мікроструктуру зразків різних плавок при крутіння (по Шину Р.Г.)



Рисунок 10 - Змін пластичних властивостей сталі в залежності від відношення аустеніту у і фериту а в металі (за даними А.А. Бабакова):

ab - структурна область сталей аустеніто - феритного класу при високих температурах; cd - структурна область двофазних сталей ферито – аустенітного класу при високих температурах; А - область задовільної пластичності;

Б - область зниженої пластичності; В - область поганої пластичності.



Рисунок 11 - Змін величини зерна феритних (1) і аустенітних (2) сталей в залежності від температури

*Задача № 4.* Заготовку круглого перетину діаметром 200 мм з м'якої вуглецевої сталі нагрівають в печі при температурі газу tr = 1250° С. Початкова температура металу t0 = 0° С. Визначити температуру поверхні і середини заготовки, якщо метал в печі нагрівають в продовж τ = 30 хвилин.

*Рішення*

Фізичні параметри сталі:

*λ* = 51,17 вт/(м·град) · [44 ккал/(м2·г·трад.)];

*а =* 0,0446 м2/г;

*α* = 249,4 вт/(м2·град) [215 ккал/(м·г·град.)];





Із рис. 5 по значенням аS/ 2λ, і ατ/S2 знаходимо, що .

Тоді 

Звідки tn = 0,15(0 - 1250) + 1250 = 1080°C.

Із рис. 6 знаходимо, що 

Тоді  або tc = 0,20(0 - 1250) + 1250 = 1000°C

Отже, через 30 хвилин температура на поверхні заготовки буде tn = 1080° С, а в центрі tц = 1000° С. Різність температур між поверхнею і центром буде

Δt = 1080 - 1000°С = 80°С.

***Приклади рішення задач за визначенням тривалості нагріву сталі***

*Задача № 5[4].* Визначити тривалість нагріву зливків розмірами 680x680x2000 мм із сталі 20 до температури поверхні 1280° С. Початкова температура зливка 20° С. Умови нагріву в рекуперативних колодязях наступні:

1. Нагрів двоступеневий: перший період - при постійній тепловій потужності; другий період - при постійній температурі печі.
2. Середні теплові потоки і зміни тепловмісту металу: в перший період q1 = 93,02 кВт/м2 (80000 ккал/м2·г) і Δі = 582,12 кДж/кг (138,6 ккал/кг); в другий період q2 = 37,82квт/м2 (32600 ккал/м2·г) і Δі2 = 292,32 кДж/кг (696 ккал/кг).

*Рішення*

Квадратний перетин зливка замінюють круглим рівновеликій площі. Радіус кола в цьому випадку дорівнює:

 м

Загальну тривалість нагріву зливка визначають за формулою (1.3):



де ρ = 7800 кг/м3.

В одиницях системи СІ (1 Дж = 2,78 ·10~4 Вт·г):

*г*

*Задача № 6.* В нагрівальних колодязях нагрівають зливок сталі з 0,7% С. Розміри зливка 680x680x2000 мм. Початкова температура зливка 20° С;

ρ = 7750 кг/м3. Визначити тривалість нагріву зливка (по періодах). Нагрів триступеневий. Перший період - з обмеженою швидкістю до 500° С в середині; другий період - при постійному зростанні теплової потужності; третій період - при постійній температурі печі. Визначити час нагріву зливка до кінцевої температури поверхні tп.к.= 1250° С.

*Рішення*

Повну тривалість нагріву зливка визначають по формулі (1.4), в якій

k = 1 для квадратного перетину. Відомо, що: Δі1 = 352,00 кДж/кг (83,9 ккал/кг); Δі2 = 223,00 кДж/кг (53,2 кал/кг); Δі3= 261,4 кДж/кг (62,4 ккал/кг); q1 =36,19 кВт/м (31 200 ккал/м·г); q2= 48,72 кВт/м2 (42 000 ккал/м2·г); q3 = 26,91 кВт/м2 (23 200 ккал/м2·г).

Тоді

*г.*

По формулах (1.4) визначаємо: τ1 *=* 3,97 г; τ2= 1,89 г; τ3= 4 г, тоді

τ =τ1 + τ2 + τ3 = 3,97 + 1,89 + 4,0 = 9,86 г.

*Задача № 7* [4]. Визначити тривалість нагріву зливка вуглецевої сталі із вмістом 0,3% С при гарячому посаді в осередок рекуперативних колодязів. Розміри зливка  мм. Початкова температура поверхні зливка

tnх = 850° С, кінцева  = 1250°С при перепаді ∆t = 50°С. Температура повітря tпов - 20°С. При рішенні приймають наступні кінцеві результати теплотехнічних розрахунків, виконаних Н. Ю. Тайцем стосовно умов даної задачі [4]:

1) тепловий потік охолоджування q0 = 86,65 кВт/м (74 700 ккал/м·г)

 кВт/м2 (74700 ккал/·г)

де α0 - коефіцієнт тепловіддачі охолоджування знаходиться по графіку рис. 12;

1. тепловий потік першого періоду нагріву q1 = 63,8 кВт/м2 (5500 ккал/м2·г);
2. тепловий потік другого періоду q2 = 12,6 кВт/м2 (10800 ккал/м2·г);
3. початкова температура середини зливка t = 1200°С;
4. середня температура на початку посадки tп = 1025°С;
5. температура поверхні зливка в першому періоді tn1 = 1115°С.



Рисунок 12 - Змін коефіцієнта тепловіддачі при охолоджені тіла на повітрі

*Рішення*

1. Розрахунковий радіус зливка:

 м

2. Тривалість першого періоду нагріву зливка:

a) 

б) 

де λ *=* 41,7 вт/м·град. (36,3 ккал/м· г°С) для вуглецевої сталі при 1000ºС;

в) з рис. 13 за отриманими даними визначаємо:



тоді  години,

де *а* = 0,028 м2 /г - коефіцієнт температуропровідності.



Рисунок 13 - Відносна температура (tqn - tcp) 2λ/q0R = Ф (ατ/R2; q/q0) поверхні циліндра при постійному тепловому потоці ті при наявності температурного градієнту в початковий момент

3. Температуру осі зливка toc за даними q1 / q0 і ατ / S2 визначаємо з рис. 14: Ф = - 0,2, звідки:



4. Середня температура зливка:



де Ср = 695 дж/кг·град (167 кал/кг·град).

1. Тепловміст i1 знаходять по табл. 5; при t1 = 1067° С i1 =745,8 кДж/кг

(178 ккал/кг).

6. Δі2 = і2 – і1 = 860,19 - 745,8- 114,39 кДж/кг (27,3 ккал/кг), де і2 знаходиться з табл. 5 по середній температурі другого періоду нагріву зливків, дорівнює

.

7. Середній тепловий потік:

кВт/м2 (27000 ккал/ м2·г)



Рисунок 14 - Відносна температура (tcp - to) x 2λ/q0R = Ф (ατ/R2; q/q0) пo осі циліндра при постійному тепловому потоці та при наявності температурного градієнту в початковий момент

8. Тривалість нагріву за другий період

 години.

9. Загальна тривалість нагріву

τ = 0,163 + 1,28 = 1,443 години.

*Задача № 8* [4]. Визначити тривалість нагріву заготовки із сталі Ст.3 квадратного перетину розмірами 140 х 140 мм, завдовжки 1,45 м до кінцевої температури поверхні заготовки tкп= 1250° С в методичній дворядній печі, що працює по двозонному температурному режиму. Продуктивність печі G = 55 т/г; початкова температура поверхні заготівки tп = 0°С, кінцевий перепад температур по перетину заготівки Δt 40° С.

*Рішення*

1. Загальний час нагріву

 години.

де  - площа активного череня печі, дорівнює:

 м2

2S = 140 мм - товщина заготовки;

Н = 700 кг/м2·г - напруженість активного череня печі.

2. Час нагріву металу в томильній печі з монолітним черенем



де n = 2 - число заготовок по ширині печі.

3. Час нагріву металу в зварювальній зоні з двостороннім нагрівом:

 години.

Розрахунок зміни тепловмісту Δі2 і середнього теплового потоку q2 є приведений в роботі Н. Ю. Тайца і Ю. Н. Розенгарта [20].

4. Час нагріву в методичній зоні

τ1 =τ – (τ2 + τ3) = 1,56 - (0,26 + 0,77) = 0,535 години.

*Задача № 9* [4]. Визначити тривалість нагріву круглих зливків діаметром 412 мм і заввишки 1800 мм із сталі марки D до tП.К. = 1280° С за наступних умов: початкова температура металу tn = 20° С, кінцева різниця температур ΔtK= 60° С продуктивність печі G = 35 т/ г.

Зміни тепловмісту: в методичній зоні Δі1 = 388,92 кДж/кг (92,6 ккал/год.), в зварювальній зоні Δі2 = 491,4 кДж/кг (117 ккал/г).

Середні теплові потоки: в методичній зоні q1= 66,81 кВт/м (57 600 ккал/м2 ·г) в зварювальній зоні q2 = 48,95 кВт/м (42 200 ккал/м2 ·г). Значення Δі1, Δі2, q1 і q2 є прийнятий за даними Н. Ю. Тайца [4].

*Рішення*

1. Тривалість нагріву в методичній зоні при односторонньому нагріві

 години,

2. Тривалість нагріву в зварювальній зоні

г,

де μ = 0,75 коефіцієнт несиметричної нагріву.

3. Загальна тривалість нагріву: τзаг =τ1 +τ2 = 2,48 + 3,22 = 5,70 годин

4. Питома тривалість нагріву:  хв./см.

*Задача № 10* [4]. Визначити тривалість нагріву в кільцевій печі заготовки діаметром d = 250 мм, завдовжки 5,0 м із сталі марки D до tП.К. = 1250° С при ΔtK = 30° С, виходячи з таких даних Δі1= 505,68 кДж/кг (120,4 ккал/кг);

Δі2= 36372 кДж/кг (86,6 ккал/кг); q1 = 51 кВт/м2 (44 000 ккал/м2·г); q2 = 49,3 кВт/м2 (42 500 ккал/м2); ρ = 7800 кг/м3.

*Рішення*

1. Час нагріву в методичній зоні

г

2. Тривалість нагріву в зварювальній зоні

 години.

де  - розрахунковий радіус з урахуванням коефіцієнта несиметричності нагріву μ = 0,54 (за даними Н. Ю. Тайца).

3. Повна тривалість нагріву: τ = 1,47+1,1=2,57години

4. Питома тривалість нагріву: z = = 6,17 хв./см.

*Задача №11* [5]. Метал круглого перетину діаметром 200 мм з м'якої вуглецевої сталі знаходяться в печі з температурою tn - 1250° С. Визначити, скільки буде потрібно часу, щоб поверхня заготівки нагрілася до 1000° С. Початкова температура металу 0° С.

*Рішення*

(по методиці Л. М. Марієнбаха).

1. Знаходять фізичні параметри, приведені в табл. 3.

Таблиця 3. Фізичні параметри

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| t,°C | λ | | С**р** | | Р, кг/м3 | м2г |
|  | вт/м·град | (ккал м·г·град) | кДжк·град | ккал к·град |  |  |
| 0  1000  середня | 60,48 41,87 | 52 36  44 | 0,46 0,68  - | 0,110 0,163  - | 7850  7530  - | 0,0596 0,0297 0,0446 |

2. Коефіцієнт теплопередачі визначають по емпіричній формулі Шака з  
поправкою Хейлінгенштедта:

*а =* 50 + 0,3 (tr - 700°С) = 50 + 0,3 (1250°С - 700°С) = 250,1 вт/м2град (215ккал/м2·г·град).

3. Критерій:





1. По графіку Шака (рис. 5) знаходять, що точка перетину осей (0,50; 0,2) потрапляє на криву  = 2.
2. З рівняння 

знаходять, що τ = 0,45 години 27 хвилин, звідки z = 27/20 = 1,35хв./см.

Таким чином через 27 хвилин поверхня заготовки нагрівається до 1000° С.

*Задача №12* [6]. Визначити тривалість нагріву вуглецевої заготовки квадратного перетину розмірами 120х120х1350 мм до температури поверхні металу tпов = 1250° С за наступними даними: піч дворядна; активна довжина печі 1акт = 26,4 м; довжина камери підігріву tпід = 13,8 м; довжина зварювальної камери 1св= 6,8 м; довжина камери томління 1том = 5,8 м; продуктивність печі G = 36 500 кг/г.

*Рішення*

(по методиці М.М. Іцковича).

1. Одноразове завантаження печі

Gпіч = 21загsρ1акт = 2·1,35·0,12·7800·26,4 = 67000 кг.

2. При G = 36 500 кг/г час нагріву складе:

 години.

3. Тривалість нагріву металу в кожній зоні печі дорівнює:

 г.

 г.

 г.

τ = τпод + τсв+ τтом = 0,965 + 0,475 + 0,410 = 1,85 години.

4. Питома тривалість або швидкість нагріву

z = = 9,25 хв./см.

*Задача № 13*[6]. За умов нагріву, приведених в задачі № 12, визначити тривалість нагріву вуглецевої заготовки квадратного перетину розмірами 120x120x1350 мм з урахуванням перерахованих нижче даних.

Приріст тепловмісту металу: в камері підігріву Δігод. = 327,6 кДж/кг (78 ккал/кг); в зварювальній камері Δізвар = 424,2 кДж/кг (101 ккал/кг); в камері томління Δітом = 71,4 кДж/кг (17 ккал/кг). Температура газів Твідх, що йдуть = 800° С. Різність температур по перетину заготовки: в зоні підігріву Δі1 = 78° С; в зварювальній зоні Δі2 = 170° С; в зоні томління Δі3 = 27° С.

Визначимо тривалість нагріву заготовки в кожній зоні печі по формулах (1.7):



 г

г

Загальна тривалість нагріву τ = 0,93 + 0,46 + 0,41= 1,80 години.

Метод визначення Δі і Δt достатньо детально є викладений в роботі [20].

***Визначення часу нагріву по напівемпіричних формулах***

*Задача № 14.* Визначити тривалість нагріву в нагрівальних колодязях зливка вуглецевої сталі вмістом С = 0,3% і розмірами:  мм, якщо температура зливка при посадці в колодязі дорівнює t *-* 850° С.

*Рішення*

Тривалість нагріву зливка до температури прокатування визначаємо по формулі (1.14):

τ = kS - 0,006 (t - 200°С) = 0,1·69 - 0,006 (850°С - 200°С) = 3 години.

*Задача № 15.* Визначити тривалість нагріву сталевого зливка розмірами 680x680x2000 з 0,7% С до температури прокатування. Зливок садять в піч при t*0* = 20°С.

*Рішення*

По формулі Н. Ю. Тайца (1.10) час нагріву зливка:

τ = (7,5 + 0,05S) S = (7,5 + 0,05 - 68) - 68 = 741,2 хв. = 12,35 години.

Питома тривалість нагріву:  хв./см.

По формулі М. М. Доброхотова (1.8):

τ =  = = 11,2 годин.

 хв./см.

**Завдання до задач № 1 – 3**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| № варіанта |  | | |
| 1 | Сталь 10 | У7 | 20Х2НЧА |
| 2 | Сталь 15 | У8 | 25Х2НЧВА |
| 3 | Сталь 20 | У9 | 40ХНВА |
| 4 | Сталь 30 | У10 | 12Х2НЗМА |
| 5 | Сталь 25 | У4 | 13Н2ХА |
| 6 | Сталь 35 | У12 | 30ХГНА |
| 7 | Сталь 40 | У13 | ЗОХГТ |
| 8 | Сталь 45 | У7 | 40Х |
| 9 | Сталь 50 | У8 | 8ХФ |
| 10 | Сталь 55 | У9 | 45ХНМФА |
| 11 | Сталь 60 | У10 | 12Х1МФ |
| 12 | Сталь 65 | У11 | ШХ15 |
| 13 | Сталь 70 | У12 | ШХ15СТ |
| 14 | Сталь 75 | У13 | ХВГ |
| 15 | Сталь 10 | У7 | 9ХС |
| 16 | Сталь 15 | У8 | 30ХГСНА |
| 17 | Сталь 20 | У9 | Х12М |
| 18 | Сталь 25 | У10 | 60Х2Н |
| 19 | Сталь 30 | У11 | Х23Н18 |
| 20 | Сталь 35 | У12 | 12Х18Н10Т |
| 21 | Сталь 40 | У13 | Х12Ф1 |
| 22 | Сталь 45 | У7 | Р9 |
| 23 | Сталь 50 | У8 | Р18 |
| 24 | Сталь 55 | У9 | Х13М |
| 25 | Сталь 60 | У10 | 38Х5МСФА |

**Завдання до задачі № 4**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| № варіанта | Заготовка | **tГ**, °С | **t0**, ºС | τН, г. |
| 1 | О 80 | 11200 | 20 | 0.1 |
| 2 | О 100 | 1250 | ЗО | 0,2 |
| 3 | О 120 | 1300 | 40 | 0,3 |
| 4 | О 140 | 1200 | 50 | 0,4 |
| 5 | О 160 | 1250 | 80 | 0,5 |
| 6 | О 180 | 1300 | 100 | 0,6 |
| 7 | О 200 | 1200 | 120 | 0,7 |
| 8 | □ 50 | 1250 | 140 | 0,8 |
| 9 | □ 80 | 1300 | 160 | 0,9 |
| 10 | □ 100 | 1350 | 180 | 0,8 |
| 11 | □ 120 | 1200 | 200 | 1 |
| 12 | □ 140 | 1250 | 220 | ІД |
| 13 | □ 160 | 1300 | 240 | 1,2 |
| 14 | □ 180 | 1350 | 250 | 1,3 |
| 15 | □ 200 | 1200 | 270 | 1,4 |
| 16 | 60x120x6000 | 1250 | 290 | 1,5 |
| 17 | 80x120x6000 | 1300 | 300 | 1,6 |
| 18 | 50x100x6000 | 1350 | 310 | 1,7 |
| 19 | О 110 | 1200 | 320 | 1,8 |
| 20 | О 130 | 1250 | 350 | 1,9 |
| 21 | О 150 | 1300 | 360 | 2 |
| 22 | О 170 | 1350 | 370 | 0,1 |
| 23 | □ ПО | 1200 | 300 | 0,2 |
| 24 | □ 130 | 1250 | 250 | 0,3 |
| 25 | □ 150 | 1300 | 200 | 0,4 |

**Завдання до задачі № 5**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| № варіанта | Зливок, мм | Сталь | **tП**, °С | **t0**, ºС |
| 1 | 500x500x2000 | 20 | 1240 | 20 |
| 2 | 550x550x2000 | 45 | 1260 | 40 |
| 3 | 600x600x2000 | 0,8Ю | 1280 | 60 |
| 4 | 620x620x2000 | 20Х2Н4А | 1300 | 80 |
| 5 | 640x640x2000 | 25 | 1100 | 100 |
| 6 | 660x660x2000 | 30 | 1150 | 120 |
| 7 | 680x680x2000 | 35 | 1180 | 140 |
| 8 | 700x700x2000 | 40ХР | 1200 | 160 |
| 9 | 500x500x2500 | 35ХГ2 | 1000 | 150 |
| 10 | 550x550x2500 | 18ХГН | 1050 | 11О |
| 11 | 600x600x2500 | 20ХНР | 1070 | 11О |
| 12 | 620x620x2500 | 40ХФА | 1100 | 100 |
| 13 | 640x640x2500 | У7 | 1120 | 70 |
| 14 | 660x660x2500 | У8 | 1140 | 90 |
| 15 | 680x680x2500 | У9 | 1160 | 50 |
| 16 | 600x600x2200 | 7X3 | 1180 | 200 |
| 17 | 620x620x2200 | 25Х2ГНТА | 1200 | 210 |
| 18 | 640x640x2200 | 50ХФА | 1220 | 230 |
| 19 | 660x660x2200 | 65Г | 1240 | 250 |
| 20 | 680x680x2200 | 50Х | 1260 | 270 |
| 21 | 400x400x2000 | 25ХГСА | 1280 | 300 |
| 22 | 400x400x2200 | 35ХГФ | 1250 | 310 |
| 23 | 400x400x2500 | 40ХН | 1230 | 330 |
| 24 | 450x450x2000 | 40ХМФА | 1210 | 350 |
| 25 | 450x450x2500 | А30 | 1200 | 370 |

**Завдання до задачі № 6**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № варіанта | **С**,% | Розмір зливка | **t0**, °С | **t1**, ºС | **tК.П.**, ºС |
| 1 | 0,1 | 500x500x2000 | 10 | 400 | 1240 |
| 2 | 0,2 | 520x520x2000 | 20 | 500 | 1250 |
| 3 | 0,3 | 520x520x2000 | 30 | 520 | 1260 |
| 4 | 0,4 | 540x540x2000 | 40 | 540 | 270 |
| 5 | 0,5 | 560x560x2000 | 50 | 560 | 1280 |
| 6 | 0,6 | 580x580x2000 | 60 | 580 | 1255 |
| 7 | 0,7 | 600x600x2000 | 70 | 600 | 1265 |
| 8 | 0,8 | 620x620x2000 | 80 | 510 | 1275 |
| 9 | 0,9 | 640x640x2000 | 90 | 530 | 1285 |
| 10 | 1 | 660x660x2000 | 100 | 550 | 1250 |
| 11 | 1,1 | 680x680x2000 | ПО | 570 | 1260 |
| 12 | 1,2 | 700x700x2000 | 120 | 590 | 1270 |
| 13 | 1,3 | 500x500x2500 | 130 | 610 | 1280 |
| 14 | 0,1 | 520x520x2500 | 140 | 620 | 1200 |
| 15 | 0,2 | 540x540x2500 | 150 | 630 | 1210 |
| 16 | 0,3 | 560x560x2500 | 160 | 640 | 1220 |
| 17 | 0,4 | 580x580x2500 | 170 | 650 | 1230 |
| 18 | 0,5 | 600x600x2500 | 180 | 660 | 1240 |
| 19 | 0,6 | 620x620x2500 | 190 | 170 | 1250 |
| 20 | 0,7 | 640x640x2500 | 200 | 680 | 1260 |
| 21 | 0,8 | 660x660x2500 | 210 | 690 | 1270 |
| 22 | 0,9 | 700x700x2500 | 220 | 700 | 1280 |
| 23 | 1 | 720x720x2500 | 230 | 710 | 1250 |
| 24 | 1,1 | 740x740x2500 | 240 | 720 | 1260 |
| 25 | 1,2 | 760x760x2500 | 250 | 730 | 1270 |

**Завдання до задачі № 7**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № варі­анта | Вміст С, % | Розмір зливка | **tП**, °С | **tК.П.**, ºС | **Δt**, °С | **tВ**, ºС |
| 1 | 0,1 |  | 850 | 1250 | 50 | 20 |
| 2 | 0,2 |  | 850 | 1260 | 60 | 21 |
| 3 | 0,3 |  | 850 | 1270 | 70 | 22 |
| 4 | 0,4 |  | 840 | 1280 | 50 | 23 |
| 5 | 0,5 |  | 840 | 1260 | 60 | 24 |
| 6 | 0,6 |  | 840 | 1270 | 70 | 25 |
| 7 | 0,7 |  | 830 | 1280 | 50 | 26 |
| 8 | 0,8 |  | 830 | 1240 | 60 | 27 |
| 9 | 0,9 |  | 830 | 1255 | 70 | 28 |
| 10 | 1 |  | 820 | 1265 | 55 | 29 |
| 11 | 1,1 |  | 820 | 1275 | 65 | 30 |
| 12 | 1,2 |  | 820 | 1280 | 75 | 31 |
| 13 | 1,3 |  | 820 | 1250 | 55 | 32 |
| 14 | 1,2 |  | 810 | 1250 | 65 | 33 |
| 15 | 1,1 |  | 810 | 1240 | 75 | 34 |
| 16 | 1,0 |  | 810 | 1240 | 50 | 35 |
| 17 | 0,9 |  | 800 | 1260 | 60 | 25 |
| 18 | 0,8 |  | 800 | 1260 | 70 | 26 |
| 19 | 0,7 |  | 800 | 1270 | 50 | 87 |
| 20 | 0,6 |  | 850 | 1270 | 60 | 28 |
| 21 | 0,5 |  | 850 | 1250 | 70 | 29 |
| 22 | 0,4 |  | 840 | 1250 | 50 | 30 |
| 23 | 0,3 |  | 840 | 1260 | 60 | 31 |
| 24 | 0,2 |  | 830 | 1260 | 70 | 32 |
| 25 | 0,1 |  | 830 | 1270 | 50 | 33 |

**Завдання до задачі № 8**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № варіанта | Розмір заготовки | **tК.П.**, ºС | **G,** т/г | **tН**, °С | **ΔtК**, °С |
| 1 | 100x100x1500 | 1250 | 50 | 20 | 40 |
| 2 | 110x120x1500 | 1260 | 52 | 22 | 45 |
| 3 | 130x130x1500 | 1270 | 54 | 24 | 50 |
| 4 | 140x140x1500 | 1280 | 55 | 26 | 55 |
| 5 | 150x150x1500 | 1240 | 56 | 28 | 60 |
| 6 | 100x100x1700 | 1240 | 57 | 30 | 40 |
| 7 | 110x110x1700 | 1250 | 58 | 25 | 40 |
| 8 | 120x120x1700 | 1250 | 59 | 27 | 50 |
| 9 | 130x130x1700 | 1260 | 60 | 29 | 50 |
| 10 | 140x140x1700 | 1270 | 51 | 32 | 55 |
| 11 | 150x150x1700 | 1270 | 51 | 32 | 55 |
| 12 | 50x50x1800 | 1270 | 52 | 34 | 60 |
| 13 | 60x60x1800 | 1280 | 53 | 35 | 60 |
| 14 | 70x70x1800 | 1280 | 54 | 36 | 40 |
| 15 | 80x80x1800 | 1250 | 55 | 38 | 40 |
| 16 | 90x90x1800 | 1250 | 56 | 40 | 45 |
| 17 | 100x100x1800 | 51260 | 57 | 42 | 45 |
| 18 | 110x110x1700 | 1260 | 58 | 44 | 50 |
| 19 | 120x120x1700 | 1270 | 59 | 45 | 50 |
| 20 | 130x130x1700 | 1270 | 60 | 47 | 55 |
| 21 | 140x140x1700 | 1280 | 61 | 48 | 55 |
| 22 | 150x150x1500 | 1280 | 62 | 49 | 60 |
| 23 | 100x100x1500 | 1250 | 63 | 25 | 60 |
| 24 | 110x110x1600 | 1260 | 64 | 27 | 50 |
| 25 | 120x120x1600 | 1270 | 65 | 29 | 50 |

**Завдання до задач № 9 – 11**

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № варіанта | Розмір круглих  зливків | h | **tК.П.**, ºС | **tН**, °С | **ΔtК**, °С | G, т/г | **tЗАГ**, °С |
| 1 | 100 | 1500 | 1250 | 20 | 40 | 30 | 1000 |
| 2 | 120 | 1600 | 1260 | 25 | 45 | 32 | 1050 |
| 3 | 140 | 1700 | 1270 | 30 | 50 | 34 | 1100 |
| 4 | 160 | 1800 | 1280 | 35 | 55 | 35 | 1150 |
| 5 | 180 | 1500 | 1240 | 40 | 60 | 36 | 1200 |
| 6 | 200 | 1600 | 1250 | 21 | 40 | 37 | 1020 |
| 7 | 220 | 1700 | 1260 | 22 | 42 | 38 | 1040 |
| 8 | 240 | 1800 | 1270 | 23 | 44 | 39 | 1060 |
| 9 | 260 | 1500 | 1280 | 24 | 46 | 40 | 1080 |
| 10 | 280 | 1600 | 1240 | 25 | 48 | 30 | 1100 |
| 11 | 300 | 1700 | 1250 | 26 | 50 | 31 | 1120 |
| 12 | 320 | 1800 | 1260 | 27 | 52 | 33 | 1140 |
| 13 | 340 | 1400 | 1270 | 28 | 54 | 35 | 1160 |
| 14 | 360 | 1450 | 1280 | 29 | 56 | 37 | 1180 |
| 15 | 380 | 1500 | 1240 | 30 | 58 | 39 | 1200 |
| 16 | 400 | 1550 | 1250 | 32 | 60 | 41 | 1220 |
| 17 | 100 | 1600 | 1260 | 34 | 62 | 43 | 1240 |
| 18 | 120 | 1650 | 1270 | 36 | 50 | 45 | 1000 |
| 19 | 160 | 1700 | 1280 | 38 | 48 | 47 | 1030 |
| 20 | 200 | 1750 | 1240 | 40 | 46 | 49 | 1060 |
| 21 | 240 | 1600 | 1250 | 20 | 44 | 50 | 1090 |
| 22 | 280 | 1500 | 1260 | 22 | 42 | 51 | 1120 |
| 23 | 320 | 1400 | 1270 | 24 | 40 | ЗО | 1150 |
| 24 | 360 | 1700 | 1280 | 26 | 20 | 35 | 1180 |
| 25 | 400 | 1800 | 1250 | 30 | 30 | 45 | 1050 |

**Завдання до задачі № 12**

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № варі­анта | Розмір заготовки | **tпов** | lакт. | lпод | lсв | lтом | G, т/г |
| 1 | 100x100x1200 | 1240 | 25,5 | 12,1 | 6,5 | 5,5 | 35 |
| 2 | 110x110x1200 | 1240 | 25,6 | 12,2 | 6,6 | 5,6 | 35,1 |
| 3 | 120x120x1200 | 1240 | 25,7 | 12,3 | 6,7 | 5,7 | 35,2 |
| 4 | 130x130x1200 | 1240 | 25,8 | 12.4 | 6,8 | 5,8 | 35,3 |
| 5 | 140x140x1200 | 1250 | 25,9 | 12,5 | 6,9 | 5,9 | 35,4 |
| 6 | 150x150x1200 | 1250 | 26 | 12,6 | 7,0 | 6 | 35,5 |
| 7 | 100x100x1250 | 1250 | 26,1 | 12,7 | 7,1 | 6,1 | 35,6 |
| 8 | 110x110x1250 | 1260 | 26,2 | 12,8 | 7,2 | 6,2 | 35,7 |
| 9 | 120x120x1250 | 1260 | 26,3 | 12,9 | 7,3 | 6,3 | 35,8 |
| 10 | 130x130x1250 | 1260 | 26,4 | 13 | 7,4 | 6,4 | 35,9 |
| 11 | 140x140x1250 | 1270 | 26,5 | 13,1 | 7,5 | 6,5 | 36 |
| 12 | 150x150x1250 | 1270 | 26,6 | 13,2 | 6,5 | 5,5 | 36,1 |
| 13 | 100x100x1300 | 1270 | 26,7 | 13,3 | 6,6 | 5,6 | 36,2 |
| 14 | 110x110x1300 | 1270 | 26,8 | 13,4 | 6,7 | 5,7 | 36,3 |
| 15 | 120x120x1300 | 1255 | 26,9 | 13,5 | 6,8 | 5,8 | 36,4 |
| 16 | 130x130x1300 | 1255 | 27 | 13,6 | 6,9 | 5,9 | 36,5 |
| 17 | 140x140x1300 | 1255 | 27,1 | 13,7 | 6,7 | 5,7 | 36,6 |
| 18 | 150x150x1300 | 1265 | 27,2 | 13,8 | 6,7 | 5,7 | 36,7 |
| 19 | 100x100x1350 | 1265 | 27,3 | 13,9 | 6,6 | 5,6 | 36,8 |
| 20 | 110x110x1350 | 1265 | 27,4 | 14 | 6,6 | 5,6 | 36,9 |
| 21 | 120x120x1350 | 1275 | 27,5 | 14,1 | 6,5 | 5,5 | 37 |
| 22 | 130x130x1350 | 1275 | 27,6 | 14,2 | 6,7 | 5,7 | 35,2 |
| 23 | 140x140x1350 | 1275 | 27,7 | 14,3 | 6,6 | 5,6 | 35,4 |
| 24 | 150x150x1350 | 1260 | 27,8 | 14,4 | 6,5 | 5,5 | 35,6 |
| 25 | 120x120x1350 | 1270 | 27,9 | 14,5 | 6,4 | 5,4 | 36,3 |

**Завдання до задачі № 13**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № варіанта | Розмір заготовки | Тухлд | **Δt1**, °С | **Δt** 2, °С | **Δt**3, °С |
| 1 | 100x100x1200 | 800 | 78 | 170 | 26 |
| 2 | 110x110x1200 | 750 | 79 | 165 | 27 |
| 3 | 120x120x1200 | 760 | 80 | 164 | 25 |
| 4 | 130x130x1200 | 770 | 70 | 163 | 24 |
| 5 | 140x140x1200 | 780 | 71 | 162 | 23 |
| 6 | 150x150x1200 | 790 | 72 | 161 | 22 |
| 7 | 100x100x1250 | 810 | 73 | 160 | 25 |
| 8 | 110x110x1250 | 820 | 74 | 166 | 26 |
| 9 | 120x120x1250 | 830 | 75 | 167 | 27 |
| 10 | 130x130x1250 | 840 | 76 | 168 | 28 |
| 11 | 140x140x1250 | 850 | 77 | 169 | 29 |
| 12 | 150x150x1250 | 840 | 78 | 170 | ЗО |
| 13 | 100x100x1300 | 830 | 79 | 171 | 27 |
| 14 | 110x110x1300 | 820 | 80 | 172 | 28 |
| 15 | 120x120x1300 | 810 | 81 | 173 | 29 |
| 16 | 130x130x1300 | 800 | 82 | 174 | 26 |
| 17 | 140x140x1300 | 790 | 83 | 175 | 25 |
| 18 | 150x150x1300 | 780 | 84 | 176 | 30 |
| 19 | 100x100x1350 | 770 | 85 | 177 | 31 |
| 20 | 110x110x1350 | 760 | 77 | 178 | 32 |
| 21 | 120x120x1350 | 750 | 76 | 179 | 33 |
| 22 | 130x130x1350 | 800 | 75 | 180 | 34 |
| 23 | 140x140x1350 | 810 | 74 | 181 | 35 |
| 24 | 150x150x1350 | 820 | 73 | 170 | 25 |
| 25 | 120x120x1350 | 830 | 72 | 175 | 27 |

**Завдання до задачі № 14 – 15**

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № варіанта | С,% | Розмір зливка | | **t***,* °С | | **t**о, С | Розмір зливка |
| 1 | 0,1 |  | | 800 | | 10 | 500x500x2000 |
| 2 | 0,2 |  | | 810 | | 20 | 520x520x2000 |
| 3 | 0,3 |  | | 820 | | 30 | 520x520x2000 |
| 4 | 0,4 |  | | 830 | | 40 | 540x540x2000 |
| 5 | 0,5 |  | | 840 | | 50 | 560x560x2000 |
| 6 | 0,6 |  | | 850 | | 60 | 580x580x2000 |
| 7 | 0,7 |  | | 860 | | 70 | 600x600x2000 |
| 8 | 0,8 |  | | 870 | | 80 | 620x620x2000 |
| 9 | 0,9 |  | | 880 | | 90 | 640x640x2000 |
| 10 | 1 |  | | 890 | | 100 | 660x660x2000 |
| 11 | 1,1 |  | | 900 | | 110 | 680x680x2000 |
| 12 | 1,2 |  | | 800 | | 120 | 700x700x2000 |
| 13 | 1,3 |  | | 810 | | 130 | 500x500x2500 |
| 14 | 1,2 |  | | 820 | | 140 | 520x520x2500 |
| 15 | 1,1 |  | | 830 | | 150 | 540x540x2500 |
| 16 | 1,0 |  | | 840 | | 160 | 560x560x2500 |
| 17 | 0,9 |  | | 850 | | 170 | 580x580x2500 |
| 18 | 0,8 |  | | 860 | | 180 | 600x600x2500 |
| 19 | 0,7 |  | | 870 | | 190 | 620x620x2500 |
| 20 | 0,6 | |  | | 880 | 200 | 640x640x2500 |
| 21 | 0,5 | |  | | 890 | 210 | 660x660x2500 |
| 22 | 0,4 | |  | | 900 | 220 | 700x700x2500 |
| 23 | 0,3 | |  | | 800 | 230 | 720x720x2500 |
| 24 | 0,2 | |  | | 810 | 240 | 740x740x2500 |
| 25 | 0,1 | |  | | 820 | 250 | 760x760x2500 |