

В.І. Сігова, В.Б. Юскаєв, А.Ф. Будник

ТЕХНОЛОГІЯ І ПРОЕКТНЕ РІШЕННЯ ТЕРМІЧНИХ ЦЕХІВ І ДІЛЬНИЦЬ

Навчальний посібник

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України

Суми
Сумський державний університет
«Видавництво СумДУ»
2010

УДК 621.78 (075.8)

ББК 34.651

С34

Рецензенти:

В.Б.Тарельник – доктор технічних наук, професор Сумського національного аграрного університету;

Л.Д.Пляцук – доктор технічних наук, професор НПК СП «Технополіс»;

О.М.Лавренко – кандидат технічних наук, доцент СНПП «Технокомпресормаш»

*Рекомендовано Міністерством освіти і науки України
як навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів
(лист № 14/18-г-1897 від 17.07.2008 р.)*

Сігова В.І.

С34 Технологія і проектне рішення термічних цехів і дільниць: навч. посіб. /В.І. Сігова, В.Б.Юскаєв, А.Ф. Будник. – Суми: Вид-во СумДУ, 2010. – 318 с.
ISBN 978-966-657-327-1

Під час підготовки та виконання курсових робіт навчального плану напряму підготовки 05.04.03 «Інженерне матеріалознавство» та випускних кваліфікаційних робіт спеціаліста та магістра з цих спеціальностей студенти повинні в сукупності вирішувати технологічні, конструкторські, організаційні й економічні завдання.

Посібник написаний відповідно до типових навчальних програм курсів «Технологія термічної обробки» і «Проектування термічних цехів та дільниць». Він є завершальною частиною спецкурсу для студентів, які навчаються за спеціальністю «Прикладне матеріалознавство». Вивченню цих курсів передують розділи спецкурсів: «Леговані сталі і сплави», «Сплави з особливими властивостями», «Обладнання термічних цехів та дільниць» та ряду інших.

Текст посібника проілюстровано достатньою кількістю рисунків і схем. Окрім рисунків, у тексті наведені необхідні формули й таблиці.

УДК 621.78 (075.8)

ББК 34.651

© Сігова В.І., Юскаєв В.Б.,
Будник А.Ф., 2010

ISBN 978-966-657-327-1 ©Сумський державний університет, 2010

ЗМІСТ

	С.
Вступ.....	5
1. Технологія термічної обробки різних виробів.....	7
2. Термічні цехи й відділення на металургійних підприємствах і підприємствах металевих виробів.....	14
2.1. Термічна обробка злитків і заготовок безперервного розливання сталі.....	15
2.2. Термічні цехи й відділення для обробки сортового прокату й фасонних профілів.....	22
2.3. Агрегати й потокові лінії для термічної обробки сортового прокату.....	35
2.4. Контроль якості сортового прокату й профілів.....	42
3. Термічна обробка листів і широкої стрічки.....	43
3.1. Термічна обробка товстолистової сталі.....	43
3.2. Термічна обробка тонколистової сталі.....	47
3.3. Устаткування для термічної обробки листів і стрічки.....	53
3.4. Термічна обробка електротехнічної сталі.....	79
4. Термічна обробка труб.....	87
4.1. Контроль труб після термічної й термомеханічної обробки..	98
5. Термічні цехи (відділення) для обробки дроту.....	99
5.1. Технологія термічної обробки дроту.....	99
5.2. Устаткування для термічної обробки дроту.....	103
5.3. Технологія термічної обробки вузької стрічки.....	112
6. Термічні відділення й дільниці для обробки виробів, що застосовуються на залізничному транспорті.....	117
6.1. Термічна обробка рейок.....	117
6.2. Термічна обробка коліс і бандажів.....	128
6.3. Термічна обробка осей вагонів.....	133
6.4. Термічна обробка накладок.....	134
7. Термічні цехи й відділення на машинобудівних заводах.....	135
7.1. Термічна обробка на заводах важкого машинобудування....	135
7.2. Термічна обробка на машинобудівних заводах.....	153
7.3. Термічна обробка найбільш поширених деталей машин.....	169
7.4. Термічна обробка фасонних виливків.....	207
7.5. Термічна обробка деталей підшипників.....	210
7.6. Термічна обробка ресор і пружин.....	219

7.7. Термічна обробка на ковкий чавун.....	226
8. Термічні цехи й відділення на інструментальних заводах.....	234
8.1. Термічна обробка різального інструменту.....	235
8.2. Термічна обробка штампового інструменту.....	255
8.3. Термічна обробка валків.....	264
8.4. Термічна обробка калібрів і вимірювального інструменту...	268
8.5. Устаткування термічних відділень і його розміщення.....	270
9. Методика проектування термічних цехів та дільниць.....	277
9.1. Розрахунок потрібної кількості основного, додаткового і допоміжного обладнань.....	277
9.2. Розроблення плану дільниці (відділення, цеху) та вантажопотоків.....	291
9.3. Розрахунок потрібної кількості паливно-енергетичних ресурсів і допоміжних матеріалів.....	304
9.4. Механіко-технологічне обладнання відділення (цеху).....	312
9.5. Автоматизація технологічних процесів термічної обробки...	313
Список літератури.....	316

ВСТУП

Під час підготовки та виконання курсових робіт навчального плану спеціальності 05.04.03 «Інженерне матеріалознавство» та випускних кваліфікаційних робіт спеціаліста та магістра з цих спеціальностей студенти повинні в сукупності вирішувати технологічні, конструкторські, організаційні й економічні завдання, матеріали з яких зазвичай в навчальній літературі висвітлюються окремо, хоча й знаходяться в тісному взаємозв'язку.

Комплексне висвітлення цих питань не одержало потрібного відображення у відомих підручниках, посібниках чи монографіях.

У запропонованому посібнику вперше в комплексі висвітлено найголовніші аспекти проектування об'єктів термічного виробництва.

Посібник також допоможе поглиблено вивчити питання технології термічної обробки різного роду матеріалів, заготовок та виробів, ознайомитися з засобами технологічного оснащення, структурною і планувальною побудовою термічних цехів та дільниць.

Значна увага при цьому приділяється зв'язкам технології термічної обробки з організацією та економікою виробництва, зв'язкам кожного термічного підрозділу з суміжними цехами і відділами виробництва.

Посібник написаний відповідно до типових навчальних програм курсів «Технологія термічної обробки» і «Проектування термічних цехів та дільниць». Він є завершальною частиною спецкурсу для студентів, які навчаються за спеціальністю «Прикладне матеріалознавство». Вивченню цих курсів передують розділи спецкурсів: «Леговані сталі і сплави», «Сплави з особливими властивостями», «Обладнання термічних цехів та дільниць» та ряду інших.

Вивчення курсу, викладеного в посібнику, базується на знаннях, одержаних під час вивчення цих курсів, і здійснюється у процесі лекційних та лабораторно-практичних занять і самостійної роботи з науково-технічною літературою.

Текст посібника проілюстровано достатньою кількістю рисунків і схем. Окрім рисунків, у тексті наведені необхідні формули і таблиці.

1. ТЕХНОЛОГІЯ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ РІЗНИХ ВИРОБІВ

Термічні цехи й відділення мають свою специфіку. Вони не виготовляють деталей, а тільки надають їм певних фізико-механічних властивостей, причому при цьому необхідно зберегти вихідні форми і розміри. Крім випадків, коли в процесі термічної обробки спеціально змінюється форма виробу (наприклад, згинання ресорних листів, згинання передньої осі автомобіля й т.п.), а також у процесі термомеханічної обробки.

Необхідні властивості одержують підбором марки сплаву й процесів термічної, хіміко-термічної, термомеханічної та інших обробок, у яких температури й тривалість процесів нагрівання, витримки, швидкості охолодження строго регламентуються. Прискорювати процеси термічної обробки можна тільки шляхом застосування прогресивних методів обробки, попередньо апробованих і включених у технологічні карти. Велике значення в термічних цехах, відділках має зниження експлуатаційних витрат (палива, електроенергії, матеріалів, витрат на оплату робочої сили та ін.).

Завданнями термічних цехів і відділень є:

1. Розроблення й упровадження технологічних процесів термічної обробки, які значно прискорюють та підвищують ефективність виробництва.

У термічній обробці деталей потрібних властивостей можна досягти різними методами. Так, високу твердість і зносостійкість поверхні деталей можна одержати після хіміко-термічної обробки, поверхневого загартування з нагріванням струмами високої частоти (СВЧ), в електролітах, променем лазера, наплавленням робочих поверхонь та ін. При використанні ізотермічного відпалу гарячих заготовок (відразу після прокатування, кування) для швид-

корізальних сталей цикл обробки скорочується з 24-30 до 4-6 год. Застосування термомеханічної обробки й зміцнення прокату з легуванням невеликими дозами карбідотвірних елементів (V, Ti, Nb) дозволяє обійтися без подальшої термічної обробки виробів. У ряді випадків можна замінити високолеговані сталі на менш леговані без використання дорогих і дефіцитних елементів, а замість низьколегованих сталей застосувати вуглецеві сталі при відповідних методах термічної обробки.

2. Удосконалювання устаткування, відновлення виробництва на основі його технічного переозброєння й реконструкції, підвищення рівня автоматизації й механізації, що дуже важливо для термічних цехів. Основним завданням є заміна малопродуктивного встаткування прогресивним, високопродуктивним.

Важливу роль в удосконалюванні встаткування відіграють розроблення й застосування стандартизації й уніфікації пічного й агрегатного устаткування, його вузлів і деталей, що дозволяє різко зменшити обсяг робіт з проектування, знизити вартість виготовлення й тривалість освоєння у виробництві.

Для розроблення конструкцій і виготовлення електричних печей та електротермічного устаткування існує ряд проектних інститутів.

3. Організація потокового безперервного виробництва із застосуванням механізованого й автоматизованого встаткування й потокових ліній. Це забезпечує стабільність технологічного процесу зі строгим дотриманням температурних режимів. Одночасно значно підвищується якість продукції, скорочуються експлуатаційні витрати, збільшується ефективність виробництва.

4. Підвищення якості продукції, фізико-механічних та експлуатаційних властивостей деталей (зносоустійкості, жаростійкості, контактної й утомної міцності, довговічності).

ті та ін.) є основною метою термічної обробки. Вона значною мірою відповідає за якість деталей. Термічна обробка часто є останньою операцією, яка змінює властивості. Тому в термічних цехах і відділеннях повинен бути ретельно поставлений всебічний контроль якості продукції, що випускається.

5. Зниження собівартості термічної обробки завдяки кращому використанню виробничих фондів і оборотних коштів, економії енергетичних і матеріальних ресурсів, гарної організації виробництва. Це для термічних цехів має важливе значення, тому що вони не виготовляють вироби, а тільки проводять їхню обробку. Тому в собівартості термічної обробки основними статтями є витрати на паливо, енергію, матеріали, робочу силу і спеціальну оснастку.

Термічна обробка набула значного поширення на металургійних, машинобудівних, інструментальних та інших виробництвах.

Найбільш доцільно класифікувати термічні цехи за галузевою ознакою, а саме термічні цехи й відділення виробництв чорної й кольорової металургії, машинобудівних виробництв, інструментальних та ін. Усередині галузі – за видом оброблюваної продукції (злитки, труби, листи, рейки, поковки, фасонні виливки, готові деталі машин, підшипники, пружини, різні види інструменту та ін.). Нижче наводиться класифікація термічних цехів і відділень найпоширеніших виробництв у металургійній, машинобудівній та інструментальній промисловості.

Металургійні заводи і заводи металевих виробів чорної металургії – відділення для термічної обробки злитків, безперервно литих заготовок, сортового прокату, труб, листів і широкої стрічки, дроту, вузької стрічки, рейок, коліс і бандажів, осей, накладок.

Машинобудівні заводи – термічні цехи й відділення важкого машинобудування для обробки великих поковок і

великого фасонного лиття. Термічні заводи масового виробництва середнього машинобудування (автотракторні, сільгоспмашинобудування, моторобудівні та ін.). Відповідно до способу виготовлення продукції термічні цехи й відділення цих заводів поділяються на чорнові (перші термічні), що обробляють заготовки, поковки, дрібне сталеве лиття, і чистові (другі термічні), що обробляють деталі (шестерні, зірочки, різноманітні вали, осі й важелі, гільзи та ін.).

Спеціалізовані термічні цехи й відділення для термічної обробки деталей підшипників, пружин, ресор та ін.

Нарешті, можливе розміщення устаткування для термічної обробки в комплексних поточкових лініях основних цехів (механічних, механоскладальних, ковальських, ливарних).

Інструментальні виробництва — цехи й відділення для термічної обробки різного виду інструментів, які можуть бути спеціалізованими для одного виду інструмента — різального, каліброво-вимірювального, штампувального, хірургічного. Однак найпоширенішими є універсальні термічні цехи й відділки для обробки різних видів інструменту й пристосувань, які є на машинобудівних і металургійних заводах.

Можливе також розміщення устаткування для термічної обробки інструменту в поточкових лініях інструментальних цехів.

Металургійні заводи кольорової металургії, цехи й відділення для термічної обробки виробів (труб, профілів, листів, дроту) з важких кольорових металів і сплавів (мідних, мідно-нікелевих та ін.) та легких металів і сплавів (алюмінієвих, магнієвих, титанових). Однак виробництво великої кількості видів металургійної продукції заводів кольорової металургії має багато спільного в частині виготовлення, термічної обробки й установлення із продукцією

чорної металургії. Тому в ряді випадків доцільно їх розглядати спільно, відзначаючи особливості виробництва й термічної обробки виробів з кольорових металів.

Під час розміщення відділень термічної обробки на машинобудівних заводах необхідно враховувати зв'язок у технології виробництва деталі із цехами-постачальниками й споживачами продукції. Якщо цей зв'язок є з рядом цехів, особливо при одиничному й серійному виробництві, іноді доцільно організувати окремий термічний цех.

Розміщення агрегатів термічної обробки всередині підприємства залежить від зв'язку термічної обробки деталей з іншими операціями їх виготовлення й обробки, а також від розташування цехів і вантажопотоків на заводі.

На металургійних заводах відділення термічної обробки розміщуються в основних виробничих цехах.

На машинобудівних заводах термічну обробку проводять в окремому термічному цеху (рис. 1 а), у відділеннях основних виробних і обробних цехів: ковальсько-пресувальних, фасувально-сталєво-ливарних, механоскладальних, заготівельних (рис. 1 б) або на окремих агрегатах термічної обробки, розташованих на дільницях і в потокових лініях механоскладальних, ковальсько-пресувальних, ресорних та інших цехів (рис. 1 в).

На інструментальних заводах термічну обробку здійснюють переважно у відділеннях при інструментальному цеху, а за великого обсягу виробництва – в окремому термічному цеху.

Специфічні особливості деяких операцій термічної обробки й допоміжних дільниць (азотування, ціанування, дробоочищення, травлення і т.п.) змушують виділяти їх в ізольовані приміщення з посиленою вентиляцією й іншими заходами техніки безпеки й охорони праці.

У розробленні технології термічної обробки велике значення має характер виробництва. Залежно від номенк-

латури, регулярності й обсягу випуску виробів розрізняють одиничний, серійний і масовий типи організації виробництва.

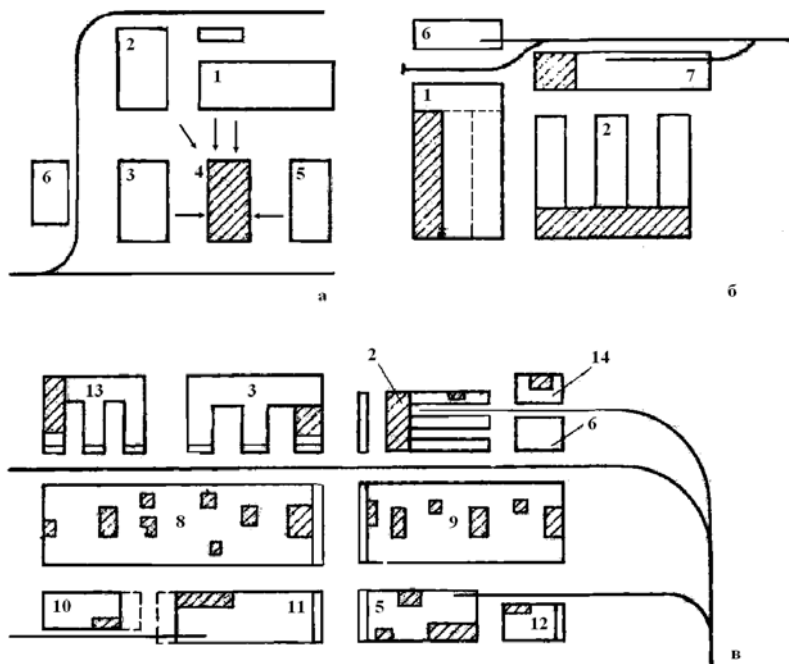


Рисунок 1 – Схема розміщення встаткування для термічної обробки всередині машинобудівного заводу: а – окремий термічний цех; б – відділення термічної обробки при основних цехах; в – окремі дільниці термічної обробки в потоці основних і допоміжних цехів. Позначення цехів: 1 – механічний; 2 – ковальський; 3 – ливарний; 4 – термічний; 5 – інструментальний; 6 – центральний склад; 7 – заготівельний; 8 – збирання; 9 – цех моторів; 10 – досвідчений; 11 – кузовів; 12 – ремонтний; 13 – ковкого чавуну; 14 – ресорний

Одиничне виробництво характеризується різноманітною й великою номенклатурою оброблюваних виробів і малим обсягом випуску однотипних деталей. При одинич-

ному виробництві в термічній обробці доводиться застосовувати узагальнені технологічні процеси й універсальне устаткування – камерні печі.

Серійне виробництво має обмежену номенклатуру періодично повторюваних виробів і відносно великий випуск однотипних деталей. При серійному виробництві, збираючи в групи однаково оброблювані деталі, можна застосовувати печі й агрегати потокового виробництва, автоматизуючи процес термічної обробки. Такі групи підбирають за марками сталей, однотипною обробкою, габаритами і масою деталей.

Масове виробництво характеризується більшим обсягом випуску однакових і однотипних деталей при невеликій їх номенклатурі. Технологічні процеси вирізняються стабільністю, робочі місця й устаткування спеціалізуються на обробці одного типу деталей. При масовому виробництві процес термічної обробки й устаткування підбираються для кожної деталі або групи однаково оброблюваних деталей. Застосовуються автоматизовані печі й агрегати потокового виробництва, пристосовані для обробки однієї або декількох деталей.

2. ТЕРМІЧНІ ЦЕХИ Й ВІДДІЛЕННЯ НА МЕТАЛУРГІЙНИХ ПІДПРИЄМСТВАХ І ПІДПРИЄМСТВАХ МЕТАЛЕВИХ ВИРОБІВ

На металургійних заводах термічний обробці піддають злитки з легованих сталей і кольорових металів, сортовий прокат і пресовані профілі, листовий метал, холоднокатану стрічку, труби, дріт і основні види прокату, призначені для залізничного транспорту (рейки, бандажі, колеса, осі, накладки). Основними технологічними операціями термічної обробки, застосовуваними на металургійних заводах, є різні види відпалу, нормалізація, високий відпуск, рідше загартування (наприклад для аустенітних сталей) і загартування з відпуском.

Термічна обробка прокатних виробів може значною мірою підвищити їх механічні властивості: міцність, пластичність, в'язкість, що дозволяє знизити масу деталей машин і конструкцій, виготовлених із прокату, і підвищити експлуатаційну стійкість виробів. Так, термічна обробка рейок подвоює строк їх служби, а термічна обробка залізничних вагонних коліс збільшує їх стійкість майже в три рази.

У цілому ряді випадків можна домогтися одержання високих механічних властивостей прокатних виробів шляхом комбінації процесів термічної обробки й обробки металів тиском. Для одержання високої міцності в металі потрібно створити велику кількість обертання у кристалічних ґратках, рівномірно розподілених по перерізу, що можна зробити шляхом використання термомеханічної обробки. Застосовуючи енергійну деформацію сталі в стані переохолодженого аустеніту й проводячи безпосереднє загартування нерекристалізаційного аустеніту, можна одержати значення міцності до 3000 МПа й вище.

Підготовляючи структуру дроту або стрічки шляхом термічної обробки й використовуючи дуже високий ступінь холодної пластичної деформації, можна на дроті після її волочіння одержати значення міцності вище 5000 МПа, а на плющений стрічці – до 3000 МПа.

З подальшим розвитком науки й техніки все частіше стає доцільним широке впровадження операцій термічної обробки безпосередньо в потоці прокатних і пресових цехів.

2.1. Термічна обробка злитків і заготовок безперервного розливання сталі

Термічній обробці піддають, як правило, злитки високолегованих і легованих сталей, а також злитки з кольорових сплавів. Термічну обробку проводять із метою зниження твердості й забезпечення можливості обдирання злитка для видалення поверхневих пороків і вирівнювання дендритної неоднорідності, що виникає в процесі кристалізації. Зниження твердості конструкційних сталей мартенситного класу (хромонікелевих і хромонікельмолібденових), які внаслідок стійкості аустеніту одержують при охолодженні після прокатки структуру мартенситу або трооститу, досягається застосуванням високого відпуску при 680°C, що забезпечує одержання структури сорбіту або дрібнозернистого перліту.

Злитки з інших легованих сталей піддаються повному перекристалізаційному відпалу. Нагрівання сталей з високим вмістом хрому й вольфраму, що підвищує критичні точки (3X13, 4X13, X12, X12M, P18, P9), здійснюють до температур 880-900°C. Магнітні сталі EB6, EK5, корозійностійкі сталі 1X13, 2X13, інструментальні сталі XB5, 3X2B8, 4X8B2 нагрівають до 820°C.

Злитки середньолегованих сталей відпалюють у тому разі, якщо в результаті плавильного контролю вони признаються на обдирання.

Для зниження твердості легованих сталей доцільно застосовувати ізотермічний відпал, затримуючи охолодження злитка відразу після відливання при температурі максимального розпаду аустеніту за типом перлітного ступеня. Внаслідок ліквації злитки легованих сталей мають неоднорідний хімічний склад, тому доводиться робити ряд ізотермічних витримок при різних температурах для того, щоб кожна точка злитка витримувалася при відповідній оптимальній температурі. Для цього застосовують спочатку значне переохолодження аустеніту (на 200°C нижче температури A_{c1}), а потім роблять дві витримки при температурах близько $A_{c1} = 100^{\circ}\text{C}$ і $A_{c1} = 50^{\circ}\text{C}$ або ж здійснюють уповільнене охолодження злитка в інтервалі температур від ($A_{c1} = 50^{\circ}\text{C}$) до ($A_{c1} = 150^{\circ}\text{C}$).

Злитки алюмінієвих сплавів для попередження розтріскування піддають відпалу при температурі $275\text{--}300^{\circ}\text{C}$ з витримкою 1-3 год, що значно знижує напруження. Ця температура відповідає мінімальній стійкості твердого розчину, що викликає знеміцнення сплаву.

Злитки високолегованих сталей, призначені для відповідальних виробів, і злитки кольорових сплавів піддають гомогенізації (дифузійному відпалу). З метою прискорення процесів дифузії температура нагрівання при гомогенізації вибирається близькою до температури солідуса. Для сталевих злитків температура нагрівання при гомогенізації приймається $1100\text{--}1150^{\circ}\text{C}$ з тривалістю витримки 12-20 год для мідно-нікелевих сплавів температура $1050\text{--}1100^{\circ}\text{C}$ з витримкою 8-12 год, для алюмінієвих сплавів (Д1, Д16, В95 та ін.) температура $460\text{--}520^{\circ}\text{C}$ з витримкою 16-30 год залежно від ступеня хімічної й фізичної неоднорідності злитка. Сплавами міді, для яких необхідно застосовувати

дифузійний відпал, є олов'янисті бронзи, у яких рідкі й тверді фази значно розрізняються за складом, у зв'язку із чим підсилюється дендритна ліквідація. У міді й латунях ліквідаційні явища невеликі й для їх гомогенізації достатньо нагрівання під гарячу обробку тиском.

Чим складніший склад алюмінієвих сплавів, тим нижча температура гомогенізації й триваліша її витримка внаслідок утворення низькоплавких евтектик. Після гомогенізації алюмінієві злитки охолоджують на повітрі; при їхньому уповільненому охолодженні виділяються надлишкові фази.

Витримка при гомогенізації злитків з алюмінієвих сплавів більше 25-30 год недоцільна, тому що механічні властивості злитків після подальшої прокатки знижуються.

У результаті підвищення однорідності структури й хімічного складу дендритів під час гомогенізації злитків підвищуються механічні властивості прокатаних виробів і зменшується ступінь їх анізотропії.

Гомогенізація кольорових сплавів сприяє, крім того, частковому розчиненню і коагуляції пластинчастих виділень, що значно підвищує пластичність сплавів при подальшій обробці тиском.

Під час гомогенізації сталевих злитків із високою температурою нагрівання й тривалою витримкою відбувається ріст зерна й значне окиснювання поверхні металу, а в кольорових сплавах можлива й перевитрата. Гомогенізацію сталевих злитків краще проводити відразу після виливання з охолодженням їх до необхідної температури, при цьому заощаджується паливо і зменшується час обробки, підвищується однорідність структури й зменшується можливість появи тріщини й залишкових напружень.

На рис. 2 показані графіки гомогенізаційного відпалу невеликих злитків зі сталі 37ХН3А зі спеціальним нагріванням (крива 1) і з затримкою охолодження злитка після

виливання й подальшим охолодженням за режимом ізотермічного відпалу (крива 2).

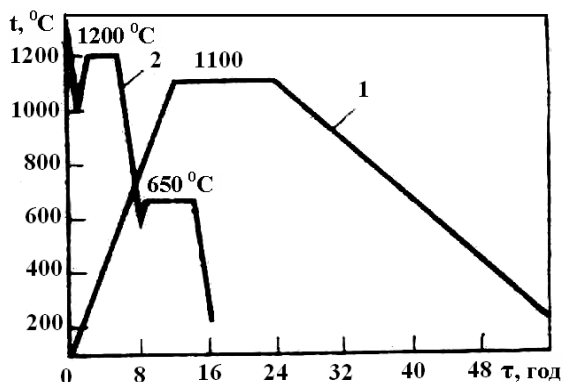


Рисунок 2 - Криві гомогенізаційного відпалу невеликих злитків зі сталі 37ХН3А зі спеціальним нагріванням (крива 1) і з витримками при охолодженні (крива 2)

Для кольорових сплавів доцільно поєднувати процес гомогенізації злитків із нагріванням під прокатку, кування й пресування, збільшуючи для цього тривалість витримки в печі при нагріванні під гарячу пластичну деформацію.

Відпал і гомогенізацію сталевих злитків, як правило, проводять у печах з висувним подом або колодязних печах. Колодязі розташовують поблизу ливарної канави сталеливарного цеху або стриперного відділення, щоб на термічну обробку можна було подавати гарячі злитки. Після зняття виливниць злитки захоплюють краном і завантажують у колодязі.

Для механізації відпалу сталевих злитків застосовують печі з висувним подом. Печі 1 розміщені в ряд у бічному пристрої до розливного прольоту сталеливарного цеху (рис. 3) і обслуговуються електричним транспортним візком 2. Для прийому гарячих злитків поди відпалювальних печей висуваються під кран розливного прольоту. Відпа-

лені злитки проходять остаточне охолодження поза піччю на спеціальних рейкових шляхах 3 і краном передаються в обдирне відділення.

Гомогенізацію злитків із кольорових сплавів (алюмінієвих, мідно-нікелевих) чаші проводять у прокатних цехах у поєднанні з нагріванням під прокатку. Для нагрівання застосовують ямні печі, у яких при порівняно низьких температурах (600-400°C) варто застосовувати примусову циркуляцію повітря.

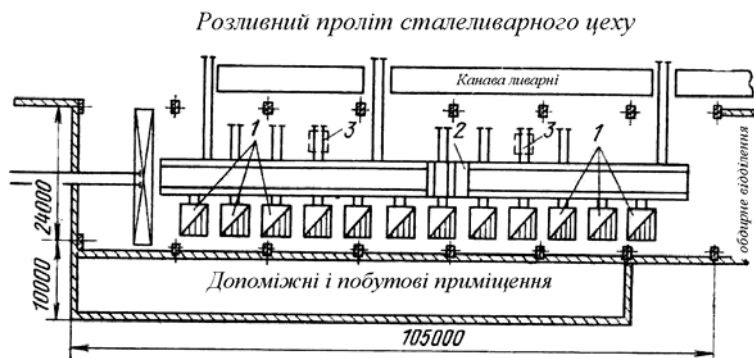


Рисунок 3 – Схема механізованого відпалу злитків у печах з висувним подом

Можна гомогенізацію легких кольорових сплавів (типу дюралюмінію) проводити в потоковій лінії ливарного цеху в тунельній печі (рис. 4). Після безперервного й напівнеперервного виливання в печі 1 (рис. 5) злитки відразу завантажують на вагонетки, які вштовхують у піч 2, де злитки піддаються гомогенізації. Злитки з печі видають у проліт прокатного стану 3, де вони піддаються попередній пластичній деформації.

Таким чином, у потокових лініях для гомогенізації використовують тепло ще не остиглих після лиття злитків, а для першої прокатки – тепло нагрівання під час гомогені-

зації. Розрахунок економічної ефективності показав, що за впровадження такої технології вартість термічної обробки злитків знижується в 2-2,5 раза.

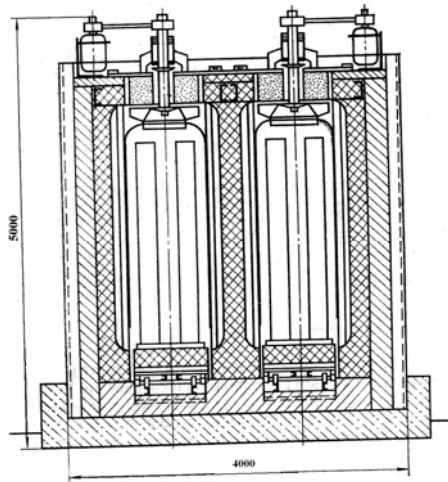


Рисунок 4 – Поперечний переріз тунельної електричної печі із примусовою циркуляцією повітря для гомогенізації злитків легких сплавів

У зв'язку з розширенням виробництва безперервного розливання сталі становить інтерес вивчення властивостей безперервно литої заготовки (БЛЗ), що має ряд переваг у частині малих відходів металу, меншої ліквації, більш дрібної дендритної структури. Показано на заготовці діаметром 130 мм на сталі 30ХГТ, що властивості НЛЗ після нормалізації з 930°C близькі до властивостей нормалізованої гарячекатаної сталі, за винятком дещо меншої пластичності й ударної в'язкості. Найбільш високий комплекс властивостей НЛЗ виходить під час прокатки із шестиразовою витяжкою, коли її властивості після нормалізації й гартування з низьким відпуском перебувають на рівні поздовжніх зразків гарячекатаної сталі після тієї самої термічної

обробки. Якість безперервно литої заготовки залежить від значного числа факторів; від типу застосовуваної машини безперервного розливання, конструкції її основних вузлів (проміжного ковша, розливочних склянок, кристалізаторів, опорних пристроїв, вторинного охолодження після кристалізатора) і технологічних режимів лиття (швидкості розливання, температури, металургійної якості сталі та ін.). Істотне значення для одержання якісної заготовки, створення

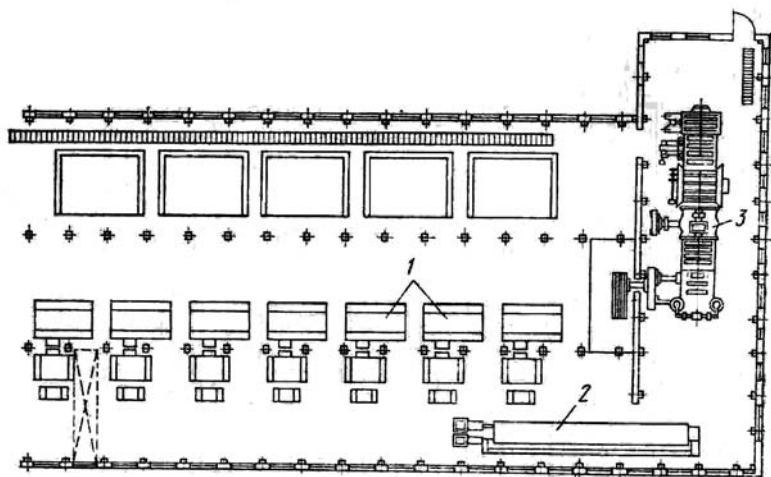


Рисунок 5 – Розміщення гомогенізаційної тунельної печі в потоці ливарного й прокатного цехів

щільної скоринки й виключення випинання виливка має вторинне охолодження, що здійснюється за допомогою водоповітряних форсунок. Охолодні колектори встановлюються між опорними роликами або брусами. Для регулювання з охолодження по довжині заготовки влаштовується кілька охолодних зон. При прямокутному слябі регулюється кількість води, що подається на широкі й вузькі грані. Температуру поверхні литої заготовки наприкінці затвердіння рекомендується підтримувати не менше 800-850°C.

Після безперервного розливання й різання на заготовки потрібна їх прокатка.

Безперечними перевагами безперервного розливання сталі є підвищення якості виливків і значна економія у зв'язку зі зменшенням відходів металу. До 1990 р. безперервне розливання сталі повинно зрости удвічі.

2.2. Термічні цехи й відділення для обробки сортового прокату й фасонних профілів

Сортовий прокат є найбільш масовим видом продукції (більше 50% усього обсягу прокату). Прутки із чорних та кольорових металів виготовляють діаметром або стороною квадрата від 6 до 120 мм. Прокат із чорних і кольорових сплавів випускають і більш складних профілів. Прутки використовують у будівельних конструкціях, але найчастіше вони є заготовками для одержання найрізноманітніших деталей та інструменту.

За методом виготовлення прутки й профілі підрозділяють на гарячекатані, холоднокатані, холоднотягнуті й пресовані. Пресуванню піддають переважно кольорові сплави з малою пластичністю. Найбільш продуктивним методом одержання прутків є гаряча прокатка (прутки діаметром до 6-8 мм). Сталеві прутки діаметром менше 6-8 мм виготовляють волочінням. Прутки з малопластичних кольорових металів одержують пресуванням із подальшим волочінням. Гарячекатані прутки загального призначення роблять зі сталей 10, 20, 35, 45, 20Х, 30Х, 40Х, 10М2, 15ХМ, 30ХГС, 12ХН2 і ін., для шарикопідшипникової промисловості - зі сталей ШХ15, ШХ15СГ, для інструменту – з вуглецевих і легованих інструментальних сталей, включаючи швидкорізальні.

Велика кількість сталевих прутків йде на армування залізобетонних конструкцій.

Відповідно до технічних умов термічна обробка прутків і профілів може бути попередньою, проміжною й остаточною.

Попередню термічну обробку гарячекатаних сталевих прутків і пресованих профілів кольорових сплавів (відпал або високий відпуск) проводять для зниження твердості, щоб забезпечити подальшу обробку різанням або тиском (висадження, видавлювання, накатку), а також для підготовки структури до подальшої термічної обробки.

Конструкційні вуглецеві (марки від сталі 10 до 30) і низьколеговані (15X, 20X та ін.) сталі під час охолодження після гарячої прокатки на повітрі мають твердість нижче HB 230-260 і задовільно обробляються тиском і різанням без застосування спеціальної термічної обробки. Високолеговані конструкційні сталі бейнітного або мартенситного класу типу хромонікелевих, хромонікельмолібденових, хромонікельвольфрамових під час охолодження після прокатки внаслідок високої стійкості аустеніту в перлітній зоні підгартовуються до HB 500 і вище. Зниження твердості таких сталей досягається високим відпуском.

За необхідності перекристалізації структури внаслідок одержання строкастості при низькій температурі прокатки або крупного зерна при відпалі застосовують нагрівання вище A_{c3} на 20-40°C з подальшим уповільненим охолодженням зі швидкістю 30-50°C/год до 600-650°C.

Для поліпшення оброблюваності різанням конструкційних сталей з вмістом менше 0,2% С одержують у структурі пластинчастий перліт, піддаючи сталь нормалізації. Сталі із середнім вмістом вуглецю (типу 40; 45; 40X та ін.), для яких оптимальною є змішана структура із пластинчастого й зернистого перліту, одержують відпалом.

Для вуглецевих конструкційних сталей відпал можна замінити нормалізацією за температур $A_{c3} + (30-40^\circ\text{C})$. Для легованих конструкційних сталей, що мають перлітний

ступінь розпаду переохолодженого аустеніту, рекомендується ізотермічний відпал з нагріванням до $A_{c3} + (30-50^{\circ}\text{C})$; розпад переохолодженого аустеніту за перлітним ступенем, орієнтовно при температурах $A_{c1} - (80-120^{\circ}\text{C})$.

Оброблюваність автоматних сталей поліпшують легуванням їх невеликими кількостями сірки, свинцю, міді, телуру та інших елементів.

Інструментальні сталі вуглецеві (від марки У7 до У12), леговані (Х, ХГ, 9ХС, ШХ15, Х13Г та ін.) і високолеговані типу швидкорізальних (Р18, Р9, Р6М5, Р6М3 та ін.) з метою зниження твердості, поліпшення оброблюваності й підготовки структури до подальшого загартування піддають відпалу з одержанням структури зернистого перліту. При загартуванні нагрівання інструментальних вуглецевих і низьколегованих сталей проводять до температур дещо вище A_{c1} , коли частина карбідів залишається в аустеніті, а при подальшому загартуванні залишається в мартенситі, збільшуючи зносостійкість інструмента. Щоб уникнути зниження пластичності карбіди повинні мати зернисту форму; цього досягають, витримуючи сталь при температурі дещо нижче за критичну точку A_{c1} . Однак це вимагає багато часу, тому для одержання в інструментальних сталях зернистого перліту їх нагрівають вище критичної точки A_{c1} на $30-50^{\circ}\text{C}$ із подальшим уповільненим охолодженням (до $30-50^{\circ}\text{C}/\text{год}$) при проходженні критичної точки. Як правило, уповільнено охолоджують дещо нижче (до температур $600-650^{\circ}\text{C}$). Найбільш низьку температуру нагрівання застосовують для сталей, близьких до евтектоїдних, тому що вони мають вузький інтервал існування карбіду в міжкритичному інтервалі (вище A_{c1}). У структурі заевтектоїдних сталей може утворитися сітка цементиту, тому інструментальні сталі перед відпалом контролюють на наявність карбідної сітки. При її виявленні сталь піддають нормалізації, а потім відпалюють на зернистий перліт.

У сталях, легованих карбідотвірними елементами (Cr, W, Mo, V), критична точка A_{c1} підвищується, тому температуру нагрівання при відпалі беруть вищою. Так, шарикопідшипникові сталі ШХ15, ШХ15СГ відпалюють при температурі $A_{c1} + 40^{\circ}\text{C} = 760 + 40 = 800^{\circ}\text{C}$, швидкорізальні сталі Р18, Р9, Р6М6 при $A_{c1} + 40^{\circ}\text{C} = 820 + 40 = 860^{\circ}\text{C}$; швидкість їх охолодження в зоні фазових перетворень до температур $650\text{--}700^{\circ}\text{C}$ дорівнює $25\text{--}30^{\circ}\text{C}/\text{год}$. Підвищення температури відпалу швидкорізальних сталей приводить до розчинення карбідів, у результаті чого зростає стійкість аустеніту. При тривалих витримках можливе утворення стабільного карбіду WC , що практично не переходить у розчин аустеніту під час нагрівання під загартування. Для швидкорізальних сталей доцільно застосовувати ізотермічний відпал. Після нагрівання на 860°C проводять ізотермічну витримку при температурах $760\text{--}780^{\circ}\text{C}$ для розпаду аустеніту й коагуляції карбідів. Найбільш доцільно проводити ізотермічний відпал гарячих заготовок із витримкою при охолодженні відразу після гарячої прокатки при температурах $760\text{--}770^{\circ}\text{C}$, використовуючи стан аустеніту. Це дозволяє провести відпал протягом 4-6 год замість 24-30 год при відпалі холодних заготовок у садочних печах. Ізотермічний відпал можна застосовувати й для шарикопідшипникової сталі, здійснюючи після аустенізації при $800\text{--}820^{\circ}\text{C}$ і швидке охолодження до $660\text{--}680^{\circ}\text{C}$, і витримку при цій температурі протягом 3-4 год з подальшим охолодженням на повітрі.

Якщо відпал інструментальних сталей на зернистий перліт проводять після холодної пластичної деформації з обтисненнями в 40-60%, то його можна здійснювати з нагріванням під критичну точку, тому що деформація значно збільшує швидкість коагуляції карбідів.

Пружинні сталі з підвищеним вмістом кремнію (70С3А, 65С2ВА, 60С2Н2А та ін.) доцільніше відпалювати

при температурах 700-720⁰С, при високих температурах відпалу можливі знеуглецювання й графітизація.

Відпал сортового прокату проводять у камерних печах більшими садками. Час нагрівання залежить від маси садки. При садках 3-5, 10-30, 50 т і вище швидкість нагрівання може бути відповідно 150-200, 100-120, 50-70⁰С/год. Середнє навантаження на 1 м² площі поду печі доходить до 3 т. Сортний прокат укладають у спеціальні скоби й по висоті розділяють рядом прокладок для циркуляції пічних газів у товщі садки.

Сортний прокат із газонасиченої флокеночутливої сталі після гарячої прокатки повільно прохолоджують у неопалюваних колодязях. Метал завантажують штабелями, температура посадки в колодязі повинна бути не нижче 700⁰С.

Корозійностійкі, жаростійкі, жароміцні й теплотривкі сталі, що мають мартенситну, феритомартенситну й перлітну структури, піддають відпалу. Теплотривкі сталі поставляють за ДСТ 20072-74, а корозійностійкі, жаростійкі й жароміцні – за ДСТ 5949-75, у ДСТ зазначена твердість після відпалу. Найчастіше відпал проводять при температурі Ас₁+(40-60⁰С) з повільним охолодженням (25-40⁰С/год) до температури 650-700⁰С.

Термічна обробка аустенітних і феритних сталей є кінцевою операцією. Аустенітні сталі піддають високотемпературному загартуванню з охолодженням у воді або на повітрі, а феритні – високому відпуску зі швидким охолодженням для підвищення в'язкості.

Прутки з каліброваної сталі виготовляють із підкату після невеликої холодної деформації (2-3%) з метою одержання гладкої поверхні й точних розмірів. Методами отримання є волочіння й прокатка з калібруванням.

Калібровану сталь виготовляють із вуглецевих і легированих сталей, поставляють її нагартованою або термічно

оброблюваною – для більшості сталей після рекристалізаційного відпалу з метою зниження твердості при температурах дещо нижче точки A_{c1} ($A_{c1} - (80-120^{\circ}\text{C})$). Підкат для каліброваної сталі повинен мати структуру зернистого перліту, що досягається сфероїдизувальним відпалом з нагріванням вище A_{c1} і вповільненим охолодженням до $650-600^{\circ}\text{C}$. До каліброваної сталі застосовують дуже тверді вимоги щодо знеуглецьованого шару (особливо для підшипників), тому відпал проводять у контрольованій атмосфері типу екзогазу (ПСО-09) з невеликими добавками (2-3%) природного газу. Глибина знеуглецьованого шару для шарикопідшипників сталей не повинна перевищувати 1% від діаметра прутка. Твердість вуглецевої сталі після відпалу залежно від вмісту вуглецю перебуває в межах НВ 143- 229 (ГОСТ 1050-74), а легованої – НВ 163-255 залежно від складу (ГОСТ 4543-71).

Відпал підкату й каліброваної сталі проводять у ковпачових печах, у прохідних роликівних печах з контрольованою атмосферою або в індукційних установках, а також безпосереднім нагріванням електричним струмом.

Проміжну термічну обробку проводять між операціями холодної пластичної деформації. Її мета – зняття наклепу й проведення рекристалізації для здійснення подальшої деформації. Найбільш доцільним видом проміжної обробки холоднодеформованого металу є рекристалізаційний відпал з нагріванням нижче критичної точки на $20-30^{\circ}\text{C}$. У цьому разі рекристалізація йде швидко, забезпечуючи металу рівномірну величину зерна й повернення пластичних властивостей.

Остаточна термічна обробка прутків і профілів прокату призначається залежно від марки сталі, технічних умов і може складатися з таких операцій: нормалізації, загартування з подальшим відпуском, загартування у воді (для аустенітних сталей). Профілі з алюмінієвих деформованих

сплавів проходять загартування у воді й подальше старіння. Більшість прутків з латуней, міднонікелевих сплавів, що мають структуру однорідного твердого розчину, піддають відпалу. Для термічної обробки поряд з нагріванням у печах використовується нагрівання СВЧ, а для прутків малих перерізів – безпосереднє пропускання електричного струму крізь виріб. Широко застосовують зміцнення із прокатного нагрівання.

Нижче наводяться найпоширеніші режими термічної обробки прутків і профілів прокату.

Прутки й профілі загального призначення на металургійних заводах готують як напівфабрикати, а зміцнювальній термічній обробці піддають деталі й конструкції на машинобудівних заводах. Для ряду прутків і профілів прокату з вуглецевих і низьколегованих сталей вимоги щодо механічних властивостей забезпечуються хімічним складом і режимом гарячої прокатки, тому вони не піддаються термічній обробці. За невідповідності одержуваних властивостей технічним умовам для прутків із низьковуглецевих і низьколегованих конструкційних сталей проводять нормалізацію за температур дещо вище точки A_{c3} , а для зниження твердості високолегованих конструкційних сталей – високий відпуск при 660-680°C.

Холоднокатані й холоднотягнуті прутки піддають проміжному рекристалізаційному відпалу для усунення наклепу. Як остаточну термічну обробку застосовують нормалізацію й високий відпуск. Прутки й профілі зміцнюють методами високотемпературної термомеханічної обробки (ВТМО) і контрольованої прокатки з прискореним охолодженням.

Прутки й профілі з нержавіючих і жаростійких сталей аустенітного класу типу X18H9T, X18H12T, 20X20H14C2, 20X23H18 та ін. з метою одержання аустенітної структури при кімнатній температурі піддають загар-

туванню з 1050-1100°C з охолодженням у воді (прутки малого діаметра охолоджують на повітрі).

Напівфабрикати з феритних сталей типу X17T, X25T, X28, що не мають фазових перетворень, проходять високий відпуск при 760-800°C із прискореним охолодженням з метою підвищення ударної в'язкості; з напівферитних і мартенситних сталей 2X13, 3X13 та ін. піддають загартуванню з 1000-1050°C і відпуску при 700-800°C.

Стержні для армування залізобетонних конструкцій виготовляють діаметром від 6 до 40 мм зі сталей Ст3 (0,14-0,22% C), Ст5 (0,28-0,37% C), Ст6 (0,38-0,49% C), 20ГС, 35ГС, 20ГС2, 35М2С, 20ХГС, 20ХГ2Ц, 23Х2М2Т та ін. Стрижневі арматури за міцністю розподіляють на сім класів (ГОСТ 10884-81). Із третього класу стержні піддають термічному зміцненню (АТ-Ш). Термічна обробка стержнів полягає в загартуванні із середнім відпуском (350-450°C) залежно від марки сталі. Для нагрівання під загартування й відпуск часто використовується електронагрівання з безпосереднім пропусканням струму через стержень, особливо у разі створення попередньо напружених залізобетонних конструкцій. Застосовується зміцнення із прокатного нагрівання в потоці стану. При цьому підвищуються механічні властивості й значно знижуються експлуатаційні витрати.

Термічно зміцнена арматура в попередньо напруженому стані схильна до корозійного розтріскування. Як метод боротьби із цим явищем пропонується знизити вміст марганцю в сталі до 0,4-0,6% при вмісті кремнію до 1,5%, а для підвищення прогартуваності ввести бор (наприклад, для класу 3, сталь типу 25С2Р).

Прутки й пресовані профілі з алюмінієвих деформованих сплавів типу Д1, Д16, В95 та ін. піддають старінню. Для отримання пересиченого твердого розчину нагрівання проводять до 460-500°C залежно від складу сплаву. Чим

сплав легованіший, тим імовірніша наявність у ньому складних евтектик, що плавляться при більш низьких температурах. Охолодження проводять у воді. При цьому необхідно здійснювати якомога швидше перенесення нагрітого виробу у воду, інакше можливий розпад твердого розчину під час охолодження на повітрі з різким зниженням властивостей. Старіння проводять при температурах 120-140°C, а для сплаву Д1 застосовують природне старіння. При цьому підвищується міцність. Так, на сплавах типу В95 можна одержати тимчасовий опір до 600 МПа при подовженні 12%.

Прутки й профілі з кольорових сплавів типу латуней, міднонікелевих сплавів у більшості піддають рекристалізаційному відпалу між операціями холодною пластичною деформацією. Температура відпалу з метою скорочення часу процесу 600-650°C, тобто значно вища за температури рекристалізації.

Профілі з титанових сплавів піддають відпалу й загартуванню зі старінням. Найпоширенішим видом термічної обробки є відпал, що проводять із метою зменшення залишкових напружень, полігонізації, рекристалізації й фазової перекристалізації. Відпалювання для зменшення залишкових напружень (неповний відпал) проводять при 500-600°C. Температура початку рекристалізації титанових сплавів висока, залежно від типу сплаву й розміру деформації вона дорівнює 800-900 °C. Температура відпалу для більшості профілів з титанових сплавів становить 750-800⁰C, а для сплавів типу ВТ18 вона підвищується до 900-980⁰C. Для жароміцних ВТ3, Вт8, ВТ9 та ін. застосовують ізотермічний відпал при 900-950⁰C із перенесенням у середовище з температурою 580-630⁰C, витримка 1-3 год.

Зміцнювальній термічній обробці (загартування + старіння) піддають титанові сплави зі структурою ($\alpha + \beta$). Сплави з малою кількістю β -фази (ВТ3-1, ВТ6, ВТ14,

BT16, BT23) гартують від 850-900°C. При великій кількості фази (BT22, BT24) температура нагрівання під загартування знижується до 730-750°C, підвищення температури нагрівання викликає падіння зміцнювальних властивостей. Велике значення має регулювання швидкості охолодження при загартуванні й швидке перенесення виробу в гартівне середовище. Старіння проводять при 500-600°C, коли зміцнення створюється дисперсною α -фазою при тривалості старіння від 2 до 12 год.

Для видалення окалини й газонасиченого шару профілі після старіння проходять травлення в лужних і кислотному водяних розчинах.

Титанові сплави сильно насичуються газами (O_2 , H_2), тому їх нагрівання під час відпалювання й загартування необхідно проводити в атмосфері інертних газів (в аргоні) або вакуумі з розрядженням не менше 0,7 Па.

Устаткування й організація роботи

Для відпалу різних профілів прокату при масивній садці широко використовують камерні печі з висувним подом; камерні печі з нерухомим подом, що обслуговуються завантажувальною машиною; ямні печі зі знімним склепінням і ковпакові печі з контрольованою атмосферою. Печі для відпалювання частіше розташовуються рядами, механізацію завантаження й вивантаження деталей здійснюють завантажувальні машини, різноманітні транспортні візки або мостові крани.

Для відпалювання при легкій садці віддають перевагу застосовуванню камерних печей з нижніми топками, що забезпечують швидке й рівномірне нагрівання, а також ковпакові печі з контрольованими атмосферами.

Типовий план цеху з камерними печами для відпалювання наведений на рис. 6. Печі 2 розміщені в один ряд в 24-му прольоті. Їх обслуговують подові завантажувальні машини 1. Метал із прокатного цеху на платформах по за-

лізничній колії надходить у крайній 18-й проліт I складу. Наприкінці складу встановлені стелажі для пакетування металу. З них прутки, пакетовані за допомогою скоб, забираються завантажувальною машиною й поміщаються для відпалювання в будь-яку піч, що звільнилася. Після відпалу метал остаточно охолоджують на стелажах, розміщених між печами в 15 прольотах II-I. Твердість металу контролюють на столах-рольгангах 3.

Скривлені прутки проходять виправлення на семивалкових машинах 4 і правильному пресі 5. Після виправлення від прутків відрізають проби на дискових пилках 6, і прутки надходять на столи-рольганги 7 для просвічування, контролю поверхневих дефектів і зачищення площадок на наждачних верстатах для вимірювання твердості. Остаточне приймання проводять на інспекторських столах 8. Прийняті прутки зважують на вагах 9 і направляють на проміжний склад готової продукції, з якого їх відправляють у вагонах по залізничних коліях, що є у кожному прольоті. Передачу з одного прольоту в інший, а за потреби в травильне відділення, здійснюють електрофікованим візком 10.

За такого планування ізотермічний відпал можна проводити у двох печах. При ізотермічному відпалі в одній печі ефективність його невисока внаслідок повільного охолодження камерної печі з великою садкою до температури ізотермічної витримки й тривалого вирівнювання температури за садкою. У результаті періодичного охолодження кладки печі істотної економії палива не відбувається. Механізація завантаження й вивантаження за допомогою шаржирних машин і транспортних візків дозволяє здійснювати ізотермічний відпал з нагріванням металу до стану аустеніту в одній печі, а в іншій – ізотермічну витримку з подальшим охолодженням на повітрі.

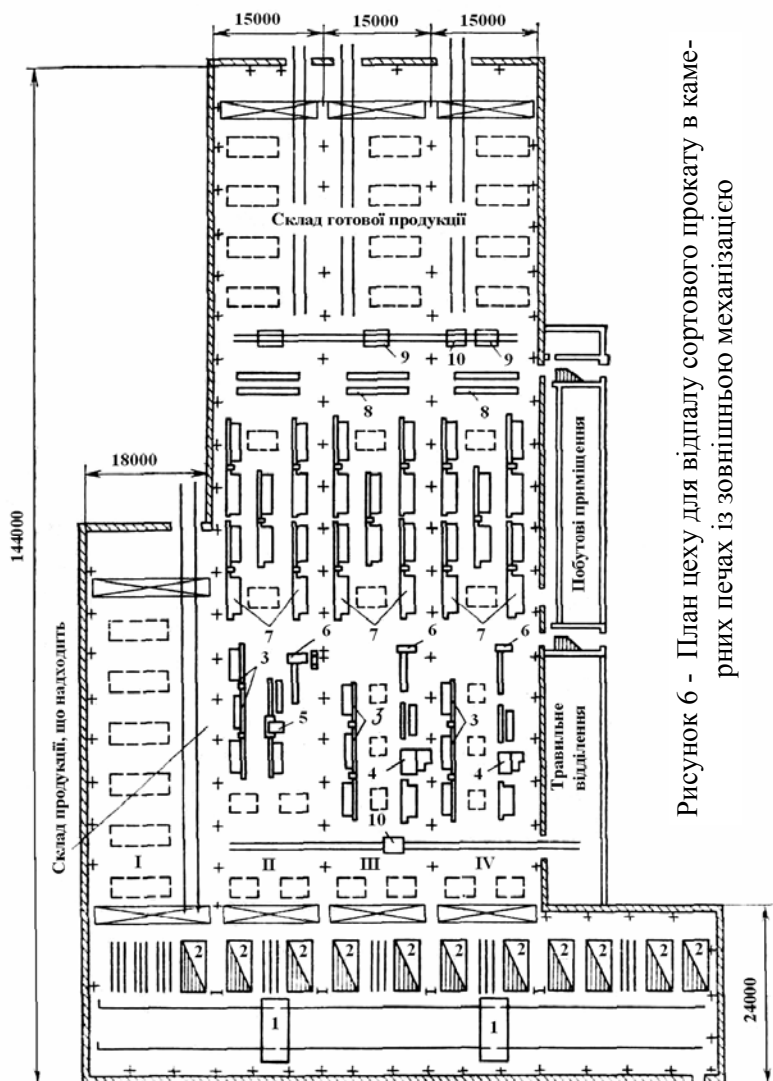


Рисунок 6 - План цеху для відпалу сортового прокату в камерних печах із зовнішньою механізацією

План цеху, обладнаного печами з висувним подом, наведений на рис. 7.

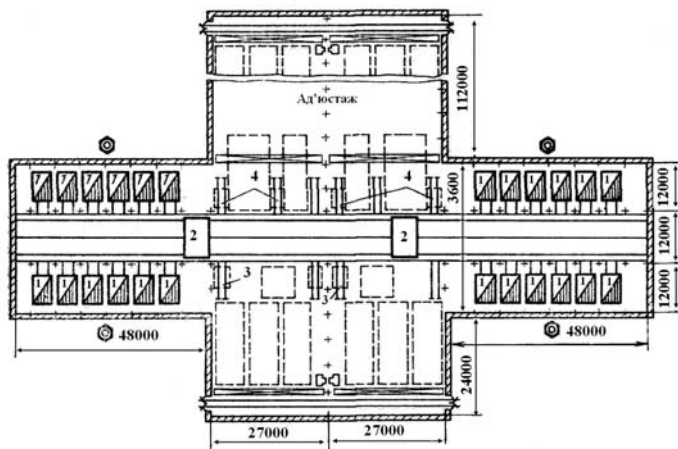


Рисунок 7 – План цеху для відпалу сортового металу в печах з висувним подом

Відпалювальні печі 1 розміщують у бічних прибудовах, що примикають до основних прольотів, і обслуговують двома транспортними візками 2. Метал у цех доставляється на платформах по нижній залізничній колії й розвантажується мостовими кранами на проміжні склади. Потім метал пакується в скоби й кранами завантажується на висувні поди печей, що перебувають на тупикових коліях 3. Поди з металом доставляються візками 2 до будь-якої вільної печі. Відпалений метал для розвантаження передається тими самими візками на тупикові колії 4 і далі мостовими кранами транспортується у відділення ад'юстажу для контролю твердості, виправлення, зачищення й т.д. На плані встаткування ад'юстажу не зображено, тому що його розташування аналогічне попередньому (див. рис. 6). При використанні печей з висувним подом спростуються завантаження й вивантаження печей, але нагрівання садки від-

бувається нерівномірно: через холодний під низ садки нагрівається повільніше, кладка подів печей під час їх транспортування часто руйнується.

2.3. Агрегати й потокові лінії для термічної обробки сортового прокату

Сортопрокатні цехи мають високий ступінь автоматизації, що продовжує розвиватися у зв'язку з переходом на безперервні методи прокатки. Термічна обробка в камерних печах перериває потокову лінію, потребує більших площ і застосування ручної праці.

Для створення єдиного потоку в прокатному цеху для обробки легованих сталей, за винятком сталей бейнітного й мартенситного класів, раціонально застосовувати ізотермічний і сфероїдизувальний відпал у роликових і конвеєрних печах із контрольованою атмосферою (ПСО-09) і нагріванням радіаційними трубами або в установках з індукційним нагріванням.

Роликова піч для ізотермічного відпалу складається послідовно з дільниці завантаження, вхідного тамбура, властиво печі, що має вісім температурних регульованих зон, водоохолоджувальної секції й дільниці розвантаження. Прутки просуваються по роликовому поду шаром товщиною 100-120 мм. Режим відпалу: нагрівання 3 год (дві зони), витримка при 800°C – 1,5 год охолодження до 700°C – 1,5 год (одна зона), витримка при 700°C – 6 год (чотири зони) і дільниця охолодження поза піччю – 1,5 год.

Однак найбільш доцільно проводити ізотермічний відпал гарячих заготовок відразу після прокатки (рис. 8), використовуючи стан аустеніту. Для цього поблизу відвідного рольганга 2 прокатного стану 1 після ножиць 3 для гарячого різання металу потрібно установити конвеєрні або штовхальні печі 4, налагоджені на температуру ізотерміч-

ної витримки. Після розрізання прутків на задані розміри їх шлеперами забирають із відповідного рольганга, і вони надходять у прохідні механізовані печі для ізотермічної витримки. Після відпалу прутки рольгангами доставляються на складські місця або в ями для остаточного охолодження й далі направляються на контроль і обробку.

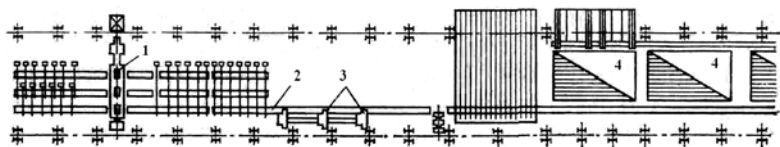


Рисунок 8 – Схема потокової лінії для ізотермічного відпалу гарячих заготовок відразу після прокатки

При ізотермічному відпалі потрібні швидке охолодження заготовок із температурою аустенітного стану й тривала витримка при температурі переохолодження. Тому для ізотермічного відпалу гарячих заготовок відразу після прокатки можна рекомендувати конвеєрні печі із двома послідовно розміщеними конвеєрами, що рухаються з різними швидкостями. На першому конвеєрі прутки розміщуються в один ряд і швидко набувають температури печі. На другому конвеєрі відбувається тривала ізотермічна витримка. Для цього швидкість руху другого конвеєра зменшена й прутки на нього укладають у кілька рядів, що забезпечується більш низьким розміщенням стрічки другого конвеєра стосовно рівня розташування стрічки першого.

Для відпалу на зернистий перліт потрібно багато часу. Однак для ряду інструментальних сталей (наприклад, шарикопідшипникових) відпал можна прискорити застосуванням попередньої сорбітизації із прокатного нагрівання. Сортний прокат відразу після гарячої прокатки охолоджують на відповідному рольганзі водяним душем до одержання сорбітної структури. У результаті цього на 25-30%

скорочується подальший відпал на зернистий перліт і значно підвищується якість прокату.

Останнім часом при масовому виробництві для рекристалізаційного відпалу використовують індукційне нагрівання. Установка для рекристалізаційного відпалу складається із приймально-завантажувального пристрою з механізмом, що подає, індукторної групи з тяговим механізмом (число нагрівальних індукторів становить 3-5) і приймально-розвантажувальної лінії. Швидкість переміщення прутка, що нагрівається, може змінюватися в широких межах – від 50 до 200 мм/с і вище. Чим більше індукторів встановлено в одну лінію, тим більша швидкість руху прутків і вища продуктивність установки. Для нагрівання частіше застосовують установки СВЧ із машинним генератором частотою струму 2500 Гт і потужністю до 300 кВт і більше, коефіцієнт потужності $\cos \varphi = 0,8-0,9$. У зв'язку з високою швидкістю нагрівання СВЧ температуру нагрівання беруть вище на 60-100 °С, ніж при грубному нагріванні. Чим дисперсніша вихідна структура, тим ця різниця менша.

Для сталі ШХ15 при діаметрі прутків 24 мм і нагріванні на 780°С швидкість їх руху через індуктори становить близько 0,3 м/с, а для прутків діаметром 32 мм – 0,2 м/с. Лінія має чотири послідовно розташованих індуктори довжиною 650 мм, з них перший і другий мають по 45 витків, а третій і четвертий – по 31 витку загальною потужністю 200 кВт, частотою 2500 Гц і продуктивністю до 1 т/год. Витрата енергії ~ 300 кВт·год/т.

Нормалізацію й загартування здійснюють у роликівих печах швидкісного нагрівання, а також установках індукційного нагрівання й контактного електронагріву методом опору. Охолодження при загартуванні в установках з печами швидкісного нагрівання й в індукційних установках проводять водяним або водоповітряним душем при безперервному русі заготівель через установку. У разі індукцій-

ного нагрівання індуктори й спреєри розташовують між приводними роликками.

На установках СВЧ нагрівають прутки від 12 до 120 мм, довжиною до 6 м. Застосовувана частота для прутків діаметром до 40 мм – 8000 Гц, а для прутків більших діаметрів – 2500-5000 Гц. Споживана потужність доходить до 1200 кВт і більше, а продуктивність – до 2-3 т.

Для прутків невеликого діаметра може бути використане нагрівання з безпосереднім попусканням електричного струму крізь виріб. Установка для нагрівання опору прутків діаметром 10-40 мм і довжиною 4-6 м до температур 900°C при потужності 120 кВт і вторинній напрузі 10-25 В має продуктивність до 250 кг/год. Час нагрівання прутка діаметром 20 мм до 900°C становить 2 хв. При потужності 250 кВт продуктивність досягає 500 кг/год.

Установка для термозміцнення методом прямого електронагрівання прутків арматури для залізобетонних конструкцій наведена на рис. 9. Прутки завантажують до бункера 1, потім вони надходять у вузол висадження головок 2. Після цього прутки подають на позицію нагрівання 3. Кінці прутка затискають між рухомим і нерухомим контактом. Після нагрівання до заданої температури прутки скидають на захоплення 4 поворотні пристрої й поринає в гартівну ванну 5. Загартований прутки тим самим захопленням подається на позицію 6 для нагрівання під відпуск. Обертання поворотного пристрою здійснюється рейкою, що приводить у рух, з'єднаною зі штоком пневматичного циліндра 7.

Значні перспективи в підвищенні механічних властивостей профілів прокату, а отже, зменшення маси конструкцій і машин, дає застосування високотемпературної термомеханічної обробки (ВТМО) і контрольованої прокатки. Така обробка значно підвищує характеристики міцності, пластичності й в'язкості сталі при зниженні

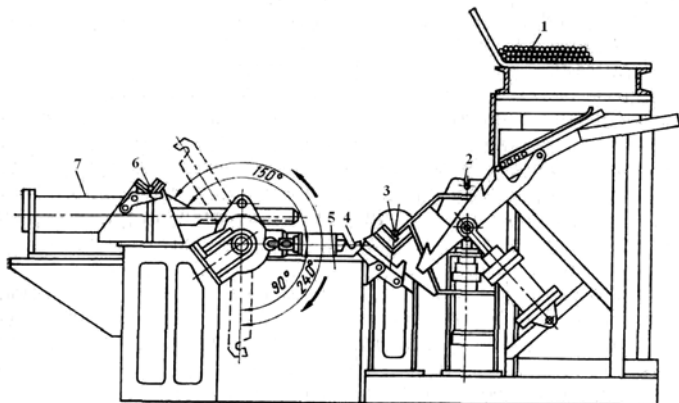


Рисунок 9 – Схема автоматичної установки для термічного зміцнення пруткових арматур методом прямого електронагрівання

порога холодноламкості. На сталі 35ХГС застосування ВТМО з обтисненням в останніх струменах 20-25 % і загартування нерекристалізованого аустеніту від 800°C дає підвищення ударної в'язкості при випробуванні в умовах кімнатної температури з 0,2 МДж/м² (після загартування без застосування термомеханічної обробки) до 0,6-0,7 МДж/м² і вище. При випробуванні в рідкому азоті сталі 35ХГСА, підданої ВТМО, ударна в'язкість доходить до 0,5-0,6 МДж/м², стиск площі поперечного перерізу 14-16% і межа міцності 1600-1650 МПа. Та сама сталь, загартована без застосування термомеханічної обробки, дала при випробуванні в рідкому азоті ударну в'язкість 0,1-0,2 МДж/м², стиск 0-4%, тимчасовий опір 1300 МПа. Однак процес рекристалізації аустеніту при температурах 850-800°C проходить дуже швидко, тому часто обмежуються зміцненням за рахунок контрольованої прокатки й швидкого охолодження відразу по виходу з останньої кліті. При контрольованій прокатці намагаються витримати останнє обтиснення 20-25% і температуру біля точки Ас₃. Труднощі в освоєнні

зміцнення прокату становили забезпечення інтенсивного й рівномірного охолодження стержнів, що рухаються зі швидкостями прокатки 15-20 м/с, і висока температура (1000-1050°C) по виходу із чистової кліті. Хороші результати дало охолодження стрижнів арматури спрямованим потоком водоповітряної суміші зі швидкістю 30-50 м/с, тобто в 2-3 рази більшою за швидкість прокатки. Високі швидкості води дозволили одночасно з охолодженням здійснити гідротранспортування стержнів.

Охолодний пристрій складається з дев'яти послідовно розміщених секцій загальною довжиною 30 м. На початку секції встановлюється форсунка 1, що дає кільцевий струмінь води, спрямований в охолодну камеру 2 на виріб. У кінці камери встановлений гідравлічний охолодний пристрій 3 (рис. 10). Ця установка дозволяє значно збільшити швидкість охолодження й на сталі Ст5 одержати в стержнях діаметром 20 мм тимчасовий опір більше 900 МПа й подовження 12 %, а на сталі 35ГС – більше 1200 МПа при подовженні 7 %.

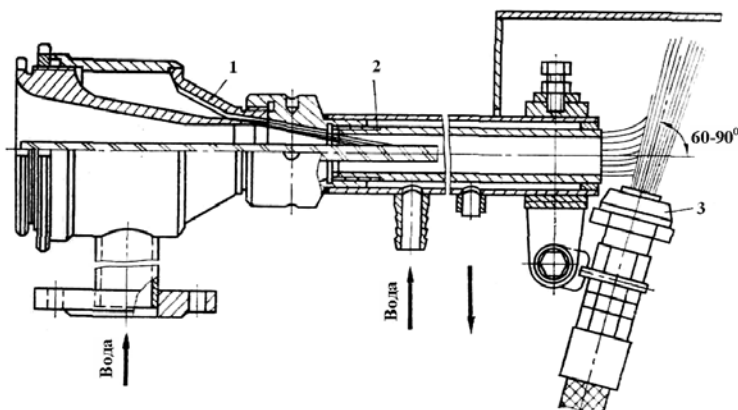


Рисунок 10 – Схема охолодного і гідротранспортного пристроїв для стержнів

Унаслідок розвитку рекристалізаційних процесів при високій температурі пластичної деформації в чистовій клітці, для часткового використання ефекту ВТМО проводять енергійне охолодження стрижнів одразу на виході із чистової клітки (не пізніше 0,8-1,5 с).

Криворізьким металургійним заводом зміцнено кілька мільйонів тонн стержнів класів АТІІІ-АТVІ. Крім підвищення механічних властивостей, вдалося замінити леговану сталь 20ГС вуглецевою сталлю Ст5, а сталь 23Х2М2Т – сталлю з меншим ступенем легованості 20ГС, 20ГС2.

Фасонні профілі (кутики, швелери, двотаври) піддають зміцненню із прокатного нагрівання. Успішно проведене зміцнення кутиків № 10, швелерів № 16-20, двотаврових балок № 55 зі сталей Ст3, Ст5, 09М2. Хороші результати при зміцненні дає використання диференційованого охолодження з різним підведенням охолодної води до тонких і товстих перерізів профілю. Так, при охолодженні кутика потік води направляють на його внутрішню частину. Подальший відпуск загартованих профілів при 550-650°C дозволяє одержати однорідну структуру по всьому перерізу профілю.

Для деяких профілів алюмінієвих сплавів загартування можна проводити відразу після пресування. Як правило, температура пресування буває дещо нижчою за оптимальну температуру нагрівання для загартування. Тому слідом за пресом установлюють піч для додаткового підігрівання й вирівнювання температури пресованих профілів. За підігріванням іде безперервно-послідовне охолодження профілів спреєром. При охолодженні профілі жолобляться, тому їх охолоджують у спреєрних пристроях, які дозволяють реалізувати принцип "теплового виправлення".

2.4. Контроль якості сортового прокату й профілів

Контроль твердості. Твердість після відпалу або високого відпуску не повинна перевищувати: для вуглецевих сталей НВ 149-229 (ГОСТ 1050), для легованих НВ 163-269 (ГОСТ 4543), для пружинних НВ 229-285 (ГОСТ 14959), для швидкорізальних НВ 255-269 (ГОСТ 19265). Для контролю твердості й структури починають упроваджуватися у виробництво магнітні й електричні методи, а для виявлення тріщин, раковин та інших внутрішніх дефектів застосовують ультразвукові, магнітні й електромагнітні методи. Для сортового прокату, відповідно до вимог Держстандарту або технічних умов, проводять випробування механічних властивостей при розтягуванні. Для зміцненої арматурної сталі залежно від класу міцності тимчасовий опір має бути не менше 800-1300 МПа при подовженні 8-5%. Прутки, призначені для холодного видавлювання, піддають холодному осіданню на $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$ або $\frac{1}{4}$ від вихідних розмірів зразка.

Глибину знеуглецьованого шару прутків визначають за ГОСТ 1435. Вона не повинна перевищувати для малих діаметрів 2-3 %, для діаметрів понад 60 мм 1,5%, а для холоднотягнутої сталі 1,0% від діаметра прутка.

Мікроструктура шарикопідшипникових та інструментальних сталей повинна становити рівномірно розподілений зернистий перліт. Прутки діаметром або товщиною більше 60 мм контролюють на відсутність у мікроструктурі карбідної сітки.

3. ТЕРМІЧНА ОБРОБКА ЛИСТІВ І ШИРОКОЇ СТРІЧКИ

Випуск листів і широкої стрічки становить більше 40% від обсягу прокату, їх обсяг виробництва безупинно зростає. Збільшується й випуск термічно оброблюваних листів з метою підвищення їх властивостей і зниження металоємності виробів, виготовлених із прокату. У великій кількості листи використовують як конструкційний і будівельний матеріал. Їх умовно поділяють на товсті (товщиною більше 4 мм – ГОСТ 1577-81) і тонкі (товщиною менше 4 мм). Товсті листи виготовляють гарячою прокаткою (гарячекатані); значна частина тонких листів після гарячої прокатки для одержання гладкої поверхні й рівномірної товщини листа піддається холодній прокатці (холоднокатані). У більшості випадків тонкі листи виготовляють із широкої стрічки, одержуваної на багатовалкових станах безперервної прокатки. Для виготовлення листів залежно від їх призначення й пропонованих вимог застосовуються вуглецеві, мало- і високолеговані сталі й кольорові сплави.

3.1. Термічна обробка товстолистової сталі

Товсті листи товщиною 4-160 мм використовують під час будівництва мостів, промислових і цивільних споруджень, трубопроводів, у суднобудівній, автотракторній, вагоно- і тепловозобудівній, котельній, хімічній, оборонній промисловості й у значній кількості як заготовки для одержання тонких листів.

Для листів, використовуваних у конструкціях, важливою технологічною властивістю є зварюваність, тому в сталі доводиться обмежувати вміст вуглецю й легуючих елементів, з огляду на вуглецевий еквівалент:

$$C_e = C + \frac{Mn}{8} + \frac{Cr}{5} + \frac{Ni}{5} + \frac{Cu}{13} + \frac{Mo}{4} + \frac{V}{4} \leq 0,43.$$

Сталевий товстий лист виготовляють за ГОСТ 5521-76, ГОСТ 5520-79 з вуглецевих сталей із вмістом 0,08-0,30% С або низьколегованих добре зварних сталей типу 15М, 20М, 09М2, 09М2Д, 14М2, 12ГС, 16ГС, 09М2С, 09М2СД, 15М2С1, 15М2СФ, 15М2СФД, 15М2АФ, 15М2АФД, 14ХГС, ЮХСНД, 15ХСНД та ін.

За нормованими механічними властивостями листи розподіляють на 17 категорій з механічними властивостями в стані поставки $\sigma_b = 450-550$ МПа при $KCU^{-40} = 0,3-0,4$ МДж/м² залежно від категорії міцності й марки сталі (ГОСТ 19282-73).

Необхідні механічні властивості товстих листів із вуглецевих і низьколегованих сталей часто можуть бути отримані відразу після гарячої прокатки при регульованому режимі прокатки, а саме при температурі кінця прокатки біля критичної точки Ar_3 . За наявності змотування гарячекатаної смуги в рулон намагаються підтримувати температуру змотування 600-650°C. Зниження температури досягають системою водоповітряного охолодження смуги на шляху від виходу із прокатного стану до моталки.

Для поліпшення структури, здрібнювання зерна й підвищення механічних властивостей листи з вуглецевих і низьколегованих сталей піддають нормалізації з 920-900°C. Залежно від технічних вимог іноді після нагрівання застосовують спрейєрне прискорене водоповітряне охолодження з подальшим високим відпуском при 620-680°C або загартування з відпуском.

Товстолистову сталь категорій 7-9 і 13-15 поставляють у термічно обробленому стані, а категорій 1-6 і 10-12 залежно від вимог замовника в термічно обробленому стані й без термічної обробки. Можна одержати зміцнення листового прокату контрольованою прокаткою, витримуючи

температуру кінця гарячої прокатки біля критичної точки Ar_3 , а останні обтиснення в межах 20-25%. Якщо при цьому вдається уникнути рекристалізації повністю або частково, то виходить додаткове підвищення властивостей у результаті успадкування структури деформованого аустеніту – високої щільності дислокацій, дрібного зерна, блокової дисперсної структури, тобто вдається використати високотемпературну термомеханічну обробку (ВТМО). Часте введення в низьколеговані сталі невеликих кількостей сильних карбідотвірних елементів (V, Nb, Ti) і застосування контрольованої прокатки дають можливість відмовитися надалі від термічної обробки. Так, вводячи в сталь 09Г2С 0,01-0,03% Nb і 0,06-0,10% V, на листі товщиною 20-30 мм одержують $\sigma_T > 450$ МПа при $KCU^{-40} = 0,4-0,5$ МДж/м². Підвищити механічні властивості марганцевистої сталі 04Г4АФ із 3-4% Mn можна введенням у неї 0,15% V і 0,02% N. У листах товщиною 20-25 мм $\sigma_T \geq 500-550$ МПа.

У разі зміцнення товстих листів зі спеціального нагрівання економічно використовувати частину тепла, що залишилось у металі після гарячої прокатки. На стані 3600 заводу "Азовсталь" листи після гарячої прокатки охолоджують на рольганзі до 500-550°C, а потім ведуть перекристалізацію з нагріванням вище точки Ac_3 у роликових печах з подальшим спреїєрним охолодженням у роликотартівній машині.

Гарячекатана товстолистова сталь для холодного штампування розподіляється на три категорії. Листи представляють із певними механічними властивостями за ГОСТ 4041 і твердістю HB 100-138. Частіше застосовують вуглецеві сталі марок 08, 10, 15, 20 киплячі (кп) і напівспокійні (нс) з величиною зерна не більше бала 5-6. Оптимальні властивості товстих листів для глибокої витяжки одержу-

ють після попередньої термічної обробки – нормалізації з 920-930°C і відпуску при 620-700°C у прохідних печах.

Леговані конструкційні товстолистові сталі поставляють за ГОСТ 1542-71, найбільше застосування знаходять сталі від 60М до 70М, від 35М2 до 50М2, від 35Х до 40Х, від 20ХГС до 30ХГС, 30ХГСН2А, 12ХН2НФА, 12Х2НВФА, 19Х2НМФА та ін. Попередня їх термічна обробка зводиться до відпалу або нормалізації з високим відпуском. Необхідні механічні властивості в стані поставки повинні мати: твердість у межах НВ 149-217, межу міцності 490-735 МПа при подовженні δ_{10} від 11 до 16% залежно від марки сталі (ГОСТ 11269). Нормалізації піддаються сталі (60-70) Г і (35-50) Г2 з температур 920-940°C, сталі (30-45) Х з 840-860°C і сталі (20-35) ХГС із 820-840°C. Відпуск після нормалізації виконується при 680-720°C. Відпал проводиться з нагріванням 750-800°C із подальшим охолодженням зі швидкістю 30-40°C/год до 500°C, а потім на повітрі.

Остаточною термічною обробкою для товстих листів і плит із вуглецевих сталей є нормалізація, а для легованих і високолегованих конструкційних сталей типу хромонікелевих, хромонікелемолібденових та інших загартування з 860-880°C у маслі з високим відпуском на необхідні властивості, частіше при 620-680°C.

Корозійностійку, жаростійку товстолистову сталь, гарячекатану й холоднокатану поставляють за ГОСТ 7350. Залежно від мікроструктури вона може бути аустенітного, аустенітно-феритного, мартенситного, мартенситно-феритного й феритного класів. Листи зі сталі аустенітного класу (12Х18Н9, 08Х18Н10Т, 08Х18Н12Т, 08Х18Н12Б, 10Х17Н13М2Т, 10Х23Н18, 20Х25Н20С2, 10Х14П4, 10Х14АПЗ, 10Х14П4НЗ, 12Х17М9АН4, 20Х20Н14М2), аустенітно-феритного (12Х21Н4Т, 08Х21Н6М2Т, 08Х22Н6Т та ін.) піддають гартуванню з

1050-1100°C із подальшим швидким охолодженням у воді або на повітрі. Чим більше в сталі вуглецю й карбідотвірних елементів, тим вища має бути температура нагрівання під гартування для їх розчинення. Особливо важливо проводити швидке охолодження в інтервалі температур від 900 до 500°C, у якому відбувається найбільш інтенсивне виділення карбідів по межах зерен. Листи зі сталей мартенситного класу (20X13, 30X13, 11X11H2BMФ, 16X11H2B2MФ та ін.) і мартенситно-феритного класу (12X13) гартують із температур 1000-1050°C у маслі й потім піддають відпуску при 680-780°C. Сталі феритного класу (08X13; 12X17; 08X17T, 08X18T1, 14X17H2, 15X28, 15X25T та ін.), як такі, що не мають фазових перетворень, піддають нагріванню при 760-780°C із подальшим охолодженням у воді або на повітрі. Швидке охолодження необхідне для того, щоб уникнути відпускнуї крихкості, що виникає при сповільненому охолодженні в інтервалі 500-400°C.

Товсті листи з теплотривких сталей переважно виготовляють із сталей 12X1MФ, 18X3MB, 20X3MBФ, 25X2M1Ф та ін. (ГОСТ 20072-74). Їх піддають гартуванню в маслі з 950-1000°C і потім високому відпуску при 680-720°C з охолодженням на повітрі.

Значну кількість товстих аркушів виготовляють із алюмінієвих і мідних сплавів; вони зазвичай використовуються як заготовки для отримання тонких листів і стрічки й спеціальній термічній обробці не піддаються.

3.2. Термічна обробка тонколистової сталі

Тонколистову сталь (товщина менше 4 мм) поставляють у вигляді гарячекатаних і холоднокатаних листів і широкої стрічки з вуглецевих і легованих сталей, а також мідних, алюмінієвих і титанових сплавів.

Гарячекатані листи з низьковуглецевої сталі у великій кількості використовують в автомобільній і тракторній промисловості як чорну жерсть, дахове й декапіроване залізо, динамну сталь та ін.

Холоднокатану сталь широко застосовують у машинобудуванні для деталей, виготовлених холодним штампуванням, у вигляді білої жерсті для консервної промисловості, трансформаторної сталі, алюмінієвих сплавів для авіації й інших призначень.

При виготовленні дуже тонких листів і стрічки із чорних і кольорових сплавів доводиться застосовувати холодну прокатку заготовок у кілька етапів із проміжними рекристалізаційними відпалами.

Тонколистова гарячекатана й холоднокатана сталь загального призначення в значній кількості готується з вуглецевих сталей марок від 08 до 50, найбільше застосування знаходять сталі марок від 08 до 20 киплячі (кп) і напівспокоїні (нс). За нормованими механічними властивостями листи розподіляють на п'ять категорій. Залежно від категорії й товщини листа тимчасовий опір змінюється від 265 до 685 МПа при подовженні від 28 до 12%. Сталі категорій 5 і 1 в листах товщиною від 0,2 до 2 мм контролюють додатково на витяжку за Ериксоном, що повинна бути для нормальної витяжки (Н) 5,7-9,9 мм, а для глибокої (Г) 6,9-11,8 мм залежно від товщини листа (ГОСТ 16523). Тонколистову сталь товщиною від 3,9 до 2,0 мм випробовують на вигин у холодному стані на оправленні, що дорівнює товщині листа. При загині на кут 180° у місці вигину не повинно бути надривів, тріщин, розшарування.

Найпоширеніші леговані сталі для тонких листів 16ГС, 09М2С, 09М2СД, 10М2С1, 10ХСНД. Їх піддають відпалу або нормалізації.

Тонколистову холоднокатану сталь для холодного штампування випускають у вигляді рулонів з низьковугле-

цевих сталей 08кп, 08пс, 08Ю. Товщина смуги 0,25-2,3 мм, ширина 610-1300 мм. Залежно від витяжки за Ериксоном вона ділиться на категорії: ВГ – дуже глибокої витяжки (від 9 до 12 мм), СВ – складної (від 9,2 до 11,6 мм), ОСВ – особливо складної (від 9,4-12,1 мм), ВОСВ – дуже особливо складної (9,7-12 мм) на товщинах листів від 0,5 до 2 мм. При цьому твердість листів HRB 48-46, $\sigma_T = 206-186$ МПа (ГОСТ 9045-80). Рекристалізаційний відпал (690-700°C) проводять у рулонах у ковпакових печах з контрольованою атмосферою типу ДАС і повільному охолодженні до 150°C. При відпалі садки в 80-90 т (3 рулони) загальний цикл процесу становить 100-110 год (нагрівання 32-36 год, витримка 16-20 год і охолодження 46-50 год); продуктивність печі до 0,8 т/год. Особливо багато часу займає охолодження, що проводиться в контрольованій атмосфері під металевим муфелем при знятому нагрівальному ковпаку. Кращі результати отримані при прискореному охолодженні за рахунок циркуляції частини контрольованої атмосфери, охолоджуваної у виносних холодильниках. При відпалі в рулонах властивості стрічки по довжині неоднорідні. З огляду на збереження потоковості виробництва в прокатному цеху доцільно й рекристалізаційний відпал увести в потік, застосовуючи протяжні шахтні печі безперервної дії. Аналіз дослідницьких робіт і зарубіжний досвід дозволяють рекомендувати швидкісний режим безперервного відпалу в протяжних печах із подальшим перебудовуванням.

Так, для смуги товщиною 0,6 мм проводиться нагрівання до 800-820°C протягом 90 с із витримкою при цій температурі 30 с, охолодженням до 600°C – 30 с, прискореним охолодженням до 300°C по 20°C/с, нагрівання до 400°C для перебудовування з витримкою 90 с і подальшим охолодженням по 10°C/с. Загальний час циклу – близько 300 с (рис. 11). Продуктивність агрегату досягає 60-65

т/год при швидкості руху смуги близько 3 м/с. При цьому можна одержати $\sigma_T = 200-230$ МПа при $\delta=34\%$ і $R=1,4$.

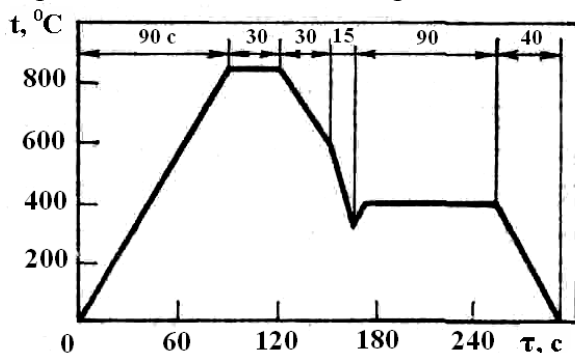


Рисунок 11 – Графік швидкісного режиму безперервного рекристалізаційного відпалу з перебудовуванням сталі 08кп

З метою поліпшення штампованості доцільне вповільнення нагрівання стрічки при температурах 400-600°C. У цьому разі в промислових сталях полегшується утворення човноподібного зерна 5-6-го балів.

Для отримання $\sigma_T < 200$ МПа при швидкісному нагріванні в прохідних печах безперервної дії необхідно знижувати вміст вуглецю до 0,03-0,05% як у сталі 05кп, так і в 05Ю. У Японії отримана сталь із 0,003% С шляхом невеликого легування ніобієм і алюмінієм із властивостями: $\sigma_T=160-180$ МПа при $\sigma_B = 300$ МПа й $\delta = 46\%$ з покриттям цинком.

Для отримання високоміцної штампованої сталі, що відпалюється у печах безперервної дії, розроблений ряд технологічних процесів при різному вмісті в сталі легуючих елементів. З низьколегованих сталей застосовують сталі з вмістом $\leq 0,1\%$ С; 0,3 - 1,0 Мн; 0,01-0,12 Nb і 0,02-0,06 Al. Підбором кількості ніобію й режимів безперервного відпалу можна одержати межу текучості $\sigma_T = 300-500$ МПа при міцності $\sigma_B = 500-1000$ МПа й подовженні $\delta = 16-$

36%. Безперервний відпал часто проводиться з перебудуванням.

Застосовуються також сталі з марганцем, підвищеним вмістом азоту й невеликою кількістю хрому (0,4-0,6%).

Якщо потрібен високоміцний лист із $\sigma_b = 400-500$ МПа і $\delta = 35-40\%$, застосовують сталі зі зміцненим феритом; за необхідності мати високоміцну сталь із $\sigma_b = 500-550$ МПа і $\delta = 22-27\%$ застосовують дисперсійно твердіючу сталь; якщо ж необхідний лист із $\sigma_b = 600-800$ МПа і вище, застосовують сталі з феритомартенситною структурою.

Біла жерсть – це залізо, покрите оловом.

Термічна обробка жерсті складається з подвійного відпалу. Перший (чорновий) відпал проводять після гарячої прокатки, а останній (чистовий) відпал після дресування. Чорновий відпал здійснюють із нагріванням при температурах вище A_{c1} ($800-830^\circ\text{C}$), а чистовий відпал при температурах нижче A_{c1} ($640-680^\circ\text{C}$) у захисній атмосфері.

Дахове, обшивальне й декапіроване залізо виготовляють із м'якої вуглецевої сталі марок 10, 15. Дахове залізо піддають відпалу з метою отримання щільної окалини й підвищення в'язкості.

Гарячекатані й холоднокатані листи й стрічки з аустенітних і корозійностійких і жаростійких хромонікелевих сталей типу X18H10T, X23H18, X18H25C2 та ін. піддають термічній обробці, що складається із загартування з температури $1050-1100^\circ\text{C}$ у воді. Тривалість витримки при нагріванні в прохідних печах становить близько 1 хв. на 1 мм товщини листа. Для підвищення зміцнювальних властивостей листи й стрічка з аустенітних корозійностійких сталей часто випускаються в наклепаному стані.

Листи із хромистих феритних сталей (X17T, X25T, X28 та ін.) для підвищення в'язкості піддають високому відпуску при температурах $700-780^\circ\text{C}$ з витримкою в прохідних печах по 2 хв. на 1 мм товщини листа з подальшим прискореним охолодженням (у воді або на повітрі).

Більшість листів і стрічок з мідних сплавів типу латуней і бронз мають структуру однорідного твердого розчину без фазових перетворень, тому їх після пластичної деформації піддають тільки рекристалізаційному відпалу при 600-700°C.

Міднонікелеві сплави НМЖМц 28-2,5-1,5 (монель-метал), МНЖМЦ 30-0,8-1 (мельхіор), МНМЦ 15-20 (нейзильбер) та інші відпалюють при 750-800°C. Виняток становлять берилієві бронзи (Cu+1,5-2,5% Be), які мають діаграму стану з обмеженою розчинністю берилію в міді, що зменшується зі зниженням температури. Тому листи з берилієвої бронзи проходять швидке охолодження у воді з температури 800°C і старіння при температурі 370°C. При цьому можна отримати σ_B до 1200 МПа при межі текучості σ_T до 700 МПа.

Тонкі листи й стрічки з алюмінієвих сплавів типу Д1, Д16, В95 та ін. для підвищення зміцнювальних властивостей піддають загартуванню у воді для одержання пересичених розчинів (нагрівання при 470-500°C і подальше старіння при 160-180°C). Листи сплаву Д1 піддають природному старінню.

Листи й стрічки з титанових сплавів відпалюють при 650-700°C (сплави типу АТЗ, ВТ6, ВТ 15 при температурах до 800-850°C). Стрічки товщиною 1,8-2,0 мм і менше виготовляються холодною прокаткою із проміжними відпалами при 600-700°C. Перед проміжним відпалом стрічку піддають травленню для видалення газонасиченого шару лугокислотним методом.

Для запобігання газонасиченості титанових листів їх відпалюють в атмосфері інертних газів (в аргоні, гелії) або у вакуумі при тиску не вище 0,13 МПа. Відпал частіше проводять у рулонах у вакуумних шахтних печах. З метою полегшення видалення з металу газів (водню) рекомендується обробка розпушених рулонів. Тонку стрічку з титану

і його сплавів нагрівають у печах безперервної дії в атмосфері інертних газів.

З титану і його високопластичних сплавів виготовляють фольгу товщиною 0,05-0,10 мм, отримуючи її зі стрічки товщиною 0,5-0,8 мм холодною прокаткою за 7-8 проходів із проміжними відпалами при температурах 600-650°C у вакуумі. Залежно від сплаву витримка при відпалі 2-5 год. Вихідний відпал фольги – 600°C, 4-5 год.

Загартуванню листи з титанових сплавів піддають порівняно рідко, при цьому необхідно забезпечити безокиснювальне нагрівання, високу швидкість охолодження й відсутність жолоблення. Для більшості сплавів, що піддаються загартуванню, температуру нагрівання беруть 850-900°C. Як найбільш перспективні способи загартування рекомендується нагрівання листів у вакуумі та їх охолодження зі швидкостями 20-30°C/с в аргоні або гелії. Цих швидкостей досить для отримання пересичених розчинів і подальшого старіння зі зміцненням сплавів.

3.3. Устаткування для термічної обробки листів і стрічки

При індивідуальному й серійному виробництві для термічної обробки товстих листів і плит товщиною більше 60 мм застосовують камерні печі із завантаженням і вивантаженням листів шаржир-машинами, а частіше печі з висувним подом. Печі для відпуску необхідно оснащувати вентиляторами для примусової циркуляції пічної атмосфери.

На рис. 12 показаний план термічного цеху для загартування й відпуску товстих листів. Листи надходять залізницею й складаються краном на стелажі 1, звідки шаржир-машиною 2 завантажуються в підігрівальні печі 3, а потім у гартівні печі 4. Охолодження при загартуванні відбувається до 250°C у спеціальних гартівних пресах 5 зі струминним пристроєм. Подальше охолодження здійснюють у

Figure 1 is a plan view of the layout of the experimental facility. It shows a rectangular layout with various numbered components. The dimensions are given as 12000, 12000, 15600, 24000, and 12000. Components are labeled with numbers 1 through 11.

Під час нагрівання товстих листів і плит у печах з висувним подом і загартування у вертикальному положенні доцільно використати бак зі спеціальною траверсою (рис. 13). Нагріта плита з висувного поду печі захоплюється лещатами спеціальної підвіски 1 й укладається на рухливу траверсу 2а (на рисунку зображені штриховими лініями). Для центрування плити й підвіски встановлюється упор 8. Далі траверсу разом із плитою за допомогою каретки 3а поміщають у бак 4 на колесах 5 по напрямній 6, займаючи вертикальне положення. В опущеному стані плита притискується до траверси 2 роликком притиску 7. Після охолодження траверса знову піднімається в горизонтальне положення й плита знімається тією самою підвіскою 1. Піднімання й опускання каретки 3 здійснюються через ролик 9 тросом за допомогою барабана 10, що приводиться в обертання через редуктор 11 електродвигуном 12. Нормалізацію проводять обдуванням плити повітрям на висуну-

тій подині. У ряді конструкцій на висувному поді печі встановлюють порожні металеві підставки, через які подається повітря під тиском. Нагрівання для загартування, нормалізації й відпуску листів товщиною менш 60 мм у масовому виробництві беруть переважно в прохідних роликкових печах. Час нагрівання приймають із розрахунку 1,0-1,5 хв/мм товщини при холодній і 0,7-1,0 хв/мм при гарячій посадці (з температурою 400-600°C), при дворядному завантаженні із прокладками 50-70 мм-1,5-2,0 хв/мм, а при відпалі й відпуску 3-4 хв/мм товщини листа.

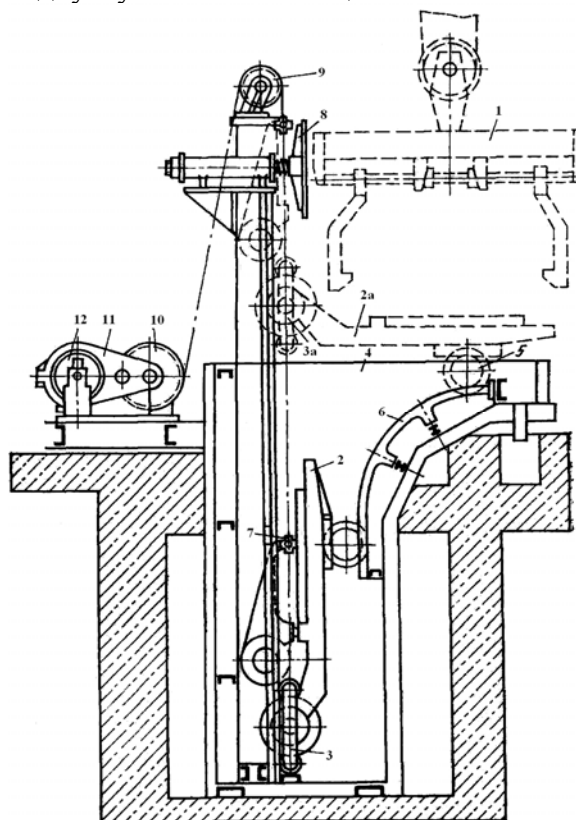


Рисунок 13 - Бак для загартування товстих листів і плит у вертикальному положенні

Довжина роликів печей досягає 50-100 м і вище. Рух листів по печі відбувається завдяки обертанню роликів, діаметр яких перебуває в межах 200-400 мм. Для робочих температур 950 °С ролики роблять із гладких труб з жаростійких сталей з охолодженням цапф водою. При транспортуванні тонких листів для збільшення кроку роликів і поліпшення обігрівання листів на труби насаджують литі диски з жаростійких сталей. Для високих температур нагрівання диски на роликах роблять керамічними. Диски на сусідніх роликах розміщують у шаховому порядку. При температурі печі 1000°С и вище застосовують ролики з охолоджуваною віссю, що ізолюється малотеплопровідними матеріалами. Осі роликів виносять із печі й спирають на підшипники, бажано сферичної форми, які зменшують можливість заклинювання роликів при перекосах. Часто ролики повідомляють листу три швидкості руху: технологічну, визначальним часом перебування в печі, транспортну – для швидкої видачі виробів з печі (наприклад, для загартування) і зворотно-поступальну на один оборот ролика для попередження прогину роликів при високій температурі печі. Привід роликів може бути груповим, а для більших печей – індивідуальним (кожного ролика від свого електродвигуна й редуктора).

Роликова піч на металургійному заводі "Азовсталь" для нагрівання під загартування листів шириною до 3,2 м і товщиною 5-50 мм має розміри робочого простору: ширину 3,8 м, довжину 67 м, висоту від осі роликів до склепіння 1,9 м і до поду 1,4 м. Піч має 14 секцій і 7 температурних зон, 114 роликів із кроком 580 мм, діаметр бочки ролика 420 мм. Швидкість пересування листів: технологічна – 5-50, транспортна – 60 і погойдування – 12 м/хв. Привід роликів індивідуальний. Продуктивність печі – до 40 т/год. Пальники (348 шт.) розміщуються у два ряди над роликами й під ними. Витрата природного газу ($Q_n^p = 34$ МДж/м³)

на опалення становить $3500 \text{ м}^3/\text{год}$. Печі аналогічної конструкції застосовують на металургійному заводі "Азов-сталь" для нормалізації листів. По виходу з печі загартування або сорбітизація листів проводиться в роликогартівній машині зі спреїєрним охолодженням. Машина довжиною 18 м має 23 пари привідних нижніх і верхніх роликів діаметром 300 мм.

Роликова піч для нагрівання під гартування листів товщиною 12-25 мм, шириною до 2 м і довжиною до 12 м у пресі має ширину 2,5 м, довжину 40 м. Видача листів з печі проводиться періодично. Пічні ролики гладкі з діаметром бочки 275 мм і кроком 450 мм, мають груповий привід по трьох роликах від електродвигуна через ланцюгові зірочки. Рух листів відбувається зі швидкостями: технологічної 10-20, транспортної – 60 і при погойдуванні – 12 м/хв. Пальники розташовують у два ряди – над роликами й під роликами. Продуктивність печі до 15 т/год. Прес для гартування листів має дві рами, розміщені поруч пустотілих поперечних опор, через які підводиться охолодна вода. Виданий з печі лист нижньою рухомою рамою знімається з рольганга, притискається до верхньої рами й піддається двосторонньому охолодженню через отвори в опорах. Кількість подаваної води приблизно $20 \text{ м}^3/\text{хв}$.

Для нагрівання під гартування листів товщиною 5-50 мм і шириною до 3 м з аустенітних сталей роликова піч має робочу ширину 3,5 м і довжину 61 м. Максимальна температура печі – 1100°C . Піч працює на природному газі, 70 пальників розміщують з напрямком факела під склепіння печі й 20 додаткових пальників установлюють у перших двох зонах на 0,4 м нижче рівня роликів.

Діаметр транспортувальних роликів дорівнює 360 мм, крок роликів – 400 мм. Ролики приводяться в обертання від електродвигуна за допомогою ланцюгової передачі. Один електродвигун пускає в хід секцію, що складається з

40 роликів. Продуктивність печі становить при загартуванні до 25 т/год. Піч забезпечується завантажувальними й розвантажувальними столами довжиною до 15 м і горизонтальним гартівним пресом довжиною 12,8 м. Гартівний прес розвиває зусилля до 1000 т. При гартуванні верхня рухлива плита опускається, занурює у воду привідний роліганг і затискає лист між двома гратчастими плитами. Витрата води для гартування становить $50 \text{ м}^3/\text{хв}$.

Для загартування гарячекатаних листів з корозійностійкої сталі товщиною 4-6 мм і шириною до 1,6 м використовується роликова піч шириною 2 м, довжиною 6,5 м з камерою охолодження довжиною 6 м, обладнана двостороннім душем. Завантаження й вивантаження листів проводять періодично. Камера нагрівання має 16 роликів діаметром 200 мм із кроком 400 мм. Ролики приводяться в обертання за допомогою ланцюгової передачі. Швидкість руху листів: технологічна – 0,3-0,4, транспортна – 12 і для погойдування – 0,25 м/хв. Продуктивність печі – до 2 т/год.

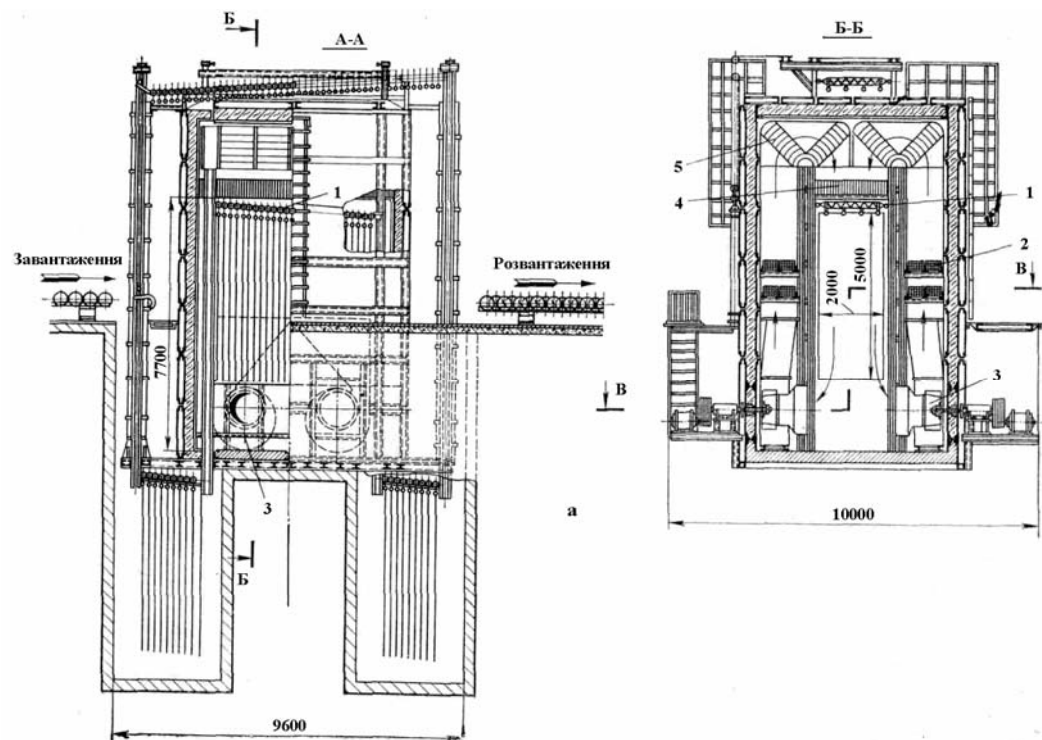
Для нагрівання під гартування листів з алюмінієвих сплавів застосовують селітрові ванни із зовнішнім або внутрішнім обігріванням і ямні вентиляторні печі.

Схема оригінальної електричної печі для гартування алюмінієвих листів у вертикальному положенні в поточковому виробництві наведена на рис. 14 а. Робоча камера печі має довжину 5,8 м, ширину 2,2 м, висоту 7,7 м і вміщає 26 листів, кожний з яких закріплюється вертикально на окремій підвісці, що рухається в печі по похилих напрямних. З обох боків робочого простору розміщують чотири секції калориферів 2 потужністю по 225 кВт. Нижче калориферів знаходяться чотири відцентрових вентилятори 3 потужністю по 55 кВт, які здійснюють циркуляцію нагрітого повітря у робочому просторі печі зі швидкістю 7 м/с. Для зменшення втрат напору й рівномірного розподілу га-

рячого повітря у верху печі є два ряди напрямних лопаток 5 і горизонтальні розподільні ґратки 4. Піч по довжині має дві самостійно регульовані температурні зони. Каркас стінок печі виконаний зі швелерів і двох чотириміліметрових листів. Як ізоляційний матеріал використовують шар жужільної вати товщиною 300 мм. При нагріванні листів товщиною 3 мм до 500°C протягом 40 хв продуктивність печі досягає 3,5 т/год. Піч може бути вбудована в потокову лінію.

Схема транспортування листів зображена на рис. 14 б. Листи з горизонтального підвідного рольганга (положення 1) захоплюються ексцентриковими затискачами, піднімаються вертикально й потім опускаються вниз (положення 2), де по похилих напрямних скачуються під піч (положення 3). Через щілину в поді печі підвіски з листами піднімаються на рівень похилих напрямних, по яких переміщаються штовхальником (положення 4). У крайньому правому положенні підвіски знімаються з напрямних, і листи поринають у гартівний бак, розташований під піччю. Рух листів у баці відбувається по похилих напрямних (положення 5), у крайньому положенні листи на підвісках піднімаються з бака нагору (положення 6) і опускаються по спеціальних напрямних на горизонтальний відвідний рольганг (положення 7). Ексцентрикові затискачі звільняють лист, і вільна підвіска піднімається на верхні похилі напрямні, що проходять над піччю, по яких знову повертається до завантажувального кінця печі.

Рух підвісок з листами повністю автоматизовано, піднімання й опускання підвісок здійснюється за допомогою електродвигунів через відповідні редуктори й барабани. При досягненні листами крайнього положення електродвигуни автоматично відключаються кінцевими вимикачами.



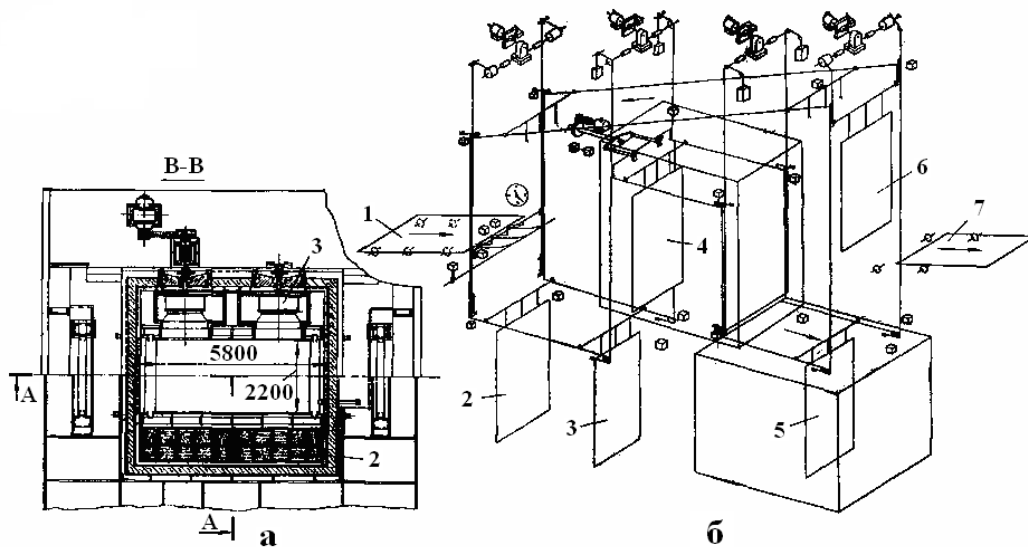


Рисунок 14 – Електрична штовхальна піч для нагрівання під гартування алюмінієвих листів у вертикальному положенні (а) і схема транспортування листів (б)

Для спрощення технології й створення комплексних ліній гартування й нормалізацію листів варто проводити з температури кінця прокатки. Для цього паралельно відвідному рольгангу, прокатного стану влаштовується охолоджувальний рольганг, на який лист передається шлеперами з основного рольганга. Для нормалізації варто застосувати примусове охолодження повітрям, що подається на обидва боки листа вентиляторами. Це легко здійснити, якщо рольганг помістити в прохідну залізну камеру, при цьому з одного кінця камери вводити холодне повітря, а з іншого кінця відводити нагріте повітря. При зміцненні листів із використанням температури кінця прокатки застосовують роликогартівні машини, у яких між роликами з обох боків листів установлюють охолодні форсунки.

Якщо температура кінця прокатки значно нижча за критичну точку A_{r3} (наприклад, при прокатці тонких листів), потрібно перед охолодженням листів ввести проміжну підігрівальну піч.

Для зменшення довжини потоку можна застосувати ряд паралельних ліній (рис. 15). З відвідного рольганга 2 прокатного стану лист шлеперами 3 передається на рольганг підігрівальної печі 4, пройшовши яку він транспортується для охолодження шлеперами 7 на другий рольганг 5, а далі шлеперами 3 на рольганг 6.

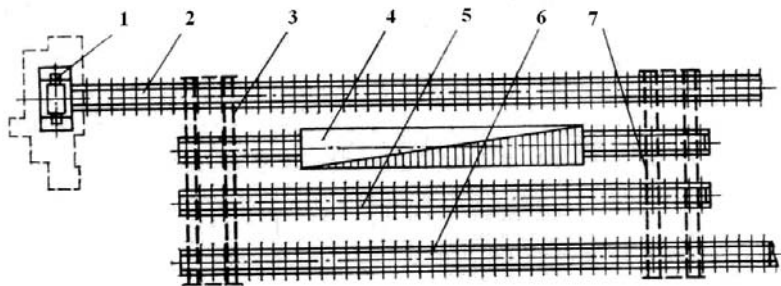


Рисунок 15 – Схема потокової лінії для термічної обробки листів відразу після прокатки

При вдосконалюванні прокатного встаткування й досягненні високих швидкостей прокатки й більших обтиснень в останніх проходах (до 20% і вище) можна буде проводити загартування листа відразу після прокатки в стані наклепаного, але не рекристалізованого аустеніту. У результаті цього можна одержати високі характеристики в'язкості з одночасним підвищенням на 20-30% характеристик міцності.

Нагрівання для термічної обробки тонкої стрічки відбувається в протяжливих горизонтальних і вертикальних печах при безперервному русі стрічки. На рис. 16 зображена горизонтальна протяжна піч продуктивністю 6-7 т/год для безперервного загартування гарячекатаної стрічки з корозійностійкої сталі шириною 1,5 м і товщиною 0,5-4 мм. Піч має камеру нагрівання з температурою 1150°C довжиною 12 м, обладнану десятьма опорними роликами діаметром 200 мм, що приводять у рух за допомогою ланцюгової передачі. Ролики обертаються синхронно з рухом стрічки в печі. Швидкість стрічки можна регулювати від 2 до 12 м/хв. За камерою нагрівання встановлена камера для загартування стрічки двостороннім водяним душем.

Крім камер нагрівання й охолодження для гартування або нормалізації стрічки, агрегат має розмотувальні й намотувальні барабани, що тягнуть ролики, натягну станцію, зварювальний апарат, ножиці й інші пристрої. Для забезпечення безперервності процесу під час приварювання нової стрічки, обрізування й заправляння передбачені секції запасу з петлеподібним рухом стрічки.

Схема загальної потокової лінії для нормалізації або загартування стрічки наведена на рис. 17. Стрічка з розмотувального пристрою 1 через семивалкову правильну машину 2 і напрямний пристрій 3 надходить у гільйотинні ножиці 4 для обрізування кінця стрічки. Далі через протипри 5 стрічка йде в стиковий зварювальний апарат 6, де

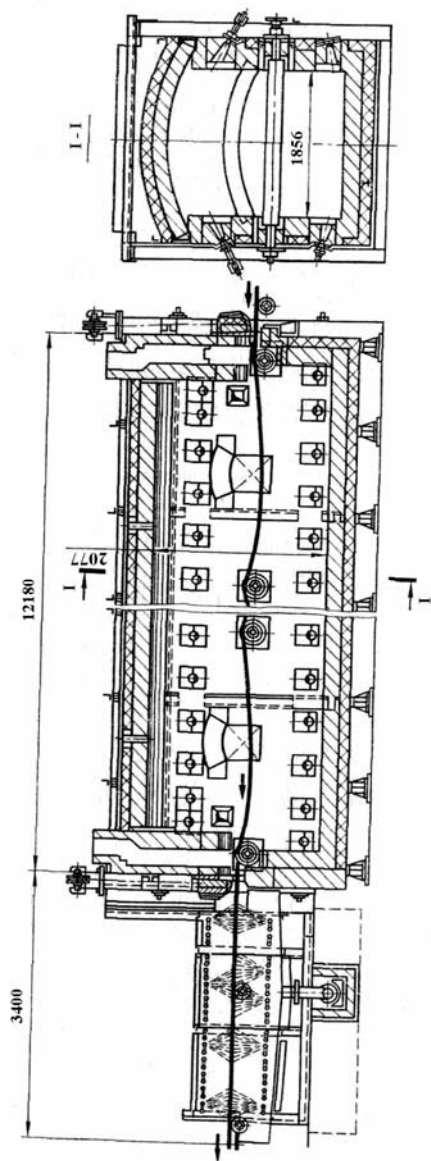


Рисунок 16 – Горизонтальна протяжна піч для безперервного загарування
стрічки з корозійної сталі

вона приварюється до кінця попередньої стрічки. Після зварювання стрічка за допомогою подавальних роликів 7 через яму запасу 8 потрапляє в тягнучі ролики 9, які направляють стрічку в піч 10 і камеру охолодження 11. Після термічної обробки стрічка знову проходить через подавальні ролики 12, секцію запасу 13, що тягнуть ролики 14, потім місце зварювання обрізається на ножицях 15, і через регулятор натягу 16 стрічка змотується в рулон на намотувальний барабан 17.

Пристрій потокової лінії для термічної обробки листів і стрічки спрощується при нагріванні струмами високої частоти (СВЧ). Нагрівання широкої стрічки СВЧ доцільніше проводити у поперечному магнітному полі. Це підвищує к. к. д. установки й знижує необхідну потужність. При нагріванні СВЧ корозійностійкої стрічки товщиною 1,5-0,5 мм, шириною 400-600 мм такий індуктор довжиною 1120 мм, потужністю 500 кВт дає продуктивність близько 1 т/год при швидкості руху стрічки через індуктор 9-10 м/хв.

Якщо потрібні більша точність нагрівання й висока однорідність властивостей стрічки, її після нагрівання в індукторі поміщають у піч для вирівнювання температури.

На рис. 18 показана схема установки для безперервного загартування стрічки з алюмінієвих сплавів з нагріванням СВЧ в індукторі 2 з поперечним магнітним полем, витримкою в шахтній печі 3 і охолодження в баці 4.

Індукційне нагрівання стрічок із кольорових немагнітних сплавів у поперечному магнітному потоці більш економічна, ніж у поздовжньому, при цьому к. к. д. установки може бути доведений до 80-85%.

Рух стрічки 1 відбувається у вертикальному напрямку між двома половинками індуктора. Індуктор (рис. 18 в) являє собою систему намагнічувальних котушок 2, зроблених з ізолюваних мідних трубок. Намагнічувальні котуш-

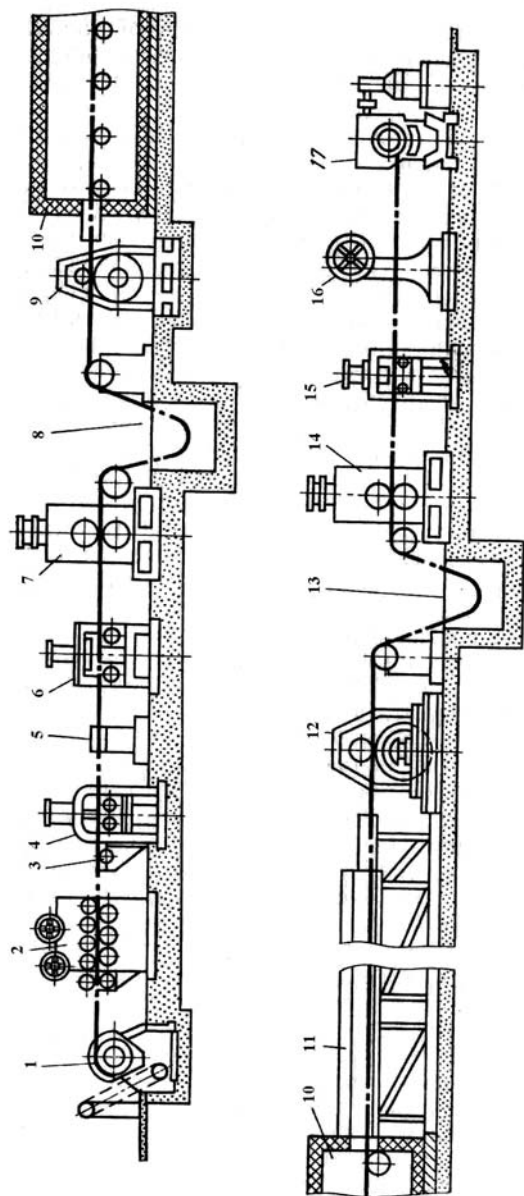


Рисунок 17 - Схема поточної лінії для загартовування або нормалізації стрічки

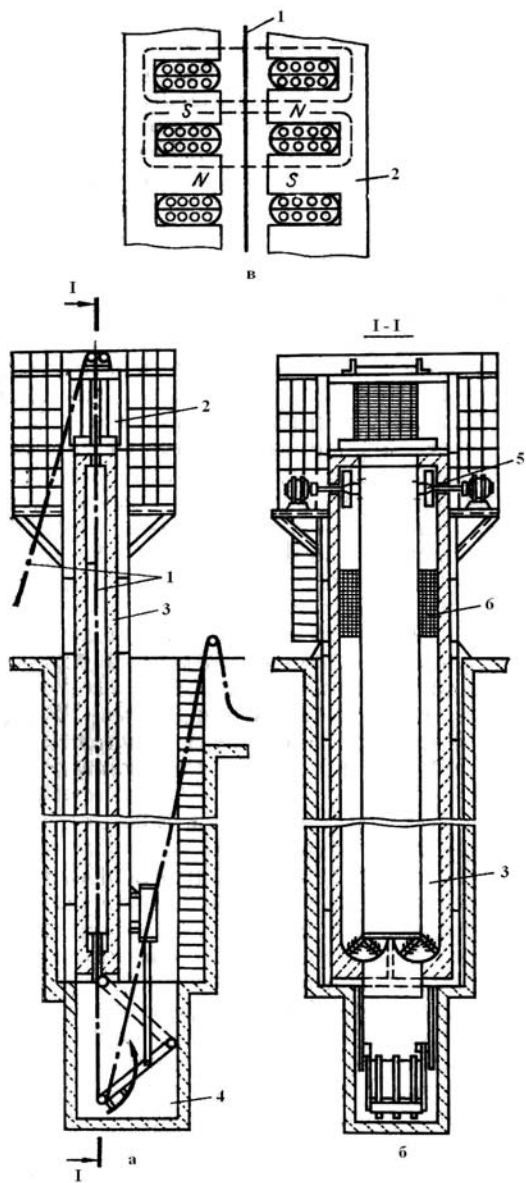


Рисунок 18 – Схема установки для безперервного загартовування стрічки з алюмінієвих сплавів з нагріванням СВЧ в індукторі з поперечним магнітним полем і витримкою в шахтній печі

ки розташовуються на загальному залізному магнітопроводі й створюють замкнуті магнітні потоки, що пронизують рухому стрічку 1. Знаки полюсів половинок індуктора протилежні. Поверхня нагрітої стрічки при її вертикальному русі через індуктор і піч зберігається неушкодженою, тому що стрічка в процесі нагрівання під загартування ні з чим не стикається. Піч для вирівнювання температури має висоту 10 м, при цьому довжина шляху стрічки в індукторі й у печі дорівнює 12 м.

Для поліпшення тепловіддачі конвекцією здійснюється циркуляція повітря в печі зі швидкістю близько 10 м/с двома відцентровими вентиляторами 5, розташованими у верху печі. Вентилятори відсмоктують повітря з робочого простору печі й спрямовують його через бічні камери з нагрівальними калориферами 6 у низ печі.

Температура стрічки контролюється на виході з індуктора контактною роликовою термопарою з автоматичним електронним потенціометром, що через електромагнітний підсилювач змінює струм в обмотці збудження спеціального генератора постійного струму, що живить двигуни тягнучих роликів. У такий спосіб регулюється швидкість руху стрічки й підтримується необхідна температура її нагрівання.

На аналогічній установці нагрівалася стрічка з дюралюмінію шириною 700-1400 мм, товщиною 0,25-2 мм. Для стрічки товщиною 2 мм витримка в печі становила 2 хв, а оптимальна швидкість руху – 6 м/хв. Потужність індуктора – 500 кВт, потужність печі, що вирівнює температуру стрічки – 100 кВт, продуктивність установки – 2,5-3 т/год.

Відпал листів і плит товщиною більше 60 мм проводять у печах з висувним подом.

Для відпалу тонких листів у стосах і стрічки в бунтах застосовують ковпакові, шахтні, муфельні, штовхальні й тунельні печі. Для запобігання окислюванню й знеугле-

цюванню використовують контрольовані атмосфери, переважно екзогаз ПСО-09.

Ковпакові печі працюють із двома й трьома подами. На одному відбувається нагрівання металу під нагрівальним ковпаком печі, на інших – охолодження садки, розвантаження й завантаження листів. Щоб охолодження відбувалося в контрольованій атмосфері, стосу металу закривають, крім нагрівального ковпака, ще металевим муфелем з листової жаростійкої сталі, під який підводять захисний газ. Для транспортування нагрівальних ковпаків цех повинен бути обладнаний потужними кранами. Для нагрівання металу до 650-700°C температура нагрівального ковпака повинна бути не менше 750-800°C. Перенесення ковпака з одного поду на іншій триває 15-20 хв, за цей час температура його внутрішньої поверхні знижується з 750-800 до 600-650°C.

Для відпалу тонких листів і стрічки зі спеціальних сплавів (титанових, трансформаторної сталі) у бунтах використовують ковпакові вакуумні печі. При цьому виключається окислювання металу й значно поліпшується його якість. Шахтні печі з муфелем у вигляді реторти застосовуються для відпалу бунтів кольорових сплавів.

Штовхальна піч безперервної дії для проміжного відпалу бунтів стрічки з алюмінієвих сплавів показана на рис. 19. Вона являє собою футеровану жужільною ватою камеру довжиною 44 м. Камера уздовж печі розділена вертикальною перегородкою на дві нерівні частини. У більш широкій частині печі на ґратчастих піддонах рухаються бунти стрічки. В іншій частині печі знаходяться калорифери й відцентрові вентилятори ВРС-10, які встановлюють на відстані, що дорівнює довжині двох піддонів. Вентилятори відсмоктують повітря з робочого простору й направляють його через калорифери й розподільні ґратки нагору. Швидкість руху повітря – 9 м/с. Піч вміщує 36 рулонів і

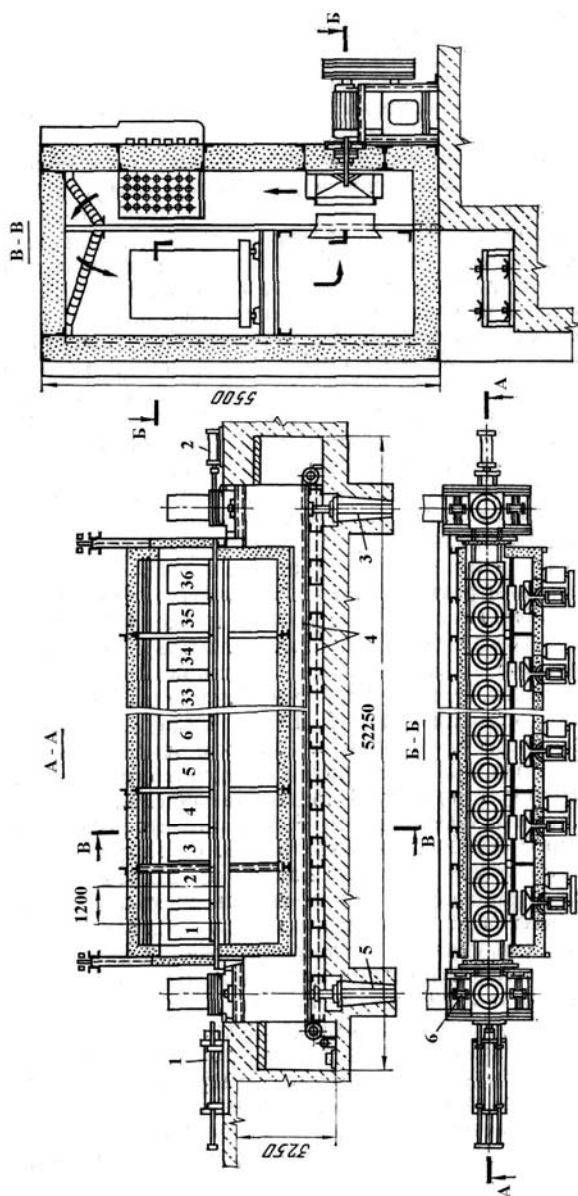


Рисунок 19 – Штовхальна піч для проміжного відпалу бунтів стрічки з алюмініє-
вих сплавів

має 18 теплових регульованих зон (за числом вентиляторів). Загальна потужність печі 488 кВт. Рух піддонів здійснюється гідравлічним штовхальником 1, а видача їх з печі гідравлічним витягувачем 2. Після видачі піддона з печі бунт прибирається краном, а піддон за допомогою конвеєра 4, розміщеного під піччю, повертається до завантажувального торця печі. Піддон на конвеєр передається гідравлічним підйомником 3, стулки столика, що знаходиться перед піччю, розсовуються: шток гідравлічного циліндра йде вниз і ставить піддон на конвеєр. Піддон знімається з конвеєра штоком гідравлічного циліндра 5 і піднімається на рівень завантажувального столика, що складається із двох половинок, які з'єднані з піддоном за допомогою гідравлічних циліндрів 6. Шток циліндра опускається, залишаючи піддон на столику. Потім на піддон завантажується бунт стрічки. Видача піддонів з печі проводиться щогодини, при цьому продуктивність печі становить 1 т/год. Температура нагрівання бунтів – близько 400°C, швидкість охолодження до температури 250°C дорівнює 5°C/год. Тривалість нагрівання становить 4 год, а охолодження 32 год. Для того щоб забезпечити малу швидкість охолодження, камеру охолодження потрібно підігрівати.

Щоб знизити витрату палива в штовхальних печах, для відпалу можна використати принцип рекуперації тепла. Для цього деталі повинні рухатися у два ряди по ширині або висоті печі зустрічними потоками. У цьому разі підігрівання шойно посаджених деталей буде відбуватися за рахунок тепла тих, що остигають. Камери підігрівання й охолодження можуть бути зроблені однакової конструкції.

Для термічної обробки листів у стопах при масовому виробництві застосовують тризонні тунельні печі з камерами підігріву, нагрівання й охолодження. Рух металу відбувається на футерованих вагонетках. У зоні охолодження

прокладають труби з охолодною водою або циркулюючим у них повітрям.

Для запобігання окислюванню стоси листів закривають муфелями із жаростійкої сталі. У цьому разі доцільно вагонетки поміщати відразу в зону підвищених температур, що скоротить довжину підігрівальної камери, а остаточне охолодження з температури 600°C здійснювати поза піччю. Однак найбільш доцільно проводити відпал у захисних атмосферах. Перевага тунельних печей полягає у можливості строгого дотримання наміченого режиму відпалу при відносно високій продуктивності печі.

Тунельна піч для відпалу в стосах листів динамної сталі має 13 вагонеток розмірами 3,2х2,2 м. На кожну вагонетку укладають по два стоси металу (16 т). Для запобігання металу окислюванню у зв'язку з відсутністю контрольованої атмосфери стоси закривають литими муфелями. Загальний час нагрівання й витримки листів у печі становить 24 год, темп штовхання вагонеток – 2 год, продуктивність печі – до 9 т/год. Тунельні печі можуть бути сконструйовані і як вакуумні замість вакуумних ковпакових печей. Конструкторським бюро електротехнічного встаткування (ЦЕ) розроблено вакуумні тунельні печі СЛВ-16.128.16/14,5, СЛВ-16.320.16/14,5 для нагрівання до 1400°C, загальною потужністю відповідно 1650 і 2650 кВт. Печі мають три камери: низькотемпературну до 1000°C, високотемпературну до 1450°C і камеру охолодження. Кожна камера має свій механізм транспортування візків, окрему вакуумну систему, відокремлюються камери одна від іншої вакуумними затворами.

У протяжних печах безперервної дії відпалюють тонку стрічку. Потокові лінії з горизонтальними печами виходять дуже великої довжини. Установлено, що довжина стрічки в горизонтальній печі повинна бути не більше 150-200 м, а швидкість не вище 100 м/хв, при цьому продукти-

вність печі буде близько 10-15 т/год. При більш високих швидкостях руху відбувається биття й зісковзування стрічки.

Для збільшення продуктивності потокових ліній безперервного відпалу стрічки застосовують вертикальні печі баштового типу, у яких стрічка проходить послідовно через ряд вертикальних ділянок, обгинаючи верхні й нижні грубі ролики. При цьому товщина сталеві стрічки не повинна бути більше одного міліметра. Завдяки великому куту охоплення роликів виходить гарне центрування стрічки, що дозволяє збільшити швидкість руху її в баштовій печі до 600 м/хв.

Спорудження баштових печей є економічним тільки при більших швидкостях руху стрічки (понад 150 м/хв.), інакше не виправдовуються витрати на спорудження й експлуатацію агрегату. Як правило, баштові відпалювальні печі мають кілька температурних зон: нагрівання, витримки, уповільненого й прискореного охолодження. Крім печі, потокова лінія має розмотувальні й намотувальні барабани, зварювальну машину, ножиці, очисні, промивні й сушильні пристрої, що тягнуть ролики, башти запасу й натяжні апарати.

Схема баштової печі для швидкісного безперервного відпалу жерсті із продуктивністю до 30 т/год показана на рис. 20. Швидкість руху стрічки в печі – 300 м/хв, загальна довжина стрічки, що знаходиться в печі, дорівнює 600 м, час перебування стрічки товщиною 0,25 мм – близько 120 с. Піч складається з ряду окремих камер.

У камері 1 стрічка нагрівається до 720°C, роблячи шість вертикальних ходів. Стрічка нагрівається горизонтальними радіаційними трубами, розміщеними із двох боків рухомої стрічки (на рисунку не показано). У камері витримки 2 стрічка також робить шість вертикальних ходів.

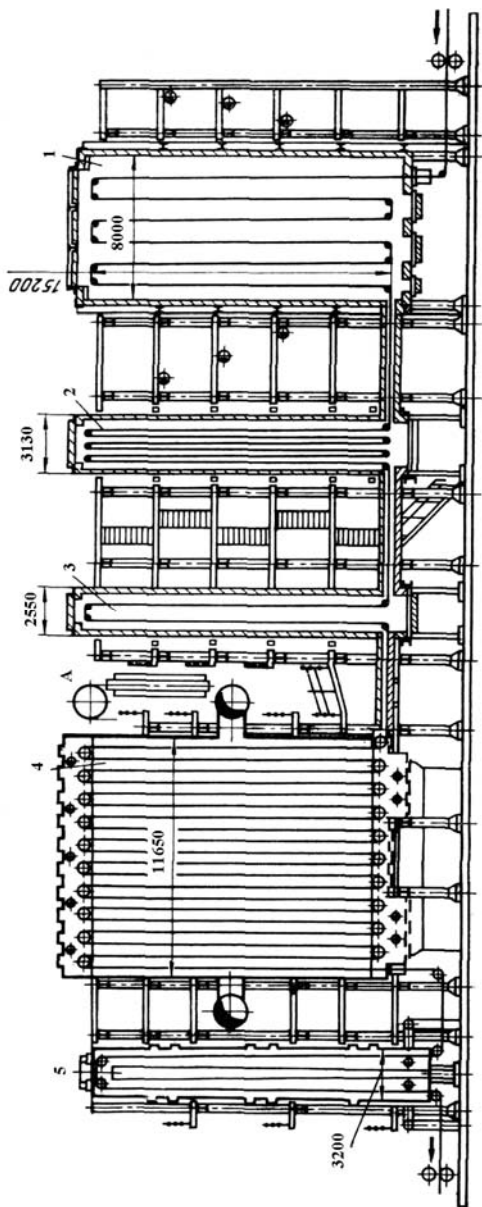


Рисунок 20 — Баштова піч для безперервного відпалу стрічки з жерсті

Витрата тепла в цій камері мала, тому що тепло витрачається тільки на компенсацію втрат у навколишній простір через стінки печі, тому досить економічно можна застосувати електричне нагрівання. У камері вповільненого охолодження 3 стрічка робить два вертикальних ходи, охолоджуючись із 720 до 500°C. Камера устаткована як електронагрівниками, так і охолодженням. Регулювання режиму охолодження автоматичне із увімкненням у міру потреби охолодження або електронагрівників. У камері прискореного охолодження 4 стрічка робить двадцять вертикальних ходів, охолоджуючись із 500 до 150°C. Охолодження стрічки відбувається за рахунок продування інертними газами або водяними кесонами, які розміщені по обидва боки стрічки (вузол А). При світлій поверхні стрічки й низькій температурі коефіцієнт тепловіддачі малий, охолодження затягується, і тому необхідна більша довжина охолоджувальної камери. Для посилення охолодження стрічки можна застосувати в охолоджувальній камері штучну циркуляцію захисного газу від вентиляторів, що збільшить тепловіддачу шляхом конвекції. Для прискорення охолодження стрічки з вуглецевої сталі її можна з температури 250-300°C замочувати у воді. При цьому поверхня стрічки не окислюється, залишається світлою. У результаті застосування замочування стрічки у воді значно зменшується довжина камери 4 швидкого охолодження, зникає необхідність установки камери 5 з обдуванням повітрям для охолодження стрічки від 150 до 20°C і створюється герметичний затвор при виході стрічки з печі.

Баштові печі застосовують для зневуглецьованого відпалу трансформаторної сталі. Їх починають використовувати для відпалу мідної й латунної стрічки й рекристалізаційного відпалу м'якої автосталі для глибокої витяжки замість ковпакових печей.

На рис. 21 наведена потокова лінія невеликої продуктивності з баштовою піччю для відпалу мідної й латунної стрічки шириною до 600 мм і товщиною 0,2- 1,6 мм. Бунти стрічки перед відпалом по черзі надягають на один з розмотувальних барабанів 1, потім обрізають кінці рулону на підвісних електровіброножицях 2. Початок нового рулону приварюється до кінця попереднього в електрозварювальній машині 3. Далі стрічка потрапляє у ванну 4 із трихлоретиленом для знежирення. З ванни стрічка виводиться за допомогою провідних привідних роликів 5 і йде до башти запасу стрічки 6 з петльовим пристроєм. Потім стрічка направляється вниз відпалювальної баштової електропечі 7 з висотою робочої камери 6,7 м, у якій робить вісім оборотів, нагріваючись до температури 600°C, далі вона надходить для охолодження у вертикальну охолоджувальну камеру 8 із захисною атмосферою. Там вона робить два обороти й ведучими привідними роликами 9 направляється до вихідної башти запасу стрічки 10 з петльовим пристроєм, звідки виводиться тягнучими привідними роликами 11. Ролики обладнані індикатором, що виявляє місця зварювання, які надалі вирізають підвісними електричними віброножицями 12. Стрічка змотується в рулон на барабанах 13. Барабани мають пристосування для усунення ступінчастості при намотуванні рулону. Описана вище потокова лінія займає площу 190 м², потужність установки – 170 кВт, продуктивність – до 1 т/год. Швидкість руху стрічки в печі може змінюватися в межах від 2 до 10 м/хв залежно від товщини стрічки, що відпалюється.

Для прискорення процесу нагрівання й охолодження стрічки при рекристалізаційному відпалі можна застосовувати баштові печі з розплавом металевого натрію. Середній коефіцієнт теплопередачі при нагріванні до 700°C у газових печах не перевищує 40 Вт/(м²·К), а в охолодних

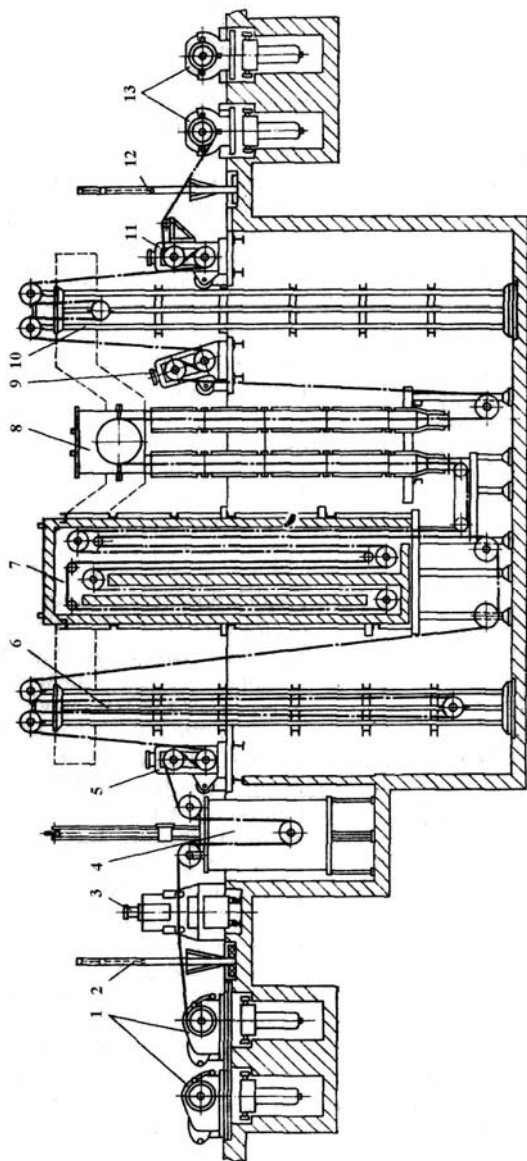


Рисунок 21 – Агрегат із баштовою пічкою для відпалювання мідної й латунної стрічки

секціях ще нижче. Металевий натрій має дуже високий коефіцієнт тепловіддачі, близько $4000 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, причому він зростає зі збільшенням швидкості руху стрічки. Так, при швидкості руху стрічки 300 м/хв коефіцієнт теплопередачі становить до $20000 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$.

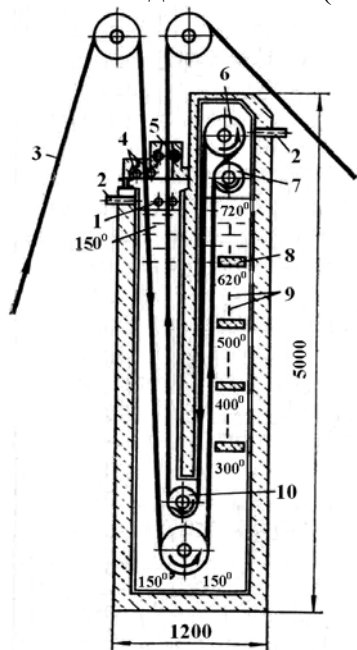


Рисунок 22 – Поздовжній розріз баштової печі для безперервного відпалу стрічки в розплавленому металевому натрії

Стрічка обгинає ролик і піднімається наверх правого коліна, що розділене по висоті поперечними перегородками 5 на зони з різним підведенням тепла U-подібними горизонтальними трубами 9. Температура цих зон 300, 400, 500, 620, 720°C. Вгорі стрічка проходить натяжний ролик 7, обгинає ролик 6 і повертається вниз дещо лівіше стрічки, що піддається нагріванню. Внизу стрічка обгинає ролик 10 і

Схематичний поздовжній розріз баштової печі для безперервного відпалу стрічки в розплавленому металевому натрії наведений на рис. 22. Піч складається із двох сполучених колін, заповнених металевим натрієм, рівень якого показаний штриховою лінією. Розплав металевого натрію знаходиться в контейнері, що виготовляється зі сталей типу X18H9 або X25H20, що не піддаються впливу натрію. Невипалена стрічка 3 входить у піч зверху через затвор, що складається з пари гумових роликів 4, у ліве коліно, поринає в розплав металевого натрію, що має температуру близько 150°C .

видається з печі через ліве коліно й подвійний роликовий затвор 1 і 5. Для запобігання металевому натрію окислюванню на його поверхню через трубки 2 підводять захисний газ. Охолодження стрічки значною мірою здійснюється в результаті віддачі тепла зоні нагрівання, що підвищує к. к. д. печі й знижує витрату палива порівняно зі звичайними печами в 3 рази. Продуктивність печі при рекристалізаційному відпалі стрічки з жерсті шириною 800 мм досягає 30 т/год. Швидкість руху стрічки товщиною 0,3 мм доходить до 300 м/хв. (час нагрівання близько 1 с). Для остаточного видалення шару натрію з поверхні стрічки застосовують щітки із срібно-нікелевого сплаву, які обертаються в напрямку, протилежному руху стрічки.

3.4. Термічна обробка електротехнічної сталі

За умовами роботи електротехнічних (магнітно-м'яких) сталей потрібні висока магнітна проникність ($\mu=B/H$) і малі втрати енергії при перемагнічуванні, обумовлені при індукції 1,5 і 1,7 Т. Сумарні втрати енергії в основному складаються із втрат при перемагнічуванні й втрат внаслідок утворення вихрових струмів. Втрати енергії при перемагнічуванні залежать від площі петлі гістерезису, тобто від залишкової індукції й коерцитивної сили H_c . Для зменшення площі петлі гістерезису при високій магнітній індукції повинна бути отримана дуже мала коерцитивна сила. Втрати на вихрові струми тим менші, чим вищий електричний питомий опір ρ .

Найбільш простим магнітно-м'яким матеріалом є дуже чисте залізо, що залежно від чистоти має коерцитивну силу $H_c = 1$ Е і нижче при магнітній проникності $\mu = 3000\text{--}4000$ Гс/Е. Але питомий електричний опір малий, тому залізо може застосовуватися там, де питомі опори ролі не відіграють. Крім того, залізо піддається магнітному ста-

рінню. Тому для динамної і трансформаторної сталі необхідне легування заліза елементами, що підвищують питомий електроопір. Разом з тим легуючий елемент не повинен викликати дисперсійного твердіння, що різко підвищує коерцитивну силу.

Значно підвищують електричний питомий опір кремній і алюміній, вони утворюють тверді розчини, що не піддаються дисперсійному твердінню і мають високу магнітну проникність.

Кремній і алюміній, будучи енергійними розкиснювачами, паралізують шкідливу дію кисню й сірки. Вуглець сприяє утворенню карбідів і його повинно бути якомога менше. Найбільш дешевий і технологічний у виробництві кремній, у зв'язку з чим поширені електротехнічні сталі являють собою кременисті сталі з якомога малою кількістю інших домішок, включаючи вуглець, сірку, кисень. З підвищенням вмісту кремнію значно зменшуються втрати енергії, але різко знижується в'язкість і підвищується поріг холодноламкості, тому вміст кремнію обмежують до 3,8-4,8%. Сталь із 2,8-3,8% Si застосовується як трансформаторна, а з 0,8-1,8% Si як динамна для виготовлення роторів і статорів асинхронних двигунів і магнітних ланцюгів електричних машин.

За діючим ГОСТ 21427 виготовляються 44 марки гарячекатаної і холоднокатаної електротехнічних сталей, вони підрозділяються за структурним станом і видом прокатки на класи: 1 – гарячекатана ізотропна, 2 – холоднокатана ізотропна, 3 – холоднокатана анізотропна з ребровою текстурою. Номери цих класів відповідають першій цифрі в марках сталі. Друга цифра – вміст кремнію (1-0,44-0,8%; 2 – 0,84-1,8%; 3 – 1,84-2,8%; 4 – 2,84-3,8%; 5 – 3,84-4,8%). Третя цифра дає основну нормовану характеристику

($1 - \rho_{1,5/50} \cdot \rho_{1,7/50}$; $2 - \rho_{1,5/400} \cdot \rho_{1,0/400}$; $3.4.5.6 - B_{0,4}$; $7 - B_{10}$).

Четверта цифра в марці означає порядковий номер типу сталі.

Особливої шкоди на властивості електротехнічних (магнітно-м'яких) сталей завдають вміст вуглецю, сірки й розчинених газів, забруднення меж зерен включеннями й виділенням карбідів; наявність у металі напружень, одержуваних під час прокатки й прискореного охолодження. Істотний вплив на магнітні властивості електротехнічної сталі робить розмір зерна. Зі збільшенням його зростає магнітна проникність і знижуються втрати на гістерезис, але значно збільшуються втрати на вихрові струми. Однак вважають, що потрібно одержувати дрібне зерно, а магнітні характеристики підвищувати зміною технології виробництва, текстурованості та ін.

Листову електротехнічну (магнітно-м'яку) сталь випускають гарячекатаною і холоднокатаною товщиною 0,5 і 0,35 мм. Прокатку здійснюють на багатовалкових безперервних станах.

Типова термічна обробка динамних сталей полягає в тривалому відпалі при 860-900°C із подальшим уповільненим охолодженням. Основне призначення відпалу – зниження вмісту вуглецю, видалення шкідливих домішок, зняття наклепу, одержуваного під час прокатки, і проведення рекристалізації. Для підвищення чистоти меж зерен сплаву, поліпшення умов вигоряння вуглецю застосовують відпал у зневуглицьованих атмосферах (дисоційованому аміаку).

Для зниження втрат енергії при термічній обробці трансформаторної сталі її піддають складній обробці. Основне – це одержання кристалографічної магнітної текстури високого ступеня досконалості, оптимального розміру зерна й певним чином орієнтованих пружних напружень. Найбільш поширені анізотропні сталі з ребровою текстурою

(110) [001], у якій переважний напрямок легкого намагнічування збігається з напрямком прокатки. Основним процесом, що обумовлює одержання зазначеної текстури, є вторинна рекристалізація, під час проведення якої необхідно утруднити збірний ріст зерен. Цьому сприяють дисперсні частки другої фази (нітриди алюмінію або сульфід марганцю). При температурах вище 900°C внаслідок розчинення або коалесценції часток окремі зерна одержують можливість росту. Своєрідністю вторинної рекристалізації трансформаторної сталі є необхідність створення умов переважного росту зерен з певним їх орієнтуванням.

Це пов'язано з одержанням текстури, створюваної в результаті попередніх операцій холодної прокатки й рекристалізаційних відпалів.

Прийнята на деяких металургійних заводах технологія виробництва анізотропної холоднокатаної електротехнічної сталі передбачає виплавку злитків (або слябів), гарячу прокатку на смугу товщиною 2,5 мм, холодну прокатку з товщини 2,5 до 0,7 мм, проміжний рекристалізаційний відпал при 810-830°C, холодну прокатку з товщини 0,7 мм до 0,35, знеуглецьований відпал при 830°C, нанесення термоізоляційного покриття (основний компонент MgO) й остаточний рекристалізаційний відпал при 1050-1100°C в атмосфері водню із точкою роси -40°C (рис. 23). Високотемпературний відпал проводять у рулонах з повільним нагріванням і охолодженням. Час відпалу становить 120-150 год, у тому числі витримка при 1050-1100 °C до 40 год. Відпал забезпечує проходження вторинної рекристалізації в найбільш оптимальних умовах, рафінування металу від домішок, виключення можливості утворення дисперсних часток, що знижують магнітні властивості.

Заключні технологічні операції полягають у нанесенні електроізоляційного покриття, відпалу для сушіння покриття й зняття рулонної кривизни. Останнім часом засто-

совують нанесення особливих магнітно-активних електроізоляційних покриттів, що створюють певний пружно-напружений стан через різні температурні коефіцієнти металу і речовини покриттів (як правило, типу силікатних стекл). Це призводить до істотного зниження питомих втрат при перемагнічуванні. Трансформаторна сталь 3416 при товщині листа 0,35 мм має питомі втрати $\rho_{1,5/50} = 0,85 - 0,95$ Вт/кг сталі.

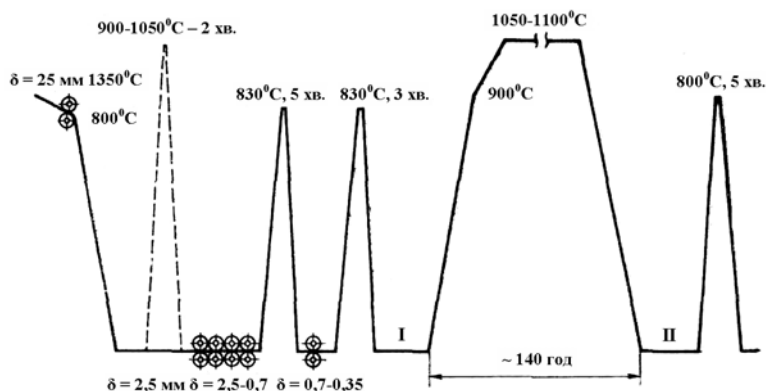


Рисунок 23 – Схема відпалу трансформаторної сталі: I – нанесення ізолювального покриття; II – нанесення ізолювального магнітоактивного покриття

Технологічний процес одержання трансформаторної сталі вдосконалюється: включена термічна обробка гарячекатаної смуги, що полягає у швидкому нагріванні металу до 1000-1050°C й охолодженні з контрольованою швидкістю з метою підготовки структури й одержання найбільш дисперсної другої фази (на рис. 24 показана штриховою лінією); збільшений ступінь деформації при другій холодній прокатці (аж до обтиснень 90%), що приводить до формування більш сприятливих текстур деформації й рекристалізації.

У масовому виробництві трансформаторної сталі використовуються горизонтальні й вертикальні протяжні печі.

Перша холодна прокатка з товщини 2,5 до 0,7 мм проводиться за кілька проходів на чотиривалкових станах. Перший відпал смуги здійснюється у вертикальній протяжній печі довжиною 56 м, шириною 6,4 м, висотою 20 м, потужністю 8050 кВт і продуктивністю 28 т/год. Загальна довжина стрічки в печі 640 м, швидкість її руху – до 150 м/хв. Піч має камери нагрівання до 830°C на 6 ходів, витримки – на 8-ходів, регульованого охолодження – до 1700°C на 4 ходи, прискореного охолодження – до 150°C на 22 ходи й перехідний тамбур на 2 ходи з довжиною розміщуваної стрічки відповідно 96; 128; 64; 354 і 32 м (рис. 24 а).

Друга холодна прокатка з товщини 0,7 до 0,35 мм проводиться на двадцятивалковому стані з подальшим знеуглецьованим відпалом (рис. 24 б) при 830°C у горизонтальній прохідній протяжній печі в азотводневому середовищі. Піч по висоті двоярусна, причому кожний її ряд працює самостійно, довжина печі – 250 м, ширина – 2,7 м, висота – 1,83 м, потужність – 4500 кВт, продуктивність – до 15 т/год. Швидкість руху стрічки в печі – до 40 м/хв. Піч має камери нагрівання до 830°C довжиною 98 м, витримки – довжиною 120 м, регульованого охолодження – до 700°C 18 м і швидкого охолодження – 24 м (рис. 24 б). У камері регульованого охолодження встановлені 30 труб із повітряним охолодженням, у ній температура металу знижується до 700°C. Ділянка печі швидкого охолодження складається з водоохолоджуваної секції й трьох секцій струминного обдування, після чого метал охолоджується до 150-200°C.

Для сушіння електроізоляційного покриття й випрямного відпалу з метою усунення кривизни смуги після високотемпературного відпалу використовують горизонтальну протяжну піч (рис. 24 в) довжиною 92 м, шириною 1,5 м і

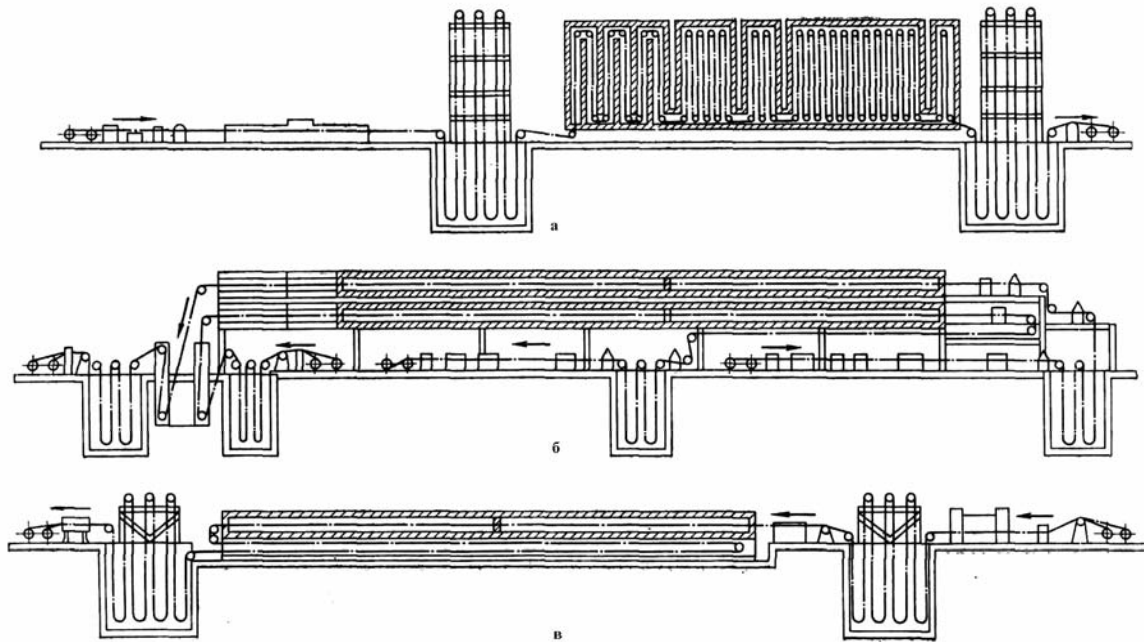


Рисунок 24 – Агрегати для обробки трансформаторної сталі

висотою 1,28 м. Потужність її – 2075 кВт, продуктивність – 6 т/год. Нагрівання до 850°C і регульоване охолодження до 650°C здійснюється в печі з водяними кесонами, а подальше охолодження на повітрі у двох ярусах, розміщених під піччю (рис. 24 в). Швидкість руху смуги – до 120 м/хв.

Високотемпературний рекристалізаційний відпал (рис. 24 а) з нагріванням до 1100°C проводять у ковпачових печах з водневою атмосферою. Розміри робочого простору печі – 2,5Х6,2Х2,0 м, корисний об'єм – 31 м³, коша – 48 т (6 рулонів по 8 т), потужність – 770 кВт. Рулони розміщують у трьох металевих муфелях діаметром 1,6 м, висотою 1,8 м. Маса нагрівального ковпача – 60 т; продуктивність печі – 0,21 т/год. Режим відпалу: нагрівання до 350°C і витримка для видалення вологи протягом 30 год, нагрівання до 950°C, витримка 10 год, нагрівання до 1100°C, витримка 45 год, охолодження під ковпачом до 500°C, витримка 75 год. Витрата водню – 50 м³/год.

4. ТЕРМІЧНА ОБРОБКА ТРУБ

Труби широко використовують у народному господарстві для транспортування рідин і газів, у парових казанах, в апаратобудуванні, будівельних конструкціях, нафтовій, газовій, підшипниковій промисловості й інших галузях. За способом виготовлення труби розподіляють на безшовні, зварні й литі.

Безшовні труби виготовляють до діаметра 25 мм із товщиною стінки 3,0-2,5 мм гарячою прокаткою як найбільш продуктивним процесом. При товщині стінки труби менше 2,5 мм застосовують холодну прокатку й волочіння. Найбільш висока продуктивність спостерігається при виготовленні труб методом холодної прокатки, при якій можуть бути отримані обтиснення до 75-85%. Однак холодна прокатка економічно може застосовуватися тільки в масовому виробництві, тому що для неї потрібні дорогі калібровані валки. Крім того, холодною прокаткою не можна одержувати труби діаметром менше 5-10 мм і з товщиною стінки менше 0,4 мм. Тому при виготовленні сталевих труб малих діаметрів, навіть при масовому виробництві, вдаються до поєднання холодної прокатки й волочіння. Значну кількість труб великого діаметра одержують зі стрічки зварюванням у вигляді прямошовних і спіральшовних.

Сталеві литі труби, виготовлені методом відцентрового лиття в металеві форми, випускають обмежено.

Труби виготовляють також з кольорових сплавів типу латуней, мідно-нікелевих і алюмінієвих сплавів.

Труби для видобування нафти й газу виготовляють у вигляді бурильних (ГОСТ 631-75), обсадних (ГОСТ 632-80) і насосно-компресорних (ГОСТ 633-80). Застосовують переважно безшовні труби діаметром від 30 до 400 мм. Залежно від призначення й умов експлуатації передбачається сім категорій міцності (Д, К, Е, Л, М, Р, Т) зі зміною межі

текучості від 370 до 1000 МПа при подовженні $\delta_5 = 10-12\%$ і ударною в'язкістю не менше $0,4-0,3$ МДж/м². Хімічний склад сталі для труб нафтового сортаменту не застережений стандартами. Найбільш часто для даних труб застосовують сталі 35, 45, 32М2, 32М2С, 38ХА, 30ХГС, 40ХГР, 38ХНМА, 35ХГ2СВ та ін.

Залежно від необхідних властивостей і взятої марки сталі зміцнювальна термічна обробка зводиться до нормалізації або загартування з відпуском. Для труб з легованих сталей, особливо призначених для роботи на Півночі, застосовують загартування з відпуском на сорбіт, тому що це підвищує пластичні властивості й холодостійкість сталі. Нормалізацію проводять із 870-900°С, відпуск при 600-630°С. Нагрівання під загартування беруть на 20-30°С нижче, а відпуск при температурах – 580-660°С. Обсадні, бурильні й насосно-компресорні труби вимагають високої точності герметичних розмірів. Тому до складу термічних відділень входять обов'язково засоби для виправлення геометрії зміцнених труб – калібровані й правильні стани; часто калібрування й виправлення здійснюють у теплому стані, відразу після відпуску.

На рис. 25 наведена схема відділення з виробництва обсадних високоміцних труб діаметром 170-350 мм у трубопрокатному цеху. У масовому виробництві для нагрівання під загартування, нормалізацію й відпуску труб використовують переважно роликові печі. Таке планування дозволяє проводити різні зміцнювальні режими термічної обробки на безперервних лініях. Труби мостовим краном укладають на похилий стелаж 1 і через дозатор 2 передають на задавальний рольганг 3 для подачі в роликову гартівну піч 4. Після нагрівання в печі труби піддають струминному охолодженню в установці 5, потім вони надходять на рольганг 6, після чого їх перекладають на задавальний рольганг 7 відпускної печі 10. Після відпуску роль-

гангом 11 труби передають на стан теплового калібрування 13, звідки по похилому рольгангу 14 вони надходять на рольганг 15, яким задаються на стан теплового виправлення 16. Далі труби відправляють на холодильник 17 і на стелаж огляду 20, де вони проходять контроль на дефектоскопах. За необхідності холодного виправлення труби з рольганга 18 передають на стан 19.

У разі нормалізації труби зі стелажу 1 після нагрівання їх у печі 4 надходять на холодильник 9 і правильний стан 19. Якщо після нормалізації необхідний відпуск, то труби з рольганга 6 передаються на вступний рольганг 7 відпускної печі 10. При виході з печі труби надходять на холодильник 12 і далі на холодне виправлення на стані 19. За необхідності тільки одного відпуску труби надходять зі стелажу 9.

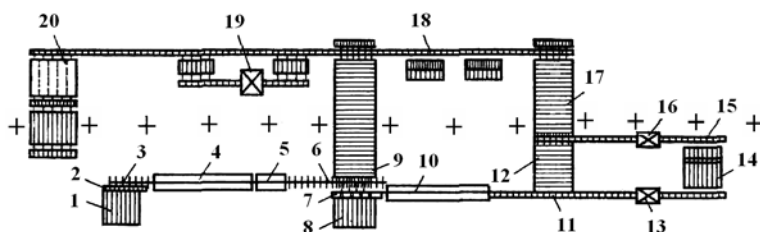


Рисунок 25 – Схема термічного відділення для обробки обсадних високоміцних труб

Для термічної обробки (гартування з відпуском) бурових і обсадних труб (діаметром 140 мм, довжиною 8-12 м, виготовлених зі сталей 32М2, 32М2РТ) на Таганрозькому заводі використовують індукційне нагрівання. Спочатку нагрівають і гартують стовщені кінці труб довжиною 200 мм із товщиною стінки 20 мм. На кожний кінець устальовується індуктор (потужність – 200 кВт, частота – 50 Гц).

Загальне нагрівання поверхні труби для гартування (товщина стінки 10 мм) проводиться двома індукторами із транзисторними перетворювачами потужністю 620 кВт і чотирма індукторами з машинними перетворювачами по 500 кВт із частотою 1000 Гц. Охолодження під час гартування виконується за допомогою спреєрів.

Температура гартування – 850°C. На відпускній лінії розміщені шість індукторів потужністю по 500 кВт, частотою 50 Гц, і два коригувальні індуктори потужністю по 500 кВт, частотою 1000 Гц. Температура нагрівання при відпуску ~ 680°C. Після індукційного нагрівання труби для вирівнювання їх температури проходять муфельну електропеч довжиною 3,5 м. Швидкість руху труби ~ 3,2 м/хв. Довжина гартівної лінії – 14,3 м, відпускної – 16 м. Якість труб контролюють ультразвуковим дефектоскопом типу УКТ-1А.

Труби для теплоенергетики (котлів і паропроводів) працюють при підвищених температурах (540-600°C) і тиску (до 25 МПа), тому одним з основних вимог до них є висока тривала міцність. Розрахунковий термін служби труб – 100000 год. В енергомашинобудуванні застосовують безшовні гарячекатані й холоднодеформовані труби розміром від 10х2 до 460х60 мм, виготовлені зі сталей перлітного, феритного й аустенітного класів. Для труб із феритно-перлітною структурою застосовують сталі 20, 15ХГ, 15ХМ після нормалізації з 900-940°C і сталі 12Х1МФ, 15Х1М1Ф, 12Х2МФСР, 12Х1У2МФ після нормалізації з 970-1000°C і відпуску при 720-760°C протягом не менше 2-3 год.

Труби зі сталей аустенітного класу (12Х18Н10Т, 12Х18Н12Т, 12Х14Н18У2БР) гартують із 1100-1150°C у воді.

Тривалість витримки після повного прогрівання для нормалізації або гартування орієнтовно можна брати з роз-

рахунку 1 хв на 1 мм товщини стінки труби, але не менше 20 хв. Межа тривалої міцності за 100000 год для перлітних легованих сталей становить при температурі 540°C до 105-110 МПа, а при 600°C – до 50-60 МПа; для аустенітних сталей при температурі 600°C – до 110 МПа.

Труби нафтового сортаменту й інші піддають термо-механічній обробці. Це дозволяє підвищити зміцнювальні характеристики, знизити поріг холодноламкості, використовувати для виготовлення труб недорогі сталі. Підвищення зміцнювальних властивостей дає можливість зменшити товщину стінки й одержати до 30% економії металу.

На рис. 26 наведена типова схема розташування устаткування потокової лінії термомеханічної обробки труб на ТПУ250-2. Труби після розкатних станів 1 потрапляють у спрейерний пристрій 2. Загартовані труби після розкатних станів 3 надходять на центральний рольганг 4 і через пристрій для зливу води 5 подаються у відпускну піч 6 із крокуючими балками. Для відпуску труб доцільніше використовувати печі з ланцюговим конвеєром. Труби після відпуску надходять у калібруваний стан 8. Після калібрування із сумарними обтисненнями до 15 % їх піддають тепловому виправленню в стані 10, потім передають на холодильник 9 і далі за допомогою рольгангів на обробку й контроль.

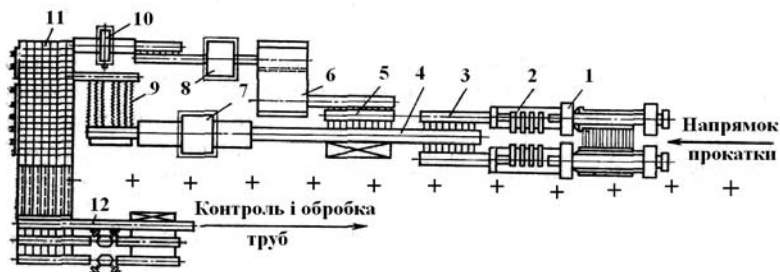


Рисунок 26 – Схема розташування встаткування потокової лінії термомеханічної обробки труб на ТПУ 250-2

При нормалізації, якщо не потрібен відпуск, труби по центральному рольгангу 4 через калібрований стан 7 надходять на холодильник 9 і потім на контроль і обробку.

Зварені труби для магістральних газо- і нафтопроводів. У зв'язку зі збільшенням діаметра труб до 1200-2000 мм з товщиною стінки 8 мм і більше зріс обсяг зварених спіральних і прямошовних труб, виготовлених зі стрічки сталей 17М1С, 17М2АФ, 12М2АФЮ, 16М2СФ, 16М2СФБ та ін. Оскільки ударна в'язкість звареного шва, особливо в зоні термічного впливу, виходить низькою ($KCU\ 0,1-0,2\ \text{МДЖ/м}^2$), доводиться застосовувати термічну обробку зварених труб – локальну або об'ємну. Для труб відповідного призначення частіше застосовують об'ємну термічну обробку з повною перекристалізацією. Гартування труб із зазначених сталей проводять із $900-930^\circ\text{C}$ із подальшим спреєрним охолодженням до $400-500^\circ\text{C}$, відпуск при $650-700^\circ\text{C}$. При цьому у звареному з'єднанні досягається ударна в'язкість KCU^{50} до $0,4-0,6\ \text{МДЖ/м}^2$ при $\sigma_b = 600-750\ \text{МПа}$. При масовому виробництві для нагрівання застосовують секційні роликові печі з косо розташованими роликами, які поряд з поступальним рухом труби забезпечують її обертання. При п'яти нагрівальних камерах загальною довжиною $1,5 \times 5 = 7,5\ \text{м}$ піч має середню продуктивність до 5 т/год при швидкості руху труби 1-2 м/хв (залежно від товщини стінки і її діаметра).

Спреєрний охолодний пристрій розміщують безпосередньо за піччю. Труба переміщається через спреєр, обертуючись навколо своєї осі. Частіше застосовують два типи спреєрів (рис. 27 а, б). У радіальному спреєрі вода з кільцевого колектора 3 через поздовжні труби 2 радіально розміщеними соплами 1 направляється на охолоджувану трубу. В осьовому спреєрі вода на охолоджувану трубу подається через щілинні сопла 1 у вигляді суцільного ко-

нусного струменя. В останньому випадку виходить більш рівномірне охолодження.

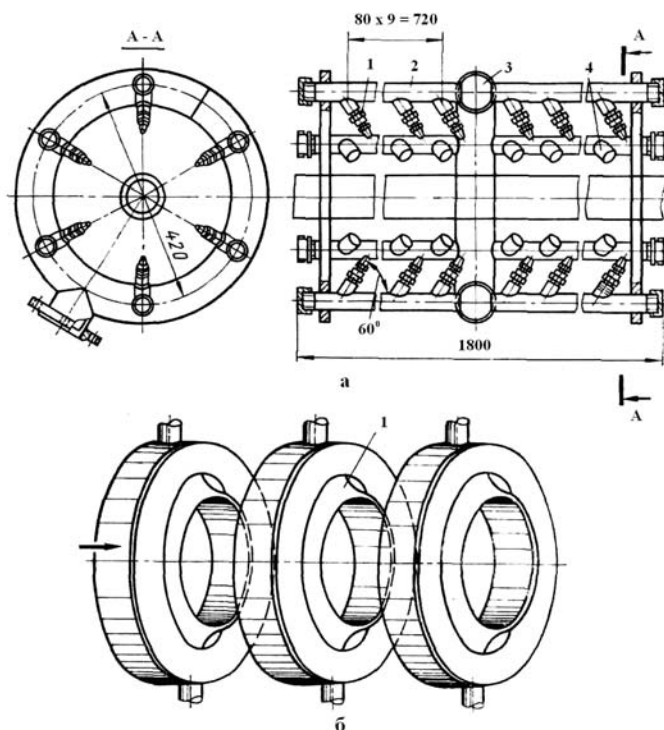


Рисунок 27 – Спреєрні пристрої для охолодження труб:
а – радіальне; б – осьове

Для нагрівання звареного шва при локальній термічній обробці (ЛТО) використовують індукційне нагрівання до 950-1000°C. Хороші результати дає застосування локальної термомеханічної обробки зварених труб (ЛТМО). На звареному шві роблять валик, для того щоб після його гарячого розкочування у валках до товщини стінки основного металу здійснювалося середнє обтиснення порядку 20-25%. Після розкочування проводять спреєрне охолодження зі швидкостями 30-80°C/с. Далі проводять відпуск шва з ін-

дукційним нагріванням при 650-700°C з витримкою близько 5 хв. На зазначених вище сталях застосування ЛТМО дозволяє одержати тимчасовий опір до 700-800 МПа при ударній в'язкості KCU⁻⁵⁰ до 0,7-1,0 МДЖ/м².

Проміжна термічна обробка труб застосовується для підшипникових і конструкційних сталей, а також кольорових сплавів.

Шарикопідшипникові труби виготовляють зі сталей ШХ15 і ШХ15СГ у вигляді гарячекатаних діаметром 70-200 мм і холоднодеформованих діаметром 20- 90 мм.

Гарячедеформовані готові й передільні труби піддають сфероїдизувальному відпалу на твердість НВ187-207 (для сталі ШХ15) і НВ 197-217 (для сталі ШХ15СГ).

Холоднодеформовані сталеві труби проходять рекристалізаційний відпал (твердість НВ 207-260). Мікроструктура готових труб повинна складатися із дрібнозернистого перліту з рівномірно розподіленими карбідами. У разі виявлення карбідної сітки перед відпалом проводять нормалізацію з 900°C. Щоб виключити утворення карбідної сітки, гарячу прокатку закінчують при температурах деформації не нижче 860°C із подальшим спрєсрним охолодженням на рольгангу за каліброваним станом. У масовому виробництві для відпалу шарикопідшипникових труб застосовують прохідні багатозонні роликові печі з контрольованою атмосферою. Сфероїдизувальний відпал проводять при температурі вище критичної точки Ас₁ (800-820°C) з витримкою 4-6 год і подальшим уповільненим охолодженням по 30°C/год до 660°C. Загальна тривалість відпалу становить 10-14 год.

Хороші результати дає застосування ізотермічного відпалу з аустенітизацією при 800-820°C, переохолодженням до 600°C і нагріванням для ізотермічної витримки при 700-720°C протягом 4-6 год для розпаду переохолодженого аустеніту й коагуляції карбідів.

Рекристалізаційний відпал після холодної деформації підшипникових труб проводять при 680-700°C у роликівих печах протягом 0,5-1,5 год залежно від товщини труб. З метою запобігання знеуглецюванню при нагріванні печі радіаційними трубами й електричними нагрівальними елементами застосовують екзогазову контрольовану атмосферу.

Труби з конструкційних сталей і сплавів малих діаметрів у великій кількості роблять холодним волочінням. Тому їх при переділах багаторазово піддають проміжним рекристалізаційним відпалам. Повторюваність технологічних процесів необхідно враховувати при розміщенні устаткування. При виготовленні труби кілька разів проходять волочіння, відпал, травлення й сушіння. Доцільно розміщувати устаткування в прольотах однакового призначення.

На рис. 28 наведений план цеху холодного волочіння труб. Цех має п'ять прольотів і крыту естакаду - склад. У прольоті I розташовується травильне відділення, у двох наступних (II і III) – волочильні стани, у прольоті IV – відпалювальні печі, обробка труб та інспекція контролю. Останній проліт V відведений під склад готових труб.

Ураховуючи легкі садки для відпалу, застосовують камерні печі з нижніми топками й зовнішньою механізацією завантаження й розвантаження печей посадковою машиною. Передача труб із прольоту в проліт проводиться в більшості випадків через виробничі агрегати: із травильного відділення до волочильних станів через сушильні печі 3, із прольоту II в проліт III – через волочильні стани 4, від волочильних станів – у проліт IV через відпалювальні печі 5.

Гарячекатані труби доставляють залізничним шляхом на склад-естакаду, розкладають на стелажах за марками сталі й розмірами. Тут же відбувається забивання кінців труб на молотах I і складання труб у пакети. Пакети труб на візку залізничною колією передають у травильне

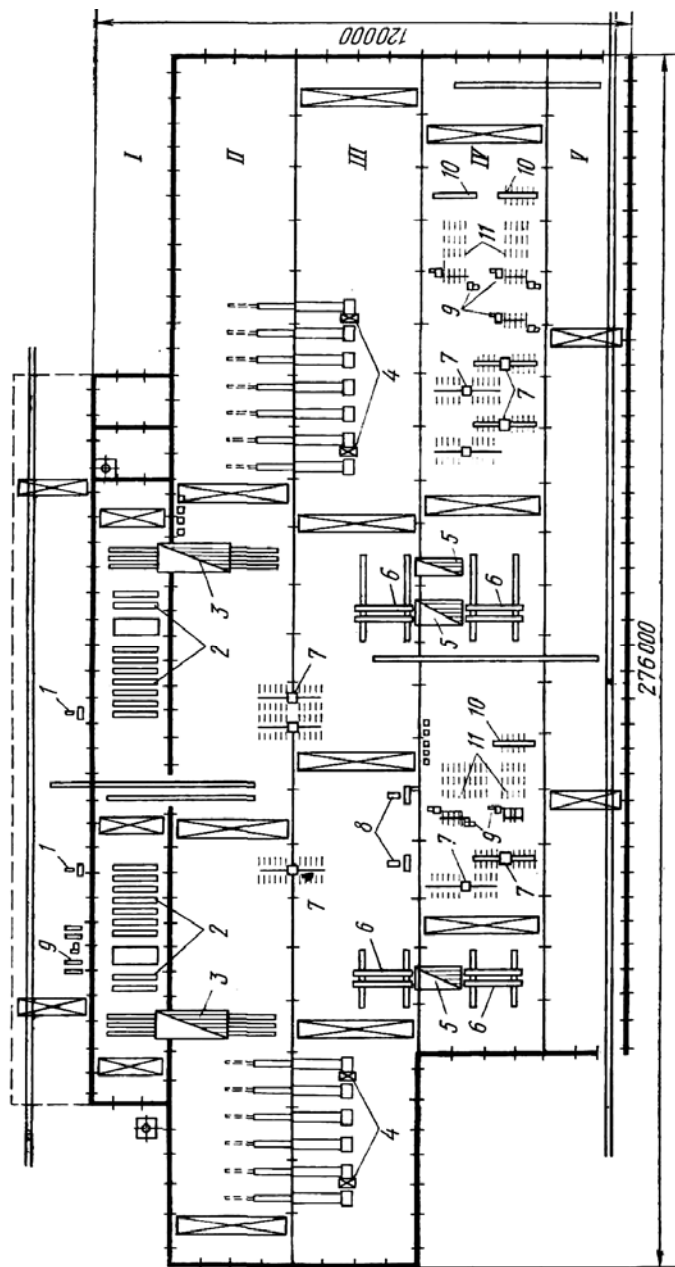


Рисунок 28 — План цеху холодного волочіння й відпалу труб

відділення (проліт I), де вони послідовно проходять травлення, промивання, обміднення у ваннах 2, сушіння в печах 3 і двома потоками видають до волочильних станів 4. Після протягання труби обрізають на пилках тертя й потім вони надходять у відпалювальні печі 5 камерного типу із зовнішньою механізацією завантаження й вивантаження пакетів труб підлоговою машиною 6.

За необхідності подальшого волочіння труби направляють через правильні машини 7 у проліт II, де набираються в пакети, які передаються в травильне відділення, потім процес обробки труб повторюється. Остаточню термічну оброблені труби з відпалювальних печей 5 подаються в оздоблювальний проліт IV. Тут вони правляться на машинах 7, обрізаються на верстатах 9, проходять випробування на пресах 10 й інспекторське приймання на стелажах 11. Після приймання труби передають вузькоколійними залізничними коліями на склад готової продукції в проліт V.

Останнім часом для рекристалізаційного відпалу труб використовують установки прямого електронагрівання. Така установка для відпалу в контрольованій атмосфері латунних і мідно-нікелевих труб довжиною до 7,5 м і діаметром до 50 мм при потужності 100 кВт має середню продуктивність 240 кг/год. Час нагрівання труб залежно від товщини стінки становить 40-60 с. Коефіцієнт корисної дії установки – 80%.

Остаточна термічна обробка труб з конструкційних сталей і алюмінієвих сплавів у вигляді гартування проводиться з нагріванням у ямних печах, селітрових ваннах і вертикальних шахтних печах. Під час гартування довгих тонких сталевих та алюмінієвих труб і пресованих профілів з алюмінієвих сплавів потрібне швидке перенесення їх з нагрівальної печі в гартівний бак, тому що інакше в результаті підхолювання можливий розпад твердого розчину до гартування.

З метою зменшення жолоблення довгих труб і профілів охолодження їх при загартуванні бажано здійснювати у вертикальному положенні. Тому довгі труби з тонкою стінкою й профілі нагрівають у вертикальних печах з розсувним дном і гартівним баком, розміщеним під піччю. Завантаження й вивантаження деталей з печі здійснюють знизу, для чого гартівний бак роблять пересувним. Піч із висотою робочого простору 9 м і діаметром 1,3 м при нагріванні труб і профілів з алюмінієвих сплавів до 500°C має середню продуктивність 1 т/год при потужності 400 кВт. Середня маса одноразової садки – 2 т, тривалість витримки в печі – 2 год.

4.1. Контроль труб після термічної й термомеханічної обробки

Обсяг контролю визначається вимогами ГОСТ або ТУ. Випробування на статичне розтягання при кімнатній температурі проводять за ГОСТ 1497 і ГОСТ 10006; при знижених температурах (до -100°C) – за ГОСТ 11150, а при підвищених температурах – за ГОСТ 19040. Ударну в'язкість визначають за ГОСТ 9454 з урахуванням виду концентратора напружень. Твердість визначається при кімнатних температурах; бажано для вимірювання твердості використати неруйнівні методи контролю. Технологічні проби на вигин проводять за ГОСТ 3728, на роздачу – за ГОСТ 8694, на сплющування – за ГОСТ 8695, на бортування – за ГОСТ 8693. Труби зі ШХ15 і ШХ15СГ, виготовлені за ГОСТ 800, контролюють на глибину знеуглецьованого шару (ГОСТ 1763), на неметалічні включення, карбідну ліквіацію, наявність пористості й мікроструктуру (ГОСТ 801). Забруднення котельних труб контролюється за ГОСТ 1778, величина зерна – за ГОСТ 5639, смужкува-

тість – за ГОСТ 5640, а мікроструктура за еталонними шкалами ТУ 14-3-460-75.

Труби з аустенітних корозійностійких сталей контролюють на вміст α -фази металографічним або магнітним методом (за ГОСТ 11878). Труби з високолегованих сталей випробовують на міжкристалітну корозію (ГОСТ 6032). Для виявлення внутрішніх дефектів (тріщин, порожнеч та ін.) використовують ультразвук (ГОСТ 17410). Необхідність проведення ультразвукового контролю визначають ТУ на труби.

Труби, що працюють під тиском, випробовують внутрішнім гідравлічним тиском (за ГОСТ 3845).

За необхідності визначення хімічного складу металу труб проби відбирають за ГОСТ 7565.

5. ТЕРМІЧНІ ЦЕХИ (ВІДДІЛЕННЯ) ДЛЯ ОБРОБКИ ДРОТУ

5.1. Технологія термічної обробки дроту

Дріт застосовують для виготовлення канатів, тросів, пружин, кардострічки, підшипників кочення, велосипедних спиць, різноманітних голок, заклепок, сіток, електронагрівачів, термопар та інших виробів, а також використовують у вигляді пакувального, телеграфного й зварювального дроту. Виготовляють дріт із гарячекатаної заготовки (катанки) діаметром 6-8 мм. Мінімальні розміри дроту можуть доходити до сотих часток міліметра. Дріт роблять із вуглецевих і легованих сталей (марганцеві, кременисті, хромисті, хромонікелеві, хромовольфрамові та ін.), а також із кольорових металів і їх сплавів. Канатний дріт виготовляють зі сталей 45, 55, 60; пружинну – зі сталей 60, 60М, В9А, 60С2; кардну й ремізну – зі сталі 50; шарикопідшипникову – зі сталей ШХ15, ШХ9; голкову – зі сталей В7А,

В8А, В10А; для годинників – зі сталей В7А, УЮА й т.п. Кольорові сплави використовують здебільшого для виготовлення дроту високого омичного опору й для ліній електропередач.

Заготовкою для виготовлення дроту служить катанка - дріт діаметром 6-8 мм, одержувана гарячою прокаткою, а дріт діаметром нижче 6 мм виготовляється холодним волочінням. Для того щоб дріт добре тягнувся, необхідно підготувати її поверхню й структуру, починаючи з катанки. Кращою структурою для катанки й дроту з вуглецевих сталей перед волочінням є сорбіт, що дозволяє зменшити число обробок й одержати гарні властивості в готовому дроті. Для одержання структури сорбіту в катанці застосовують прискорене охолодження відразу після виходу катанки з останнього калібру прокатного стану до моталок. На діючих станах ця відстань для розміщення охолодних пристроїв становить близько 10 м, а швидкість прокатки досягає до 30 м/с. Температура змотування – близько 600-650°C, тому необхідно забезпечити високу швидкість охолодження катанки. Це досягається різними шляхами, гарні результати дає пропущення катанки в трубчасту проводку, до якої подається вода, нагнітальною форсункою з напрямком потоку, що збігається з напрямком прокатки, зі швидкістю, що в 1,5-2 рази перевищує швидкість руху катанки. Це забезпечує, крім високої швидкості охолодження (1500-2000°C/с), гідротранспортування катанки. У ряді установок для скорочення шляху охолодження катанки її згортають у вигляді кілець, які піддають спреєрному охолодженню.

Видалення окалини з гарячекатаного дроту здійснюють травленням її у водяних розчинах кислот. Після травлення проводять промивання холодною й гарячою водою, нейтралізацію в гарячому розчині вапна й нагрівання до 200-300°C для усунення травильної крихкості, пов'язаної з поглинанням водню в процесі травлення.

Для полегшення волочіння дрiт перед вапнуванням часто покривають тонким шаром мiдi шляхом занурення на короткий час у бак з розчином мiдного купоросу. Найбiльшу здатнiсть до пластичної деформацiї пiд час волочiння сталевого дроту має структура тонкопластинчастого сорбiту, отриманого при патентуваннi, тобто iзотермiчному перетвореннi переохолодженого аустенiту в областi температур 450-550°C. Найбiльш небажаним за властивостями вихiдною структурою для волочiння є грубопластинчастий перлiт i наявнiсть цементитної сiтки.

Патентований дрiт зi сталi i вiмiстом 0,8-1,0% С, маючи високу здатнiсть до пластичної деформацiї, пiсля холодного волочiння при сумарному обтисненнi 75% має тимчасовий опiр до 2500 МПа, а при сумарному обтисненнi 98% - до 5000 МПа й вище.

Зi збiльшенням ступеня легованостi сталей пiдвищується стiйкiсть переохолодженого аустенiту, i при безперервному патентуваннi потрiбнi дуже довгi ванни для повного iзотермiчного перетворення. Тому для дроту з легованих сталей як термiчну обробку застосовують гартування в маслi з подальшим високим вiдпуском. Однак патентування легованих сталей порiвняно з гартуванням i вiдпуском на ту саму твердiсть надає дроту пiсля волочiння бiльш високого комплексу механiчних властивостей.

Гартування з вiдпуском застосовується як остаточна операцiя термiчної обробки таких видiв дроту: пружинного, кардного, ремiзного й гребенечесального. Дрiт з високовуглецевих сталей (голковий, iнструментальний, шарикопiдшипниковий) пiддається вiдпалу на зернистi карбiди з метою полiпшення оброблюваностi пiд час виготовлення виробiв на верстатах-автоматах i пiдготовки структури до гартування у виробах.

Для полiпшення якостi поверхнi гарячекатаного шарикопiдшипникового дроту застосовують окисний вiдпал при

760-740°C із витримкою 10-14 год. У результаті окисного відпалу знищуються багато поверхневих дефектів (дрібні заковчування, волосовини, плени, знеуглецьований шар) і виходить структура зернистого перліту, необхідна за технічними умовами. Гарячекатаний дріт з вуглецевих сталей часто перед початком волочіння піддається нормалізації. Нормалізацію доцільно поєднати з охолодженням дроту після гарячої прокатки, піддаючи мотки дроту прискореному охолодженню в струмені води або короткочасному замочуванню у воді для швидкого зниження температури до 500°C. У цих умовах виходить структура сорбіту, що є хорошою вихідною структурою як для волочіння, так і для подальшої термічної обробки (патентування, загартування, відпалу).

Дріт з аустенітних корозійностійких і кислотостійких сталей (марок типу 18Н9, Х18Н9Т) і сплавів високого омічного опору (ніхромів типу Х20Н80, Х15Н60) піддають гартуванню у воді з 1050-1100°C. Для передільних розмірів дроту (діаметром більше 2 мм) температура нагрівання для гартування може бути знижена: для корозійностійких сталей – до 900-950°C, а для ніхрому – до 720-760°C. Феритні сталі типу Х17 проходять високий відпуск при 720-740°C із подальшим швидким охолодженням для підвищення пластичності.

Дріт із кольорових сплавів піддається проміжним рекристалізаційним відпалам для можливості проведення подальшої пластичної деформації. Остаточною термічною обробкою для дроту з кольорових сплавів (крім берилієвої бронзи) також є відпал. Для виробів з берилієвої бронзи (Cu + 2% Be) остаточною термічною обробкою є гартування з 800-820°C у маслі й старіння при 380°C. Берилій у кількості до 2,1% має обмежену розчинність у міді, що зменшується зі зниженням температури.

5.2. Устаткування для термічної обробки дроту

Патентування дроту проводять у безперервно діючих установках (рис. 29) перемотуванням її з фігурок (розмотувальних пристроїв) 1 через нагрівальну піч 2 і ванну 3 на намотувальні привідні барабани 4. Нагрівання відбувається в протяжних трубчастих печах до температури вище точки A_{c3} на 80-100°C, що забезпечує однорідність аустеніту й оптимальний для волочіння розмір зерна (№ 2-3). Сталь із крупним зерном можна піддавати волочінню з більшими ступенями деформації, при цьому готовий дріт набуває кращих властивостей. Для переохолодження аустеніту й ізотермічної витримки частіше застосовують електродні

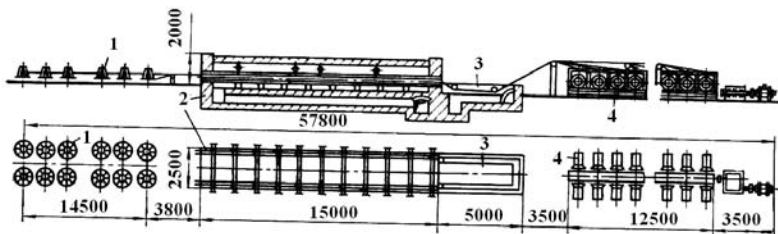


Рисунок 29 – Схема установки для безперервного патентування дроту

соляні ванни. Як солі використовують розплави сумішей натрієвої й калієвої селітри (65-75% $NaNO_3$ і 35-25% KNO_3) або їдких лугів (70-75% $NaOH$ і 30-25% KOH). Для нагрівання під аустенітизацію переважно використовують протяжні горизонтальні трубчасті печі, що нагрівають газовими пальниками або електричними нагрівальними елементами. На поді печі укладають в один ряд 24 трубки, по яких рухається нагрівальний дріт. Зверху трубки ізолюють шаром шамоту. Пальники розміщують у робочому просторі печі над трубами. Відведення продуктів горіння відбувається через канали в бічних стінках печі в збірний кабан. Піч при розмірах поду 15X1.5 м і довжині ванни для

ізотермічного розпаду аустеніту 5 м має продуктивність 0,6-0,8 т/год. Останнім часом для патентування використовують установки з киплячим шаром (рис. 30). У першій ванні (рис. 30 а) дріт піддається нагріванню для аустенітизації на 950°C, а в другій (рис. 30 б) проходить охолодження й витримку з одержанням структури сорбіту. В установці одночасно рухаються 24 ряди дротів зі швидкістю 12 м/хв на висоті 225 мм над рівнем ковпачкової ґратки.

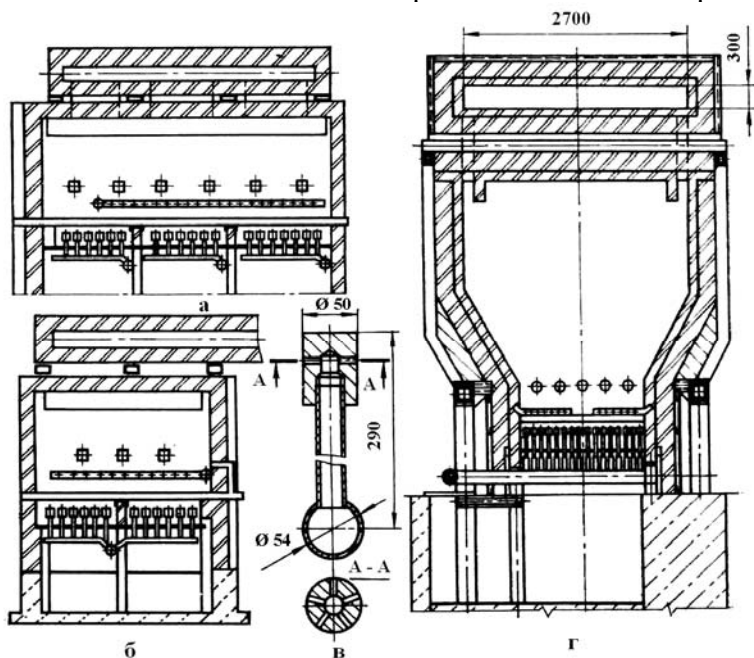


Рисунок 30 – Установка для безперервного патентування дроту в киплячому шарі: а – камера нагрівання; б – камера охолодження; в – ковпачок; г – поперечний переріз (навпроти позицій а і б збільшений удвічі)

При довжині камери нагрівання 6 м і камери охолодження 4 м продуктивність досягає 1 т/год 100-600°C. Як зернистий матеріал використовують корунд № 10, висота кипля-

чого шару – 350 мм. Нагрівання здійснюють природним газом, його витрата становить 0,7 м³/хв. Герметичність вхідних і вихідних отворів досягається за допомогою піскових затворів.

Проміжний відпал частіше проводиться з нагріванням дроту в бунтах у вентиляторних ковпакових печах, муфельних шахтних печах і в печах з висувним подом. Для рекристалізаційного відпалу кольорових сплавів на кінцевому розмірі дроту перевагу мають протяжні печі. У протяжних печах, застосовуючи більш високу температуру печі й збільшену швидкість руху дроту, можна прискорити нагрівання; при цьому процес рекристалізації завершиться, а зерно не встигне вирости. У результаті цього дріт матиме дрібне рівномірне зерно й високі пластичні властивості.

На деяких заводах успішно застосовується відпал із нагріванням в електродних соляних ваннах. Відпалу в бунтах піддавався дріт сталей 65 і 65Г у ванні із внутрішніми розмірами 2х1,2х1,5 м з 12 електродами (потужністю 240 кВт). Час витримки при рекристалізаційному відпалі в солях досягає 1-0,5 год залежно від розміру садки й марки сталі. Однак краще замість соляних ванн використати нагрівання в киплячому шарі, що забезпечує ту саму інтенсивність нагрівання, що й розплави солей.

Гартування й відпуск дроту проводять у безперервно діючих установках. Схема установки для термічної обробки кардного й ремізного дроту діаметром 0,2-0,5 мм наведена на рис. 31. Дріт з розмотувальних фігурок 1 послідовно проходить нагрівання в трубчастій електричній печі 2, гартування в масляному баці 3, очищення від масла на столику 4, відпуск в електричній печі 5, охолодження у водяному холодильнику 6 й остаточне очищення від масла в газовій ванні 7, після цього він намотується на барабани 8. Нагрівання для аустенітизації й відпуску проводять у протяжних трубчастих горизонтальних печах з рамними електричними нагрівачами. При корисних розмірах гартівної

печі $3,6 \times 0,6 \times 0,2$ м і потужності 80 кВт продуктивність становить 200 кг/год. Гартування дроту проводять у горизонтальному положенні в гартівному баці, що має подвійні стінки. Рівень гартівної рідини у внутрішньому баці вищий, ніж рухомого дроту, гартівна рідина переливається через отвори для проходу дроту в простір між зовнішніми стінками, з якого насосом знову перекачується в бак.

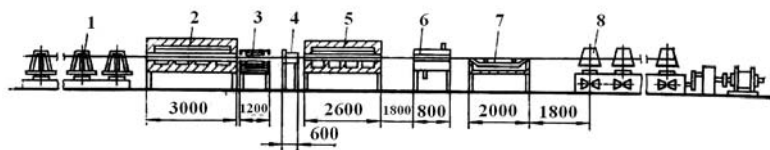


Рисунок 31 – Схема безперервної установки для гартування й відпуску кардного й ремізного дроту

Оригінальна конструкція установки для загартування й відпуску ремізного й кардного дроту зображена на рис. 32. Нагрівання безупинно рухомого дроту здійснюється електричним струмом, що пропускають безпосередньо через нього. Дріт, розмотуючись із конічної розмотувальної фігурки 1, проходить через роликовий контакт 2 і трубчастий контакт 6, нагріваючись до гартівної температури 900°C . Для зменшення втрат тепла дріт ізолюється порцеляною трубкою 3. У кінці трубки дріт гартується струменем масла, що подається насосом через трійник 7 з бачка 5. Гартівне масло стікає із трубки 3 через лійку 4 і другий кінець трубки в загальний збірний бачок 5. Після загартування дріт очищається від масла, проходячи між двома гумовими пластинами 8, і потрапляє на плоский контакт 9 і трубчастий контакт 10, між якими відбувається нагрівання для відпуску. Температура нагрівання для відпуску кардного дроту дорівнює 400°C , а для ремізного 650°C . Для зменшення втрат тепла нагрітий дріт поміщається в порцелянову трубку 11, кінці якої закриваються

азбестовими пробками. Загартований і відпущений дрiт навивається на барабані 12 у моток. При швидкості руху дроту 60 м/хв відстань між контактами 2 і 6 повинна бути близько 1,5 м, а між контактами 9 і 10 – близько 2,2 м. Для підвищення терміну служби контакти роблять із твердих сплавів.

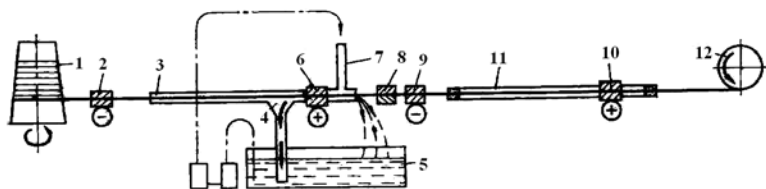


Рисунок 32 – Схема установки з контактним електронагріванням для гартування й відпуску безупинно рухомого дроту

На рис. 33 а, б зображена потокова лінія з контактним електронагріванням сталевого дроту діаметром 2-4 мм для патентування й цинкування. Дрiт із розмотувальних котушок 1 потрапляє у ванну першого контакту 2 і далі у свинцеву ванну 4 з температурою близько 500°C, у якій відбувається ізотермічний розпад переохолодженого аустеніту. Свинцева ванна одночасно є другим контактом для здійснення електронагрівання дроту до аустенітного стану. Для зменшення втрат тепла при контактному нагріванні дрiт поміщають у муфель 3. Після патентування дрiт охолоджується у ванні 5, проходить травлення в кислотній ванні 6, нейтралізацію в баці 7 з розчином флюсу. Далі він піддається цинкуванню у ванні 8 з розплавом цинку, після чого змотується на намотувальні барабани 9. Ванну 2 перші контакти й розмотувальні котушки для електроізоляції розміщують на дерев'яному настилі 11. Нитки дроту на шляху до першого контакту ізолюють одна від одної напрямляючими трубками 10. Для гасіння виниклих електричних дуг і зменшення корозії ванна першого контакту заповнюється 2,0-3,0% розчином тринатрійфосфату.

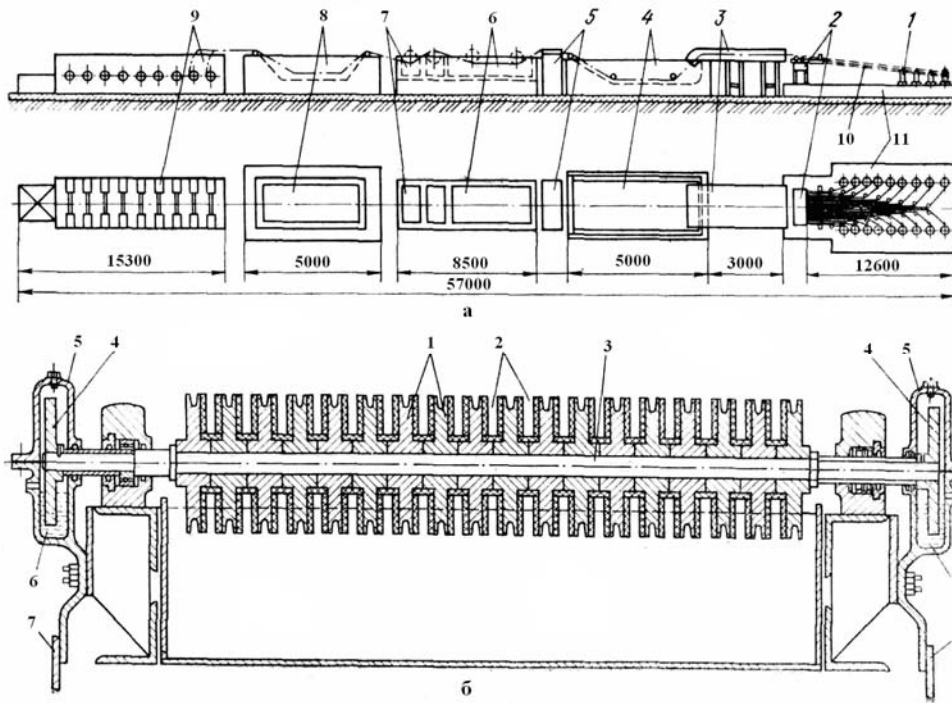


Рисунок 33 - Схема установки з контактним електронагріванням для безперервного патентування і цинкування дроту

Перший контакт набраний з вісімнадцяти бронзових роликів 1 (рис. 33 б) відповідно до числа одночасно оброблюваних дротів. Торцеві сторони роликів ізолювані вініпластом так, що дріт, що зісковзнув з контакту, потрапляє в ізолювану від струму канавку 2. Крім того, ізоляція роликів вініпластом полегшує заправлення ліній новим дротом. Підведення струму до роликів здійснюється через центральний вал 3 від ртутного контакту 6. Постійний контакт при обертанні вала забезпечується диском 4, що обертається в заповненому ртуттю корпусі 5, до якого струм підводиться шиною 7. Другий контакт здійснюється шиною, що підводить струм безпосередньо до тигля свинцевої ванни.

Установка контактного нагрівання працює на постійному струмі від двох мотор-генераторів потужністю по 137 кВт кожний, напруга до 110 В. Практично застосовується напруга 40-50 В, при цьому сила струму становить 100-130 А на кожну нитку дроту. Під час роботи на постійному струмі напруга добре стабілізована, що забезпечує постійну температуру нагрівання.

Нагрівання дроту діаметром 2-4 мм здійснюється при швидкості руху 20-12 м/хв., подальше підвищення швидкості погіршує якість подальшого покриття цинком.

Технологічний процес виготовлення оцинкованого дроту можна спростити, якщо замість свинцевої ванни для ізотермічного розпаду переохолодженого аустеніту встановити ванну з розплавленим цинком. Таке сполучення операцій патентування й цинкування цілком можливо, тому що температури обох процесів збігаються (близько 500°C). Успішні досліди зі сполучення операцій патентування – цинкування проведені на Одеському сталедротоканатному заводі. При охолодженні дроту від температури нагрівання до температури ванни встигає пройти насичення дроту цинком при підвищених температурах, що неба-

жано. Цього можна уникнути, якщо перед цинковою ванною для попереднього переохолодження залишити ванну із флюсом і енергійно перемішувати його.

У поточкових лініях можна здійснити нагрівання дроту для загартування або патентування струмами високої частоти. З метою підвищення продуктивності індукційної установки дріт діаметром 3 мм і менше можна пропускати через індуктор пучком в 6-8 ниток залежно від потужності генератора (100-150 кВт).

На рис. 34 показана схема виготовлення сталевих дроту з використанням описаних вище поточкових агрегатів для її термічної обробки. Гарячекатаний дріт у мотках надходить по підвісній дорозі або електрокарах у проліт I на склад. Потім він проходить патентування в установці I з протяжними печами та ваннами й надходить у травильне відділення для видалення окалини, обміднення й нейтралізації у ваннах 2. Після нагрівання в ямних сушарках 3 дріт доставляється в суміжний проліт II для грубого волочіння на верстатах 4 і для тонкого волочіння на верстатах 5. Для повернення пластичних властивостей після волочіння дріт направляють на повторне патентування за зазначеним маршрутом.

Для нагрівання під загартування, патентування або відпуск тонкого дроту доцільно застосовувати електродні ванни, у яких можна одержати дріт зі світлою поверхнею. Агрегат для гартування з нагріванням у солях складається з нагрівальної ванни, водяного гартівного бака, ванни електролітичного підтравлювання з 1% розчином сірчаної кислоти, механічної полірувальної установки, намотувального й розмотувального пристрою.

Численні дослідження показали, що для одержання високоміцного дроту можна застосувати процес НТМО. При цьому є можливість безпосереднього волочіння дроту в переохолодженому аустенітному стані з одночасним

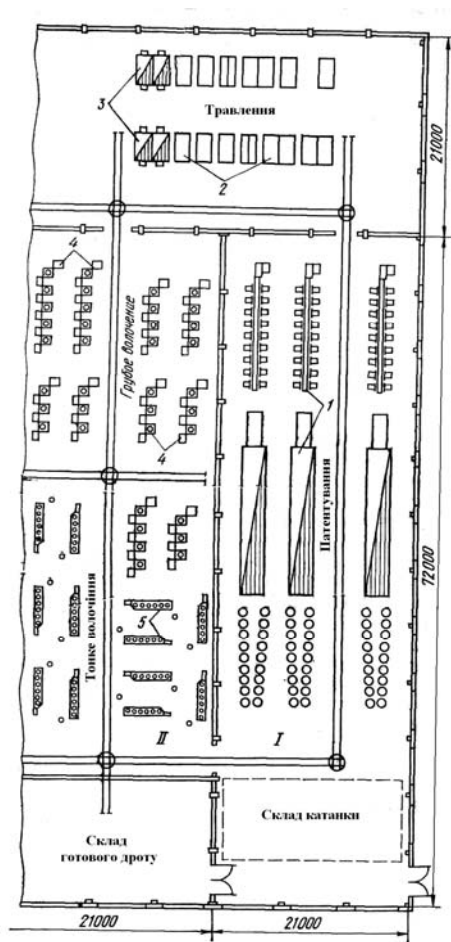


Рисунок 34 – Схема комплексного волочіння й термічної обробки сталевго дроту

обтисненням до 40-43%. У цьому разі поточковий агрегат буде складатися з розмотувального пристрою, печі із захисною атмосферою або ванни для аустенітизації, ванни з температурою 300-400°C для переохолодження аустеніту й волочильного барабана. При волочінні дроту з 0,8-0,9% С у переохолодженому аустенітному стані з обтисненнями

35-40% можна одержати тимчасовий опір вище 3000 МПа при відносному подовженні до 2% .

5.3. Технологія термічної обробки вузької стрічки

Вузька стрічка виготовляється спочатку з гарячекатаної стрічки, потім проходить холодну прокатку до необхідної товщини й розмірів. Далі стрічка піддається термічній і механічній обробці (шліфуванню, поліруванню, різанню). Найменша ширина високоміцної стрічки до 1 м, а пружинної до 4 мм. Нижче наводиться режим термічної обробки пружинної стрічки.

Пружини виготовляють із вуглецевих сталей із вмістом 0,7-1,0% С і легованих сталей 65М, 50С, 60С2 з невеликими добавками хрому, вольфраму, ванадію, молібдену. При виготовленні пружинної стрічки перед холодною прокаткою застосовують відпал на зернистий перліт і проміжні рекристалізаційні відпали в процесі холодної прокатки. Остаточна термічна обробка пружинної стрічки полягає в ступеневому гартуванні з нагріванням у протяжних печах.

Схема потокової лінії термічної обробки пружинної стрічки наведена на рис. 35. Мотки стрічки надходять у відділення І, де проходять ступеневе гартування в агрегаті, що складається з розмотувальних фігурок 1, трубчастої горизонтальної нагрівальної печі 2, соляної ванни 3 для переохолодження аустеніту й печі 4 для відпуску. Рух стрічки через агрегат здійснюється намотувальними апаратами 5. Недоліком ступеневого гартування є підвищення кількості залишкового аустеніту в сталі й необхідність наявності великої ділянки для охолодження стрічки на повітрі після ванни ступеневого гартування. З метою зменшення кількості залишкового аустеніту, підвищення якості стрічки й скорочення довжини потокового агрегату, охолодження стрічки водою проводять після ванни ступеневого гартування перед відпускнуою піччю.

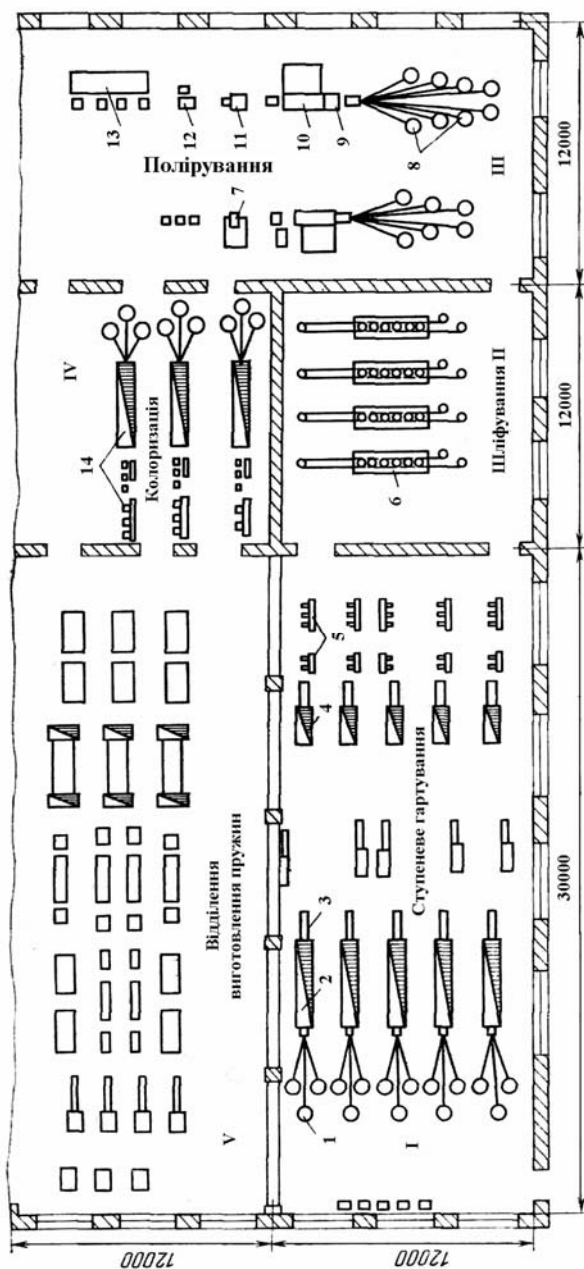


Рисунок 35 – Схема потокової лінії виробництва й термічної обробки пружинної стрічки

Після ступеневого гартування стрічка проходить шліфування кромки у відділенні II на верстатах 6 із шістьма шліфувальними кругами в кожному й полірування стрічки у відділенні III на верстатах 7. При поліруванні стрічка з фігурок 8 розмотувального пристрою пропускається через ванну 9 з полірувальною пастою, потім через дотові щітки 10, повстяні щітки 11, «оксамитні» щітки 12 з бавовняної тканини й намотується на барабани 13. Для одержання захисної оксидної плівки на ділянці IV у трубчастій печі 14 проводиться колоризація. Після цього здійснюють контроль якості стрічки за розмірами і випробування механічних властивостей з визначенням тимчасового опору, числа згинань і кута пружності. Придатна стрічка відправляється у відділення V для виготовлення пружин.

Під час виготовлення вузької пружинної стрічки хороші результати дає метод плющення дроту. Після одержання готового розміру при плющенні стрічка проходить загартування з відпуском в горизонтальних протяжних печах описаних вище конструкцій. При виготовленні плющенням стрічка не потребує шліфування кромки.

Високі механічні властивості стрічки з тимчасовим опором 3000 МПа й вище можна одержати при плющенні дроту в стані переохолодженого аустеніту з процесом НТМО. При плющенні дроту діаметром 2 мм на стрічку перерізом 0,7×2,63 мм у стані переохолодженого аустеніту при температурах 380-400°C із подальшим охолодженням її на повітрі й відпуском при 360°C протягом 5 хв тимчасовий опір стрічки зі сталі 60С2 становить до 3100 МПа, а зі сталі 65 Г до 2850 МПа. Спосіб плющення дроту варто широко використовувати під час організації потокових ліній виготовлення високоміцної пружинної стрічки. Потокова лінія повинна мати розмотувальні фігури, піч із захисною атмосферою або соляною ванною для нагрівання дроту до стану аустеніту, соляну ванну з темпе-

ратурою 360-400°C для її переохолодження, плющильний стан, ділянку для охолодження стрічки, піч або ванну з температурою 360-400°C для відпуску й намотувальні апарати. Організація такої потокової лінії цілком можлива, але її продуктивність буде невисокою через відсутність спеціалізованих верстатів, що дозволяють виконувати одночасне плющення декількох ниток дроту.

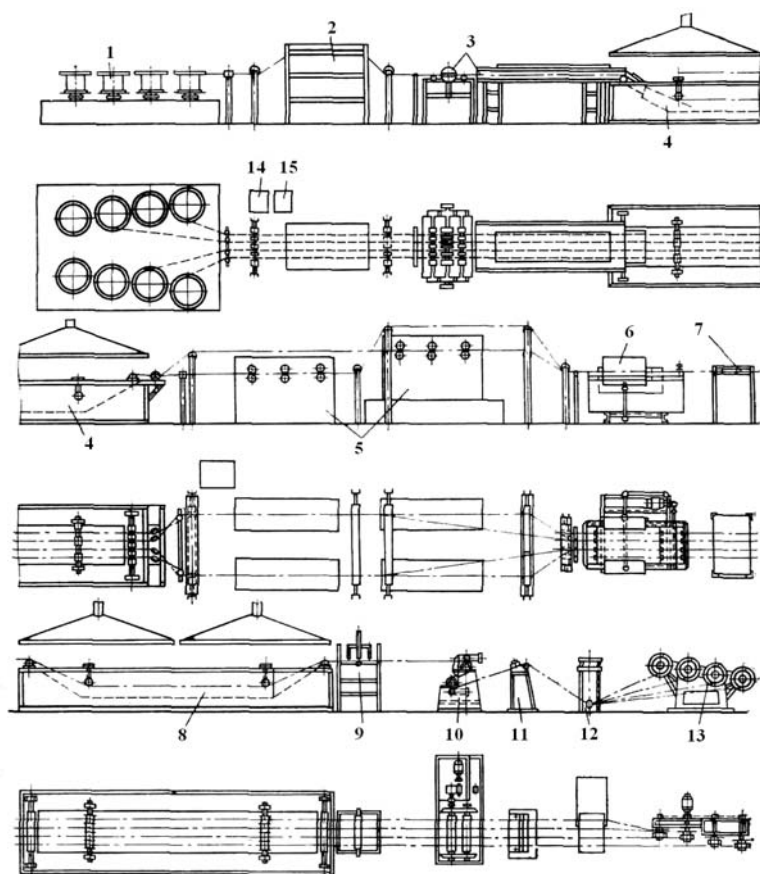


Рисунок 36 – Схема потокової лінії виготовлення стрічки із НТМО (лінія розміщена на рисунку в три ряди)

На рис. 36 наводиться схема потокової лінії для виготовлення стрічки із застосуванням НТМО в чотири нитки з використанням для плющення дроту чотирьох паралельно розташованих триклітьових станів з діаметром валків 165 мм і довжиною бочки 76 мм. Дріт змотується з розмотувальних фігурок 1, проходить через башту запасу 2, піддається прямому електронагріванню в установці 3 і переохолодженню аустеніту у свинцевій ванні 4, що служить одночасно другим контактом установки електронагрівання. Дріт у стані переохолодженого аустеніту обтискується на чотирьох плющильних станах 5 і гартується в баці 6. Далі дріт проходить обігрівальне обтирання 7, відпускну соляну ванну 8, промивний пристрій 9, натяжний апарат 10, масляне обтирання 11, рухливі ролики 12 і змотується в бунти на намотувальному пристрої 13. Для обрізання й зварювання кінців нового бунта встановлюються ножиці 14 і зварювальний апарат 15. Довжина всієї лінії – 57 м. При швидкості плющення і руху стрічки 40 м/хв у чотири нитки продуктивність лінії становить 260 кг/год. Ця швидкість забезпечується при електроконтактному нагріванні з витримкою 7 с, у ванні переохолодження 10 с і у відпускній печі 5 с. Найближчим завданням для впровадження поточкових ліній виготовлення тонкої стрічки з використанням НТМО є розроблення конструкцій плющильних станів на 12-20 ниток стрічки.

6. ТЕРМІЧНІ ВІДДІЛЕННЯ Й ДІЛЬНИЦІ ДЛЯ ОБРОБКИ ВИРОБІВ, ЩО ЗАСТОСОВУЮТЬСЯ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ

Найбільш відповідальними виробами залізничного транспорту, виготовленими прокаткою та які проходять термічну обробку, є рейки, бандажі, колеса, осі, накладки.

6.1. Термічна обробка рейок

ГОСТ 24182-80 передбачає три основних профілі рейок широкої колії Р75, Р65 і Р50 відповідно з масою одного метра довжиною 75, 65 і 50 кг при довжині рейки 25 м.

Для виготовлення рейок застосовується вуглецева мартенівська або конвертерна сталь із підвищеним вмістом марганцю (0,71-0,82%С, 0,75-1,05% Мn і 0,18-0,40% Si). Ця сталь після термічної обробки забезпечує тимчасовий опір вище 1100 МПа при подовженні більше 6%. У результаті термічної обробки необхідно уникнути утворення флокенів (у газонасиченій сталі), зменшити залишкові напруження, поліпшити структуру рейки по всьому обсязі й збільшити поверхневу твердість і стійкість головок рейок проти зношування, зминання й контактної втоми. Для одержання рівномірної рейки необхідний підвищений опір зминанню кінців рейок.

Для запобігання утворення флокенів і зменшення залишкових напружень відразу після прокатки проводять уповільнене охолодження рейок в інтервалі температур 550-150°C протягом не менше 6-8 год або застосовують ізотермічну витримку в інтервалі фазового перетворення при температурах 550-575°C протягом не менше 2 год.

Уповільнене охолодження рейок після прокатки з метою боротьби із флокенами проводиться в добре ізольованих коробах або колодязях. Температура рейок при посад-

ці в колодязі повинна бути не менше 500-530°C, загальний час витримки й охолодження до 150°C становить 8-10 год. Застосування коробів або колодязів вимагає більших площ, порушує потоковість виробництва й не забезпечує рівномірного охолодження рейок в обсязі садки. Тому кращим рішенням є застосування ізотермічного відпалу відразу після прокатки. Для ізотермічної витримки застосовують конвеєрні печі (рис. 37), у яких рейка транспортується довжиною поперек печі чотирнадцятьма паралельними ланцюговими конвеєрами із кроком ланцюга 450 мм. Ширина печі (26,5 м) розрахована на пропуск рейки довжиною 25 м. Довжина печі – 13 м, площа поду – 345 м². При нагріванні рейок на 550°C температура печі становить 600°C. Час нагрівання й витримки – 2 год. Продуктивність печі – до 40 т/год. Піч має підвісне склепіння 1 і двадцять чотири нижніх поздовжніх підподових топок 2 із ґратчастими склепіннями (рис. 37 а). Середня швидкість руху рейок – 0,1 м/хв, потужність приводу конвеєра – 45 кВт. Оскільки пальники розташовані з боку отворів для завантаження й вивантаження рейок, піч заглиблена на 4 м. У цьому разі доцільно застосувати поперечні топки з бічним розташуванням пальників (рис. 37 б). Для підвищення рівномірності нагрівання використовується циркуляція продуктів горіння відцентровими вентиляторами 1 через канали 2. Втрати тепла відшкодовуються додаванням гарячих газів із топок 3, розташованих нижче циркуляційних каналів.

На рис. 38 наведена схема відділення для попередньої термічної обробки рейок у потоці прокатного цеху НТМК із застосуванням ізотермічного відпалу; продуктивність – 200-220 т/год.

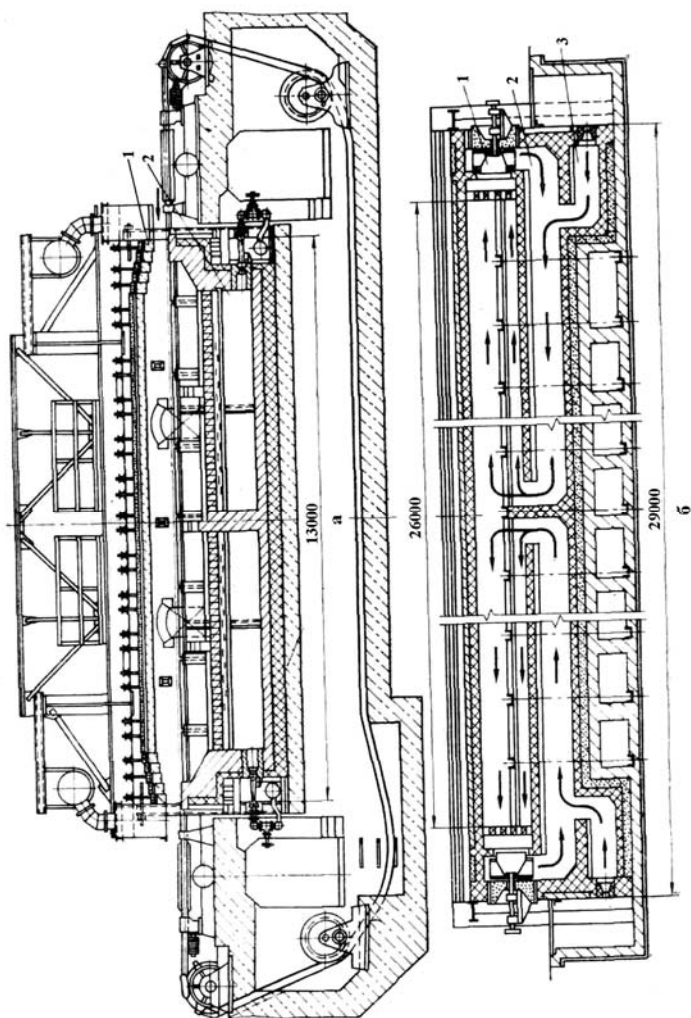


Рисунок 37 – Поздовжні розрізи конверсних печей для ізотермічного відпалу рейок після обкатки

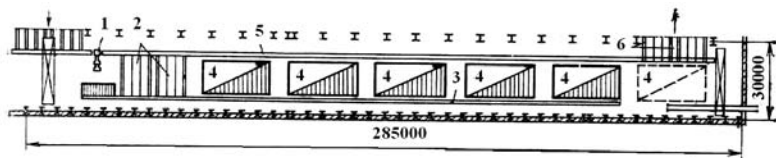


Рисунок 38 – Схема відділення для попередньої термічної обробки рейок у потоці прокатного цеху із застосуванням ізотермічного відпалу

Рейки після прокатки й різання на пилках надходять по відвідному рольгангу до згинальної машини 1. Після вигину на підшву їх охолоджують до $600-500^{\circ}\text{C}$ на передатних шлеперах-холодильниках 2, з яких відвідним рольгангом 3 з виступаючими опорами передають у п'ять печей 4 для ізотермічної витримки. Після двогодинної витримки при $550-575^{\circ}\text{C}$ рейки видають із печей, потім по відвідному рольгангу 5 через передатні шлепери 6 направляють на склад і далі для остаточної термічної обробки.

Остаточну термічну обробку рейок проводять за трьома основними варіантами: об'ємне гартування в маслі з відпуском (НТМК і КМК), сорбітизація зі спеціального пічного нагрівання із самовідпуском і поверхневе загартування головки рейки з нагріванням СВЧ по всій його довжині (завод «Азовсталь»).

На рис. 39 наведені схеми компонувань термічних ділень із застосуванням зазначених вище варіантів обробки.

При об'ємному гартуванні (рис. 39 а) рейки магнітним краном подаються зі складу на стелажі 9, на яких комплектуються в пакети по 11-12 шт. Через кожні 6-8 хв пакети транспортерами 10 завантажуються в роликові гартівні печі 8. З печей рейки видаються в бак поштучно через тамбур 7, перевертаються на підшву й надходять у правильну машину 6 і далі в барабанну гартівну машину 5. Загартовані рейки на стелажі 4 комплектуються в пакети по 12-16 шт. і через тамбур завантажуються в роликові ві-

дпускні печі 3. Після відпуску рейки по рольгангах 2 направляються на холодильники 1, на яких прохолоджуються до 60°C і по одному доставляються для виправлення в машину 14 і вертикальний прес 13. Виправлені рейки проходять контроль на стелажках 12. Придатні рейки на позиції 11 вантажаться у вагони або передаються на склад. Продуктивність однієї лінії становить 110-120 т/год. Враховуючи випуск прокатного стану, установлюються дві паралельні лінії. Роликова піч для нагрівання під гартування має корисну ширину робочого простору 3 м і довжину 185 м. Одночасно по ширині печі рухаються 11-12 рейок. Час нагрівання й витримки – 1 год, продуктивність – 110-120 т/год. Швидкість руху рейок при завантаженні й вивантаженні – 1 м/с. Транспортуються рейки 560 роликами діаметром 300 мм із кроком 1160 мм, кожний ролик має індивідуальний привід від двигуна потужністю 2,3 кВт. Піч опалюється інжекційними пальниками (52 шт.), сумішшю коксового й доменного газів під тиском 15 МПа. Рейки в печі перебувають у постійному зворотно-поступальному русі зі швидкістю 0,2 м/с. Піч має сім регульованих температурних зон. Рейки нагрівають до 820-840°C.

Гартівна машина (рис. 40) являє собою пустотілий обертовий барабан довжиною 28 м, на якому змонтовані шість дванадцятипроменевих зірочок. На кінці кожного променя підвішена каретка, що має два ряди роликів, між якими подається рейка з підошвою вниз. Барабан установлюється в баці, заповненому маслом. Рівень масла в баці підтримується таким чином, що при повороті барабана на 30° завантажена гаряча рейка поринає в масло, у якому прохолоджується протягом 5-6 хв. Пройшовши при обертанні дев'ять позицій, загартована рейка виходить із масла й видається з бака. З метою пожежної безпеки й зниження окислювання над дзеркалом ванни підтримується інертна атмосфера.

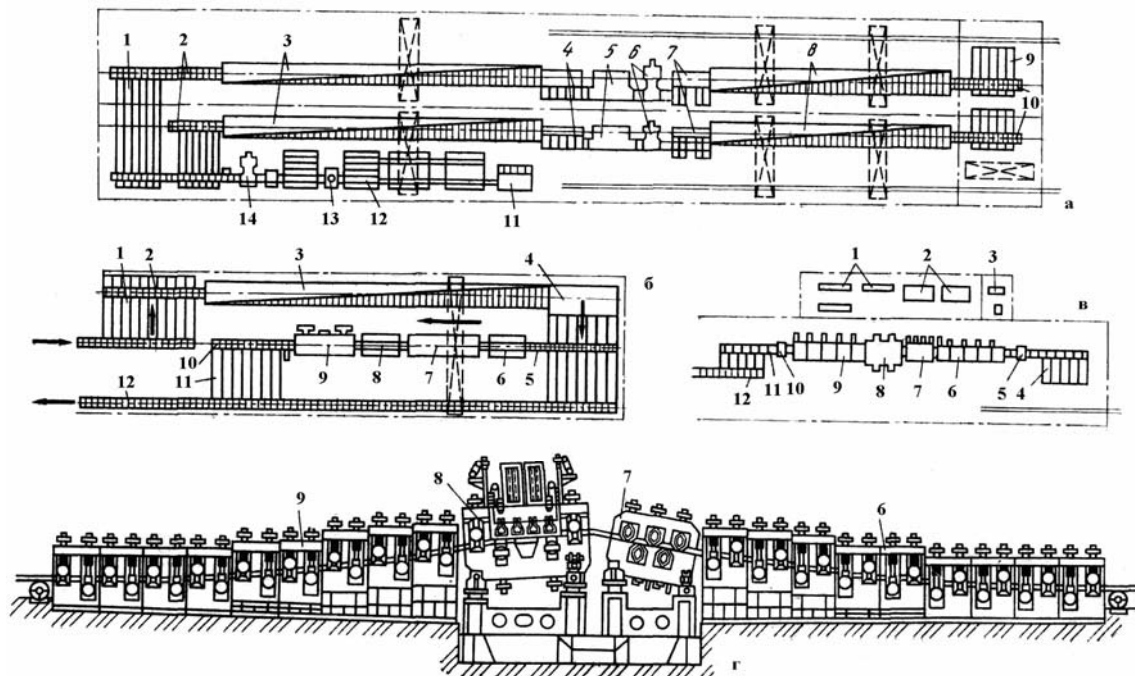


Рисунок 39 – Схема компонувань діляниць для термічної обробки рейок: а – об'ємного гартування в рейкобалковому цеху; б – сорбітизації в рейкобалковому цеху; в – гартування з нагріванням СВЧ; г – поздовжній розріз установки

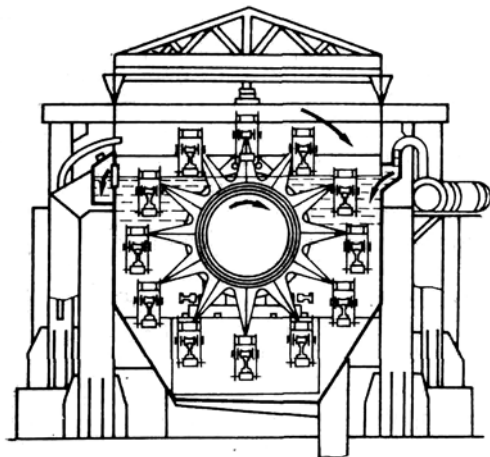


Рисунок 40 – Поперечний розріз гартівної машини

Для відпуску рейок використовують роликову піч аналогічної конструкції із шириною робочого простору 3,7 м і довжиною 260 м. Піч має десять регульованих зон. Температура нагрівання – 460°C . Тривалість відпуску – 2 год. Твердість – НВ 341-388.

На рис. 39 б наведена схема компонування ділянки термічної обробки рейок на ДМК із сорбітизацією голівок зі спеціального пічного нагрівання із самовідпуском. Рейки, що виходять із прокатного стану, прохолоджуються на стелажах 1 до $400\text{--}500^{\circ}\text{C}$ і за допомогою рольганга 2 завантажуються в роликову піч 3 пакетами по 8-10 шт., у якій нагріваються до $820\text{--}850^{\circ}\text{C}$ протягом 40-60 хв.

Після нагрівання рейки видаються через тамбур 4 на стелаж і рольгангом 5 задаються у кантувач 6, у якому повертаються на голівку, і далі надходять у гартівну машину 7. Охолодження в машині відбувається струменями води протягом 25-30 с, за рахунок тепла, що залишилося в голівці, забезпечується самовідпуск рейки з нагріванням до $400\text{--}500^{\circ}\text{C}$. При подальшому охолодженні рейка внаслідок різниці температур у голівці й підшві вигинаються на го-

ловку. Для одержання прямої рейки після охолодження він піддається вигину опуклістю на підшву в згинальній машині 9 на рухливих опорах за допомогою двох пневматичних циліндрів, що роблять тиск на кінці рейок. У вигнутому стані рейку витримують 6-10 с. Далі рейки рольгангом 10 передаються для охолодження на стелаж 11, на якому рейка одержує зворотний вигин, що компенсує кривизну, повідомлену машиною. Шляхом підбору кривизни рейки в машині можна після повного охолодження одержати відносно пряму рейку. Для остаточного виправлення рейка рольгангом 12 направляється до правильної машини. Потім рейку піддають контролю.

Піч для нагрівання рейок – роликів, ширина – 2,6 м, довжина – 96 м, продуктивність ~50 т/год. Опалюється 290 пальниками, розташованими над і під роликами, має 80 роликів з індивідуальними приводами. Завантаження й вивантаження рейок проводять при швидкості 0,65 м/с, а реверсування при 0,12 м/с.

Гартівна машина складається з 22 роликів клітей, розміщених в одну лінію на відстані 1 м одна від іншої. Між клітьями перебувають охолоджувальні секції у вигляді коробок із соплами діаметром 4 мм, що напрямляють воду на рейку. Під головою рейки, що рухається, утворюється суцільна водяна ванна глибиною 35-50 мм і шириною 90-100 мм, що обмиває головку рейки із трьох боків. Підшва, шийка й нижня частина головки рейки проохолоджуються на повітрі. Швидкість руху рейки в гартівній машині становить 0,65-0,75 м/с залежно від типу рейки.

На рис. 39 в наведена схема термічної обробки рейок на установці заводу «Азовсталь» з нагріванням головки СВЧ по всій довжині. Рейки гартують у пружно-вигнутому стані безперервно-послідовним способом. В установці паралельно проходять чотири рейки (рис. 41). Загальна довжина установки – 60 м, ширина (не рахуючи двигунів)

– 4 м. У відділення рейки доставляють рольгангом 12 (рис. 39 в) на стелаж, з якого рольгангом 11 рейки задають у кантувач 10, у якому кантуються головкою нагору й на дільниці 9 пружно вигинаються опуклістю на головку по радіусу 100 м, проходячи між вісімнадцятьма роликами, розміщеними у два ряди в шаховому порядку. Пружно вигнута рейка надходить на гартівну станцію 8, розміщену на рухомій рамі. У кожній лінії встановлюється індуктор із шести секцій довжиною $350 \times 6 = 2100$ мм, потужністю 650 кВт, частотою 2500 Гц, напругою 450 В. Питома потужність дорівнює 0,5-0,6 кВт/см².

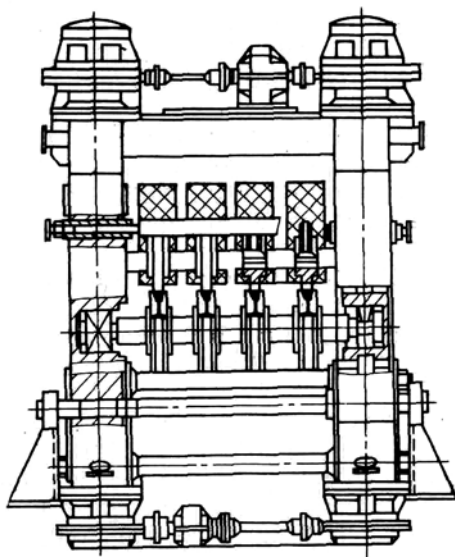


Рисунок 41 – Поперечний розріз установки для загартування рейок з нагріванням СВЧ

Протягом ~120 с поверхня головки рейки нагрівається до 1000°C, глибина нагрівання до 750°C становить 20-25 мм. Далі з дільниці рейки протягом 30-40 с охолоджується до 880-900°C на повітрі й проохолоджується водоповітряною сумішшю з п'яти багатосоплових форсунок дов-

жиною 500 мм до 350-400°C протягом 30-40 с. Витрата води – з 12-15 л/хв. У процесі охолодження кривизна рейки втримується в установці 7, що має п'ять роликів, розташованих у шаховому порядку. Потім рейки надходять на ділянку 6, проходять 18 роликів, розташованих у шаховому порядку, які зберігають кривизну рейки, далі рейка проходить кантувач 5 на підшву, рольгангом доставляється на стелаж 4, де рейки комплектуються й відвантажуються. Нагрівання й охолодження рейок у вигнутому стані дозволяють одержати після повного охолодження рейки довжиною 25 м відносно прямим (із жолобленням не більше 30 мм). Швидкість переміщення рейок 1,6-1,8 м/хв, продуктивність – 25 т/год. Установка обслуговується двома машинними генераторами 2 типу ВГВФ1500-2500, поруч з генераторами розміщені щити керування і в окремому приміщенні насосна установка 3.

Загартування кінців рейок із застосуванням індукційного нагрівання проводиться на довжині 75-100 мм. Нагрівання займає 35-45 с, спреїєрне охолодження водою або емульсією 30 с. Глибина загартованого шару – 6-10 мм. Твердість після гартування HB 350-400. При машинному генераторі ПВ-65-500 можна загартувати до 50 кінців рейок за годину.

Властивості термозміцнених рейок у першу чергу визначаються твердістю й структурою. Структура головки рейки поблизу поверхні катання повинна становити однорідний дрібнодисперсний сорбіт із пластинчастою формою карбідів. Одержувана твердість поверхні у всіх трьох видів термічної обробки рейок приблизно однакова; для основної маси рейок HB 341-388. Експлуатаційні випробування показують, що термічна обробка рейок підвищує їх ресурс стійкості приблизно в 1,5-1,7 раза, ніж неопрацьованих. Значний вплив на зниження стійкості рейок роблять їх ме-

талургійна якість і залишкові розтягувальні напруження, одержувані в головці.

Перевагою рейок, загартованих СВЧ, є створення на поверхні катання стискальних напружень і меншої стріли прогину (до 30 мм на довжині 25 м опуклістю на підшву, а при об'ємному гартуванні – до 130-200 мм із опуклістю на головці), тому рейки, загартовані в пружно-напруженому стані водоповітряною сумішшю з нагрівання СВЧ, як правило, не вимагають виправлення, а рейки, об'ємно-загартовані в маслі, піддаються після термічної обробки холодному виправленню на роликотправильних машинах.

Подальше підвищення властивостей матеріалу рейок (тимчасового опору 1500-1800 МПа) можливе легуванням його невеликою кількістю хрому й кремнію (у межах 0,7-0,9%), модифікуванням титаном або ванадієм.

Міцність рейок можна підвищити шляхом термомеханічної обробки, виробництва двошарових рейок, одержанням плакованого шару на головці рейок наплавленням.

Контроль якості обробки рейок зводиться до перевірки твердості в трьох точках по довжині рейки. Твердість поверхні головки рейки повинна бути в межах НВ 331-388, а на глибині 10-16 мм не менше НВ 300. Коливання твердості по довжині рейки не повинна перевищувати НВ30. Механічні властивості визначають за ГОСТ 1497, ударну в'язкість за ГОСТ 9454 на двох зразках із загартованого шару головної рейки кожної партії. Крихку міцність визначають випробуванням під копром при одноразовому ударі бабою масою 1 т, що падає з висоти 4,2 м (для рейок Р65). Також контролюються мікроструктура і залишкові напруження.

6.2. Термічна обробка коліс і бандажів

Бандажі випускають розмірами 900-1900 мм, а розміри суцільнокатаних коліс становлять 950, 1050 мм по ободу катання (ГОСТ 15150-69). Виготовляються колеса й бандажі прокаткою на спеціальних станах. Для виготовлення коліс вантажних вагонів застосовують вуглецеву сталь, що містить 0,55-0,65% С, 0,5-0,9% Мn, 0,20-0,42% Si, а для коліс пасажирських вагонів складу 0,44- 0,52% С, 0,8-1,2% Мn, 0,4-0,6% Si і 0,08-0,15% V, для бандажів вантажних поїздів складу 0,57-0,65 % С, 0,6-0,9 % Мn, 0,20-0,42 % Si, а для бандажів пасажирських поїздів складу 0,50-0,60 % С; 0,6-0,9 % Мn і 0,20- 0,42 % Si. Леговані сталі для виготовлення коліс і бандажів широкого застосування не дістали, кращі результати показала сталь 45ГСФ. Однак і вуглецева сталь після термічної обробки дозволяє одержати міцність $\sigma_b = 950-1100$ МПа при подовженні $\delta = 12-14\%$ і КСУ²⁰ більше 0,2 МДж/м² (ГОСТ 10791-81 і 398-81). При великому вмісті в сталі водню (більше 4 см³/100 г металу) доводиться вдаватися до протифлокеної обробки з витримкою після прокатки при температурі 650°C протягом не менше 4 год. Кращим агрегатом для протифлокеної обробки коліс є тунельна піч із підвісним конвеєром, на який навішуються колеса.

Залізничні колеса піддають аустенітизації при 850-870°C і прискореному охолодженню ободу колеса, оббризуванням водою із сопел (спреєрів) кільцеподібного пристрою при обертанні колеса в горизонтальному положенні або – переривчастому охолодженню колеса, що вертикально обертається на роликах у ванні з водою, що покриває тільки обід колеса. Структура обода колеса після переривчастого охолодження – високодисперсний пластинчастий перліт (сорбіт) із дрібним зерном, що забезпечує гарний опір зношування, й втомним руйнуванням.

При безперервному охолодженні оббризуванням на горизонтальних столах в ободі виникають значні залишкові напруження; іноді на поверхні катання обода утворюються продукти відпуску мартенситу із зернистими карбідами, що знижують зносостійкість і контактну міцність; утрудняється регулювання швидкості охолодження внутрішніх шарів обода.

Після нормалізації колеса з вуглецевої сталі з 0,5-0,7% С мають структуру грубого перліту із сіткою фериту, що знижує їх експлуатаційну стійкість. Об'ємне гартування коліс після охолодження в маслі викликає значне зміцнення диска у зв'язку з підвищеною швидкістю охолодження, тоді як диск повинен забезпечувати пластичність, пружність і в'язкість. Тому бажане його охолодження на повітрі, що досягається при переривчастому охолодженні обода з аобертанням у вертикальному положенні. Після гартування колеса піддають відпуску при 480- 520°C 2-4 год із охолодженням на повітрі.

З метою підвищення міцності диска й зниження розтягувальних напружень при вертикальному гартуванні обода колеса у воді рекомендується спреїєрне водоповітряне охолодження бічних поверхонь диска. Подальше поліпшення властивостей коліс зв'язують із легуванням, для вантажних вагонів з підвищеним навантаженням на вісь пропонується сталь 65Ф, а коліс швидкісних поїздів – 45ГСФ. Введення ванадію підвищує опір крихкому руйнуванню.

Термічна обробка бандажів полягає в загартуванні у воді з 840-860°C на троосто-сорбітну структуру з подальшим високим відпуском при 530-630°C.

Для гартування залізничних коліс потрібна індивідуальна видача в охолоджувальний пристрій. Тому кращим устаткуванням для нагрівання є карусельна піч. На заводах частіше застосовують карусельні печі з обертовим подом шириною 3 м, середнім діаметром 20 м, корисною

площею $\sim 190 \text{ м}^2$, продуктивністю до 20 т/год; к. к. д. печі – близько 30%. Піч опалюється 64 газовими пальниками, розміщеними в бічних стінках. Охолодження нагрітого колеса переривчасте в машині з вертикальним обертанням колеса. Відпуск при температурах $\sim 500^\circ\text{C}$ проводять у тунельних печах з підвісним конвеєром або в колодязях стопами.

Для одержання однакової структури обода бандажів для їх термічної обробки частіше застосовують вертикальні шахтні печі; бандажі нагрівають у стопах по 20- 25 шт. Після нагрівання під гартування ($840\text{--}860^\circ\text{C}$) стопа бандажів підхоплюється спеціальним пристосуванням і за допомогою крана переноситься в бак з водою, підігрітою до $40\text{--}50^\circ\text{C}$, і витримується в ньому 2-3 хв. Далі цю саму стопу бандажів піддають відпуску при $530\text{--}630^\circ\text{C}$ у вертикальних печах. Часто для відпуску використовують напівмуфельні вертикальні печі.

У ряді випадків гартування бандажів проводять у баці з водою відразу після прокатки з регульованим часом охолодження при обертанні бандажа на підвіску. Однак у цьому разі, у зв'язку з різною температурою кінця прокатки, виходять неоднорідні властивості й рекомендувати цей спосіб обробки в масовому виробництві не варто.

Для коліс і бандажів досліджували нагрівання обода СВЧ із подальшим спреєрним охолодженням, але він великого поширення не одержав і застосовується лише для коліс легконавантажених кранів. Контроль якості коліс зводиться до зовнішнього огляду, перевірки розмірів, зміни твердості, випробування механічних властивостей (у тому числі КСУ⁻⁶⁰ за ГОСТ 9454). Перевіряється припустима величина прогину диска на копрі вантажем масою 1 т, що падає з висоти 6 м.

На рис. 42 наведений план сучасного цеху для обробки залізничних коліс. Злитки зі складу надходять на розрізні

верстати 1 і ламаються на зливколомачах 2. Після огляду й ремонту заготівлі завантажують у карусельні печі 3, нагрівають до 1250°C і подають послідовно на прес 4 для осідання з метою видалення окалини; на прес 5 для осідання й розгону заготівлі, на прес 6 для формування конфігурації маточини й диска. Потім колесо подається на колесопрокатний стан 7, на якому розкочується по діаметрі й там же викочується поверхня катання. На пресі 8 проводяться вигин диска і прошивання отвору в маточині. Для запобігання появи флокенів колеса витримують при $550\text{--}600^{\circ}\text{C}$ протягом 3 год у печах 9 коридорного типу під час їх руху на гаках підвісного конвеєра, потім вони прохолоджуються в коридорі 10, розташованому на продовженні печі. Далі,

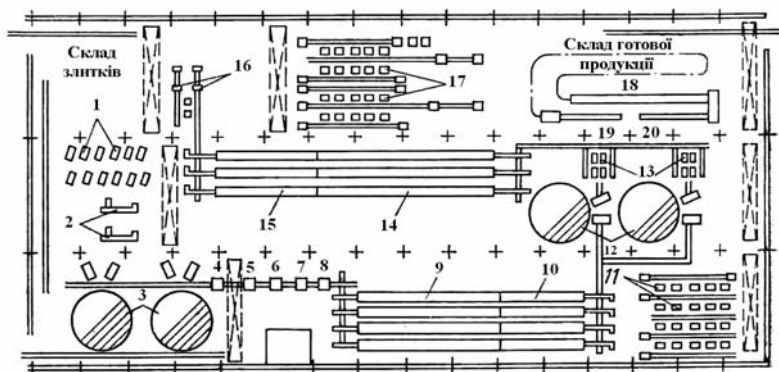


Рисунок 42 – План цеху для обробки залізничних коліс

колеса проходять чорнову механічну обробку на верстатах, нагріваються в карусельних печах 12 до 850°C , потім прохолоджуються у вертикальному положенні при обертанні в гартівних установках 13. Після загартування колеса піддають відпуску при $500\text{--}600^{\circ}\text{C}$ протягом 3 год у коридорних печах 14 з підвісним конвеєром, прохолоджують у камерах 15, піддають дробоструминній обробці в установках 16, після чого проводиться остаточна чистова механічна обро-

бка на станах 17. Після контролю й приймання колеса покривають антикорозійним складом у камерах 18-20, потім вони надходять на склад готової продукції.

На рис. 43 показаний план цеху для обробки бандажів. Спочатку злиток розрізається на верстатах і зливколомачем розламується на окремі заготовки. Заготовки підігрівають у методичних печах 1 до 860-950°C і передають підлоговою машиною 2 для остаточного нагрівання до 1100-1200°C у регенеративні печі 3. Нагріті заготовки підлоговою машиною доставляються до преса 4 для осідання й

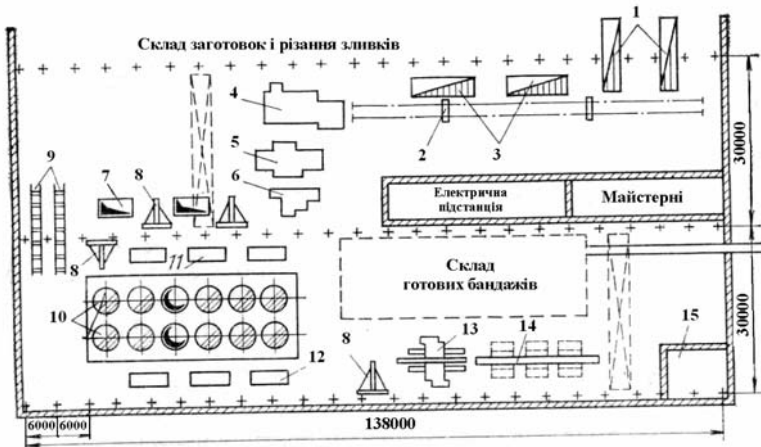


Рисунок 43 – План цеху для термічної обробки бандажів

прошивання отворів. Далі заготовка надходить для розкочування на чорновий прокатний стан 5 і для остаточного калібрування на чистовий стан 6. Після прокатки можливе проведення безпосереднього загартування у водяних баках 7 за допомогою консольних кранів 8. Бандажі, що проходять повну термічну обробку, прохолоджуються на повітрі й передаються рольгангом 9 у термічний проліт. Нагрівання бандажів для загартування й відпуску здійснюють у вертикальних шахтних печах 10 стопами по 20-25 шт. Набір

у стопи проводять у ямах 11, а охолодження після відпуску й розбирання стоп у ямах 12, що обслуговують консольними кранами 8. Після розбирання бандажі по одному подають консольним краном для виправлення до преса 13 потужністю 400 т і потім на рольганг 14 для огляду й вимірювання твердості. У приміщенні 15 установлений копер з лебідкою для випробування бандажів на удар.

Іноді замість методичних і регенеративних печей для нагрівання заготовок під пластичну деформацію застосовують карусельні печі.

6.3. Термічна обробка осей вагонів

Осі зі сталі (для вагонів) складу 0,40-0,48% С, 0,55-0,85% Мп, 0,15-0,35% Si (для локомотивів) складу 0,42-0,50% С, 0,6-0,9% Мп, 0,15-0,35% Si виготовляють із заготовок або злитків куванням у штампах або поперечно-гвинтовою прокаткою. Більшість осей піддають нормалізації, а осі відповідальних локомотивів – гартуванню з високим відпуском.

Механічні властивості після термічної обробки: осі вагонів $\sigma_b=580-630$ МПа, $\delta=21-19\%$, $KCU^{20}=0,5-0,35$ МДж/м² (ГОСТ 3281). Виправлення проводять у гарячому стані після нагрівання під нормалізацію або зі спеціального нагрівання до температури не вище 700°C. Кінець виправлення повинен закінчуватися при температурах не нижче 600°C. Після механічної обробки осі піддають поверхневому зміцненню накаткою роликami (шийок, підступінної і середньої частин).

У злитках, призначених для осей, не допускаються флокени, центральна пористість, загальна й усадочна ліквіація (не більше 3 балів), ліквіаційний квадрат (не більше 4 балів), підкіркові пухирі (не більше 2 балів) за ГОСТ 10243. Розміри волосовин обмежуються ГОСТ 3281.

Контроль на тріщини, пустоти, раковини здійснюють ультразвуком.

Нагрівання осей для нормалізації проводять у штовхальних печах або печах з похилим подом, а для нагрівання під гартування – у вертикальних шахтних печах.

6.4. Термічна обробка накладок

Рейкові накладки використовують для з'єднання рейок, що укладають. Виготовляють накладки із профільної смуги вуглецевої сталі складу 0,5-0,6% С, 0,6-1,0% Мп, 0,15-0,35% Si.

Термічна обробка полягає в гартуванні із самовідпуском. Гартування здійснюють відразу після гарячого пробивання отворів на пресі без спеціального підігріву з охолодженням у конвеєрному баці з маслом. Температура нагрівання для пресування – 880-900⁰С, а припустима температура, з якої проводиться гартування, – не нижче 800⁰С. Час перебування накладки в маслі ~2,5 хв. Одержувані властивості: $\sigma_b \geq 900$ Мпа, $\delta = 10\%$, твердість HB 235-380.

Нагрівання виконують у штовхальних методичних печах з робочим простором шириною 4 м, довжиною 8,3 м; заготовки укладають у три ряди по ширині печі.

7. ТЕРМІЧНІ ЦЕХИ Й ВІДДІЛЕННЯ НА МАШИНОБУДІВНИХ ЗАВОДАХ

На заводах важкого машинобудування термічній обробці піддають великі поковки й вироби, а також велике фасонне лиття, а на заводах масового виробництва середнього машинобудування – деталі автомобілів, тракторів, комбайнів, моторів, сільгоспмашин та ін.

7.1. Термічна обробка на заводах важкого машинобудування

7.1.1. Обробка великих поковок

Заводи важкого машинобудування роблять поковки для деталей турбо- і моторобудування, суднобудування й загального машинобудування масою до 150-300 т, діаметром до 2-3 м і довжиною до 20 м. До таких поковок належать роторні вали турбін і генераторів, турбінні диски, приводні й колінчасті вали, бандажі, суцільноковані барабани, циліндри, колони й траверси пресів, спеціальні труби, більші шестірні, зубчасті колеса й ін.

Марки сталей для поковок вибирають залежно від категорії міцності й діаметра (товщини) кування. Категорії міцності нормують по межі текучості. За ГОСТ 8479 встановлено 16 категорій міцності – від КП-175 до КП-785 МПа при ударній в'язкості від 0,6 до 0,4 МДж/м². З вуглецевих і низьколегованих сталей застосовують сталі 30, 40, 40Х, 50М2, 35ХМ, 40ХН, 38ХГН та ін., а для відповідальних деталей з категорії міцності КП-440 і вище використовують переважно хромонікельмолібденові й хромонікельмолібденові з добавкою ванадію: 45ХНМ, 34ХН1М, 35ХН1М2ФА, 40ХН2МА, 38ХН3МА, 38ХН3МФА, 38Х2Н2МА, 36Х2Н2МФА, 18Х2Н4МА.

Хромонікельмолібденові сталі мають велику прогартовуваність і високі механічні властивості, що збільшуються з підвищенням вмісту нікелю. Як замічник сталі 34ХН1МА широко застосовують для деталей екскаватора, бурової машини й деталей загального машинобудування, перерізом до 600 мм сталь 38ХГН (0,35-0,43% С; 0,8-1,1 % Мn; 0,5-0,8% Cr; 0,7-1,0% Ns).

У виробництві великих поковок велику роль відіграє технологія виливання злитків і кування, тому що із цих операцій починає формуватися якість кування. Чим більший зливков, тим сильніше при кристалізації розвиваються ліквацийні процеси й виходить крупніше зерно. В осьовій зоні зливка підвищується концентрація сірки, фосфору, вуглецю й легуючих елементів – особливо карбідотвірних. Дефекти зливка (зональна й дендритна ліквация, неметалічні включення, газонасиченість) успадковуються поковками, створюючи неоднорідність структури й властивостей по перерізу. Зі збільшенням ваги зливка й ступеня його легуваності зростає схильність поковок до виникнення флокенів, каменеподібного й шиферного зломів та інших дефектів. Тому до зливків для великих поковок ставляться вимоги щодо чистоти сталі стосовно вмісту шкідливих домішок ($S+P \leq 0,05\%$) і неметалічних включень; створення умов належної кристалізації, що забезпечують меншу неоднорідність зливка й підвищення якості внутрішніх зон; для цього беруть відношення висоти зливка до діаметра $H/D = 1,6-2,0$. При висоті більше $2D$ внутрішні зони виявляються недостатньо щільними, виходить різке розмежування зон кристалізації. Найкращі результати досягаються при передачі зливків для подальшої обробки (кування або відпалу) у гарячому стані з температурою не нижче 500-600°C.

Розроблено способи позапічної обробки сталі, що поліпшують будову зливків і значно скорочують вміст газів і

неметалічних включень – це електрошлаковий, вакуумно-дуговий і плазмовий переплави, вакуумування, обробка синтетичними шлаками, продувка інертними газами, введення РЗЕ та ін.

Зазначеними заходами не можна повністю запобігти неоднорідності кристалізації великих зливків. Тому підвищення ступеня однорідності макроструктури зливка шляхом застосування належних режимів кування (ступеня уковування й температури кування) варто передбачати на таких етапах технології. Для великих зливків ступінь уковування, що виражається відношенням площ поперечного зливка й кування на кінцевих переходах повинна бути не менше 2-4. Для відповідальних поковок, з метою руйнування дендритної кристалізації, підвищення однорідності макроструктури й збільшення механічних властивостей на поперечних зразках застосовують кування з попереднім осаджуванням до перерізу 2,5-3,0 раза більшого перерізу зливка й в 3-4 рази більшого перерізу кування. Осадку зливка проводять без зсуву серцевини. Температуру кінця кування беруть поблизу критичної точки Ar_3 .

Одним із поширених дефектів у великих поковках легованих сталей є флокени.

Термічна обробка поковок передбачає попередню обробку у вигляді заготовки й остаточну – після механічної обробки. Основною метою попередньої термічної обробки великих поковок є зменшення флокеночутливості й підготовка структури для подальшої термічної обробки. Протифлокенна термічна обробка проводиться відразу після кування. Результати термічної обробки поковок залежать у першу чергу від складу обраної сталі й розмірів поковки. Аналіз режимів термічної обробки повинен виходити із природи сталі й насамперед з аналізу кривих кінетики розпаду переохолодженого аустеніту на основі ізотермічних і термокінетичних діаграм. Використовуючи особливості

кінетики розпаду переохолодженого аустеніту, можна намітити два види протифлокенної обробки.

Перший – для сталей, що мають малостійкий перлітний ступінь (рис. 44 а), коли ізотермічний відпал проводять відразу після кування з витримкою при температурах 600-650°C, залежно від марки сталі. Другий – для сталей, у яких перлітний ступінь розпаду досить стійкий або його практично немає (наприклад, у високолегованих хромонікельмолібденових сталях (рис. 44 б). При цьому розпад переохолодженого аустеніту проводять за другим ступенем з одержанням структури бейніту (250-300°C); далі поковки піддають високому відпуску при 640- 660°C. У виробничих умовах у кожній групі виділяються ще дві підгрупи з меншим і більшим ступенем легованості. Таким чином, одержуємо чотири групи. Перша й друга групи з розпадом

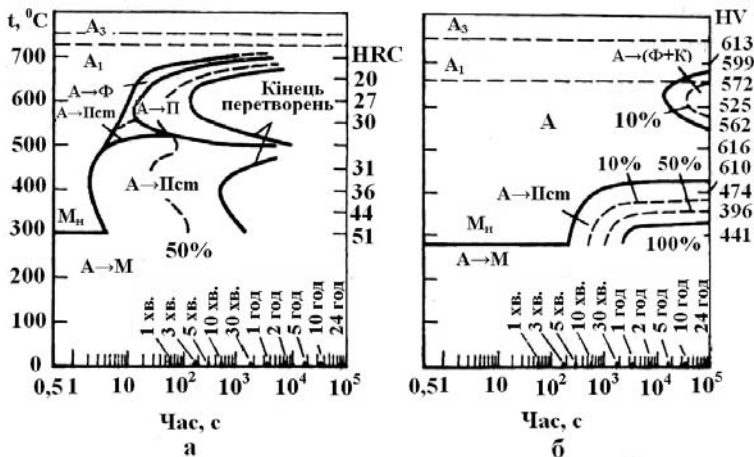


Рисунок 44 – Криві розпаду переохолодженого аустеніту для сталі 40XH (а) і 35X2H4MA (б)

переохолодженого аустеніту за перлітним ступенем, а третя й четверта – з розпадом переохолодженого аустеніту за бейнітним ступенем.

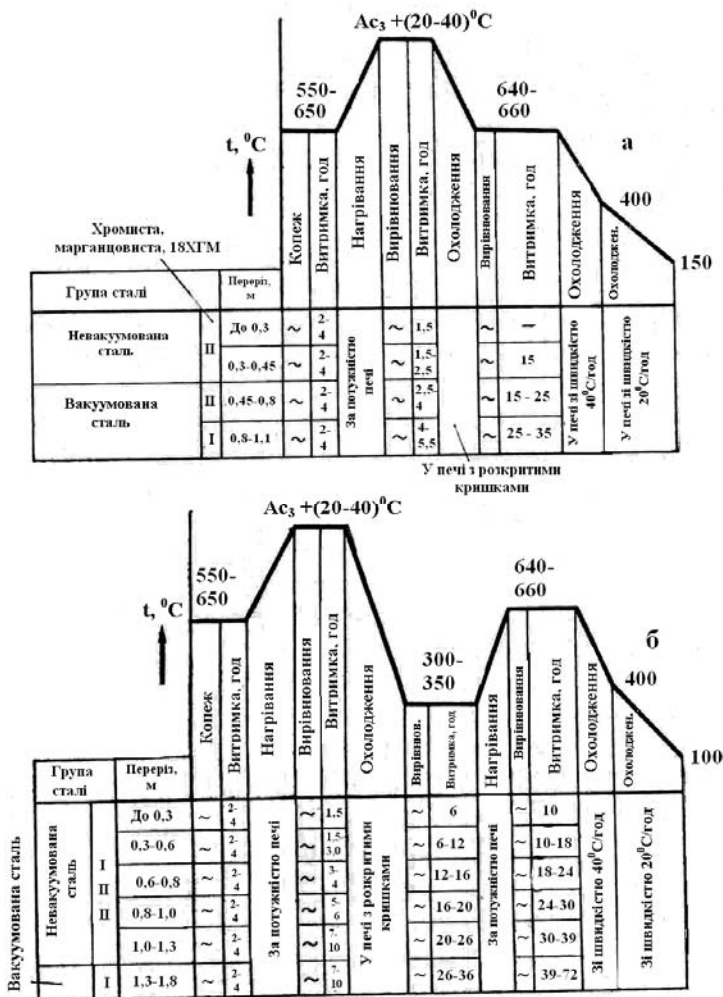


Рисунок 45 – Графіки протифлоєнної обробки деталей зі сталей I (а) і II (б) груп

Великі поковки часто піддають перекристалізаційному відпалу при температурах $Ac_3 + (30-50)^\circ C$, а потім проводиться розпад переохолодженого аустеніту за тим або іншим ступенем залежно від марки сталі. На рис. 45 наведе-

ні режими ізотермічного відпалу для сталей I і II груп. Великі поковки сталей II групи після перекристалізаційного відпалу іноді переохолоджують ще до 300-350°C. На рис. 46 подані режими противофлокенної обробки для поковок III й IV груп. Охолодження поковок проводять при 300-320°C, а розпад переохолодженого аустеніту, після перекристалізації, при 200-250°C. Для високолегованих сталей розпад аустеніту за другим ступенем й подальший відпуск проводять два-три рази. Для зниження напружень і запобігання утворенню флокенів після ізотермічного відпалу або високого відпуску охолодження до 400°C здійснюють уповільнено зі швидкістю 30-40°C/год і далі до 100-150°C зі швидкістю 15-20°C/год.

При відпалі в печах з висувним подом для скорочення часу охолодження поковок підставки під ними роблять порожніми для продувки стисненим повітрям під час охолодження.

Як остаточна термічна обробка великих поковок з вуглецевих і низьколегованих сталей застосовується нормалізація з високим відпуском, а з легованих сталей – гартування в маслі з високим відпуском. Для зварних поковок (наприклад, роторів) після термічної обробки й автоматичного зварювання здійснюють високий відпуск. Значення механічних властивостей поковок після термічної обробки визначаються їх структурою, отриманою у результаті охолодження, яка залежить від прогартуваності сталі, тобто стійкості переохолодженого аустеніту у зв'язку зі ступенем легуваності; від швидкості охолодження, певним охолоджувальним середовищем і розмірами поковки; від температури, до якої охолоджуються поковки, що визначається часом витримки в гартівному середовищі.

Для зменшення напруження й усунення появи гартівних тріщин охолодження в маслі проводять до моменту досягнення поверхнею поковки температури 200-300°C.

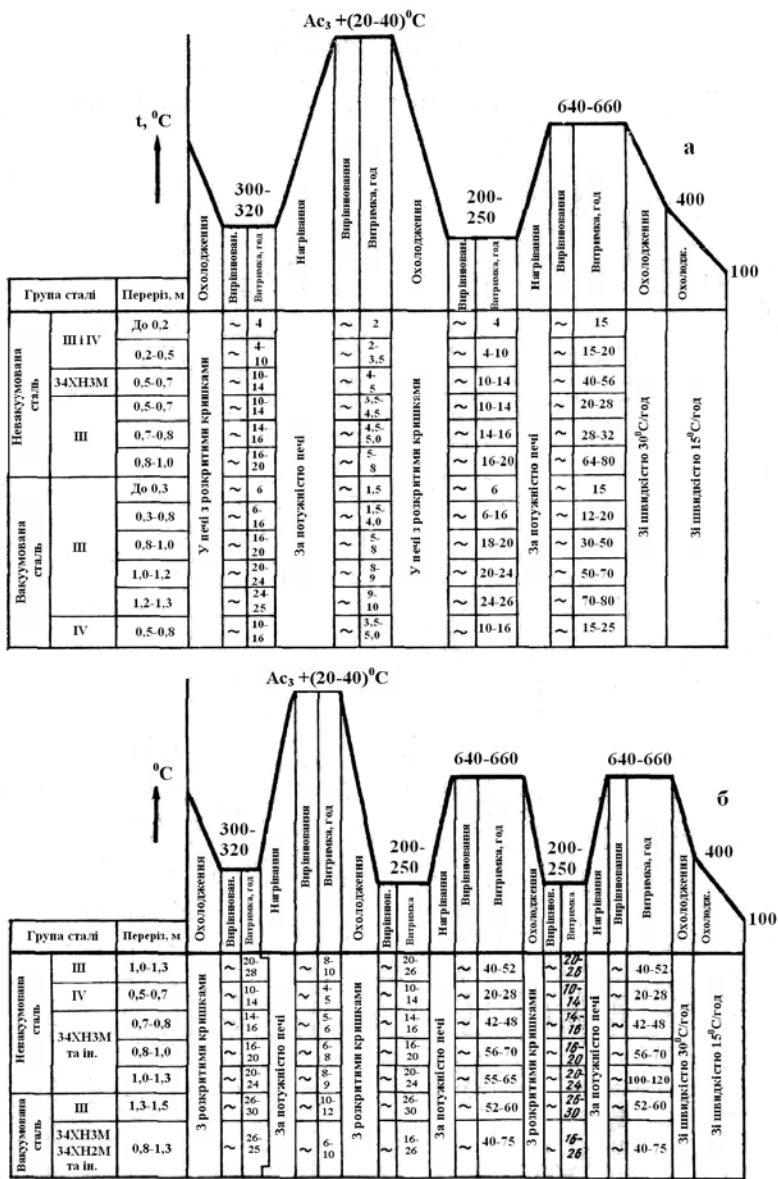


Рисунок 46 – Графік протифлокенної обробки деталей зі сталей ІІІ (а) і ІV (б) груп

Температура поверхні поковки при охолодженні в гартівному середовищі повинна контролюватися поверхневою термопарою на мінімальному і максимальному перетинах. Температура поверхні на мінімальному перетині має бути не менше 150-180°C, а на максимальному – не більше 300°C. При безперервному охолоджуванні температура центральних шарів великих поковок значно відстає від температури поверхневих шарів. Тому для формування структури великих поковок велике значення має час їх витримки в охолоджувальному середовищі.

Орієнтовні дані тривалості охолодження центра поковок у різних середовищах після аустенізації при 880°C до температур 700-200°C наведені в табл. 1.

За механічними властивостями поковки, що поставляються, після остаточної термічної обробки, поділяють на п'ять груп. Для всіх груп (окрім першої) визначають твердість, а для четвертої і п'ятої груп проводять випробування на розтягування й ударну в'язкість. Необхідні властивості залежно від категорії міцності й діаметра заготовки вказані в ГОСТ 8479. Зразки для механічних випробувань вирізають на глибині 1/3 радіуса, а для дуже відповідальних поковок – з поверхні, на глибині 1/3 радіуса і з центра. Для цього на деталях передбачають відповідні припуски з однієї або двох боків.

Деталі, що отримали при термічній обробці викривлення, які виходять за межі допусків, піддають правці з подальшим відпуском для зняття напруження. Відпуск для зняття напружень після механічної обробки проходять також колінчасті вали, диски турбін великого діаметра, довгі вали. Температура нагрівання при відпуску для зняття напруження вибирається на 20-30°C нижче за температуру відпуску після гартування. Витримка при відпуску – 6-10 год. Відповідальні вироби з високолегованих сталей піддають подвійному гартуванню. Перше загартування

проводять при температурах нагрівання вище $A_{c3}+(80-100)^{\circ}C$, а другу – при температурі $A_{c3}+(30-50)^{\circ}C$ з охолодженням у маслі до $250-300^{\circ}C$ з подальшим високим відпуском при $600-640^{\circ}C$.

Таблиця 1 – Тривалість охолодження центра поковок у різних середовищах

Діаметр, мм	Тривалість охолодження до температур $880^{\circ}C$, хв					
	700	600	500	400	300	200
Охолодження у воді						
200	4	6	8	10	12	16
400	14	20	27	34	44	55
600	30	40	45	52	60	75
Охолодження в маслі						
200	6	8	12	16	20	26
400	20	30	40	65	75	120
600	40	60	90	130	160	-
700	45	80	100	180	220	-
900	80	110	140	220	260	-
1000	90	130	170	240	290	-
1200	100	150	200	250	310	360
Охолодження на повітрі						
200	20	40	65	100	160	-
300	30	60	90	150	200	300
500	60	90	210	260	420	-
600	120	210	270	360	480	720
800	130	240	300	360	540	-
900	140	250	360	480	-	-
100	170	240	360	600	960	-

Деталі, призначені на посадку в піч для термічної обробки, підбирають з урахуванням марки сталі й перерізу деталі. У водній садці не повинно бути деталей з різницею за діаметром більше 300 мм. Режим призначається за вели-

ким перерізом. Температура відпуску вибирається залежно від марки сталі й технічних вимог до деталі (табл. 2).

Останнім часом замість охолодження в баках з маслом або водою застосовують струменеве (спреєрне) охолодження водою або водоповітряною сумішшю з регульованим процесом теплообміну. У Японії, ФРН, Франції є установки, що дозволяють охолоджувати вироби масою до 250 т діаметром до 3 м і завдовжки до 20 м. При цьому забезпечують високі механічні властивості, невелике залишкове напруження і низькі значення критичної температури крихкості. В установці виконують обертання охолоджуваних виробів з частотою $0,05 \text{ с}^{-1}$. Воду в спреєр подають під тиском 200, а повітря – 2 кПа. Розміщується установка в кесоні діаметром 15-20 м.

Таблиця 2 – Найбільш уживані температури відпуску для деяких марок сталі (у дужках – твердість HB)

Марка сталі	Температура, $^{\circ}\text{C}$ при заданому значенні текучості, МПа						
	300-360 (170-217)	350-400 (179-228)	400-450 (187-241)	500-550 (207-255)	600-650 (228-260)	750-800 (269-321)	800-850 (293-331)
40	630-650	620-650	600-630	-	-	-	-
40X	-	630-650	610-640	580-620	-	-	-
35XMA	-	-	610-660	590-640	580-620	-	-
34XH1MA	-	-	-	610-650	590-640	570-590	-
38XH3MA	-	-	-	630-650	600-640	570-600	550-570
38XH3MФА	-	-	-	-	-	580-600	550-580

Найкраще поєднання міцності й пластичності має структура однорідного сорбіту, що отримується при відпуску мартенситу. Продукти розпаду нижньої частини бейнітного рівня після високого відпуску мало відрізняються

від структури відпущеного мартенситу, тоді як розпад аустеніту у верхній частині бейнітного рівня викликає небезпеку погіршення механічних властивостей і виду зламу. Необхідно запобігати утворенню продуктів перетворення перлітного рівня, досягаючи отримання при гартуванні мартенситу або продуктів розпаду нижньої частини бейнітного рівня. Відповідно до цього поковки з легованих сталей при гартуванні потрібно прискорено охолоджувати до температур 250-300°C. Для зниження напружень у поковках з високолегованих сталей доцільно перед охолодженням для гартування проводити підстужування до температур 700-750°C на повітрі або в печі. Для підвищення прогартуваності й одержання структури мартенситу і нижнього бейніту поковки простої форми піддають гартуванню через воду в масло, при цьому час витримки у воді має бути заданий з розрахунком охолодження центральних шарів металу до температури 300-350°C. Для визначення тривалості витримки у воді можна рекомендувати використовувати наведені раніше дані. Великі поковки з вуглецевих і низьколегованих сталей 40, 40X, 50Г2, 40ХН, 35ХМА не можуть бути отримані без структури перліту. Тому їх частіше піддають нормалізації, а для одержання більш дисперсної структури перліту створюють прискорене охолодження поковок до 400-450°C, застосовуючи повітряне або водоповітряне охолодження.

Покówki великих перерізів із високолегованих сталей типу 18Х2Н4МА, 35ХН4МА та ін. через велику кількість аустеніту в перлітному рівні набувають високих механічних властивостей після нормалізації, при цьому різко знижується напруження і зменшується небезпека утворення тріщин.

Температури нагрівання під гартування для вуглецевих сталей 40, 45, 50 беруть у межах 810-840°C, а для легованих сталей 40X, 35ХМА, 34ХН1МА, 40ХН2МА, 38ХН3МА, 30Х2Н4МА та ін. в межах 850-870°C. На

рис. 47 наведений графік остаточної термічної обробки поковок з легованих сталей типу 38ХНЗМА.

Бандажі (капи) з намагніченої аустенітної сталі 60ХЗГ8Н8В або 50Х4Г18Ф після попередньої механічної обробки проходять гарт з 1100-1150°C у проточній воді, старіння при 600-650°C з повільним охолодженням для зменшення напруження і холодного наклепу поверхні.

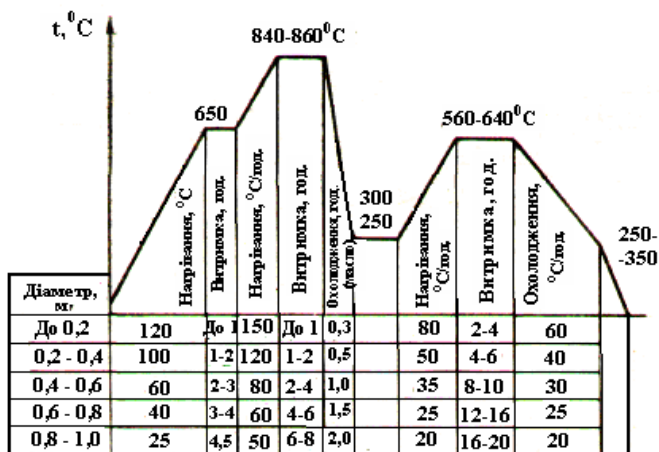


Рисунок 47 – Графік остаточної термічної обробки поковок з легованих сталей типу 38ХНЗМА

Велике значення у підвищенні якості деталей важкого машинобудування (шестірень, зубчастих коліс, штоків, шліцевих валів, валків холодного плющення та ін.) має застосування поверхневого гартування струмами високої частоти (СВЧ). Зміцнення поверхні виробів за допомогою гартування з нагріванням СВЧ дає значне підвищення експлуатаційної стійкості деталей при одночасному спрощенні термічної обробки і різкому скороченні часу операції. Особливо значний ефект від застосування СВЧ у виробництві важких деталей отримується при заміні об'ємного гартування або хіміко-термічної обробки.

Переведення шліцьового вала з цементації на гартування шліц СВЧ дав зменшення часу операції в 20 разів і скорочення витрати електричної енергії в 8 разів. Заміна процесу цементації гартуванням з нагріванням СВЧ шестірень великого модуля знизила час операції в 10 разів і витрати електроенергії в 5 разів. Використання замість об'ємного гартування ряду шестірень – поверхневого гартування з нагріванням СВЧ методом «зуб за зубом» дозволило замінити сталь 34ХН1МА на вуглецеву сталь 45. Застосування загартування СВЧ зубів значно підвищило стійкість зірочок. Дуже великий ефект дає застосування нагрівання СВЧ або струмами низької частоти при остаточній термічній обробці валків холодного прокатування.

При одиничному виробництві верстати для нагрівання СВЧ оснащують універсальними пристосуваннями, які допускають легку перебудову з однієї деталі на іншу. З метою підвищення використання генератора необхідна організація роботи на двох-трьох постах. На одному посту проводиться сам процес гартування, у цей час на інших постах йде налаштування і підготовка деталей до гартування. На заводі важкого машинобудування краще зосередити обробку СВЧ у спеціальному відділенні, розміщеному поблизу основних вузлів механіко-складальних цехів.

При невеликому обсязі виробництва поверхневе загартування зубів шестірень і коліс з модулем вище 12 мм доцільно вести із застосуванням газополуменового гартування. Це зменшує капітальні витрати і вартість термічної обробки.

У країнах далекого зарубіжжя (Німеччина, Англія) для поверхневого ущільнення великогабаритних шестірень застосовують установки для іонного азотування. Після ретельного очищення поверхні шестірні стопкою завантажують у контейнер. Робочий простір вакуумують до залишкового тиску 1 Па. Потім у камеру під тиском 500-1000 Па подається дисоційований аміак. Між деталями, які служать

катодом і анодом, прикладають різницю потенціалів 400 В, збуджується тліючий розряд, деталі нагріваються до 530°C і піддаються витримці протягом 30 год. Отримувана глибина азотованого шару – 0,5-0,6 мм, твердість поверхні – HRC 62-65. Німеччина поставляє установки для іонного азотування деталей діаметром до 1 і завдовжки до 3 м.

Для попередньої термічної обробки великих поковок як основне устаткування застосовують печі з висувним склепінням і ямні зі знімним або зсувним склепінням. Для нагрівання під гартування довгих виробів, при нагріванні та гартуванні яких можлива поводка, використовують шахтні й вертикальні печі. Якщо ж вироби масивні й дозволяють загартовувати їх горизонтально, то нагрівання необхідно проводити в камерній печі з висувним склепінням, оскільки ці печі мають вищу продуктивність.

Дільниці для термічної обробки великих поковок розміщуються при ковальсько-пресових цехах, або при обдирочних цехах на продовженні їх прольотів, або в боковій прибудові паралельно основному цеху. На рис. 48 наведений план термічного відділення, призначеного для проміжної термічної обробки великих пресованих поковок і штампувань. Характер виробництва по пресових поковках одиничний, а по штампуваннях – серійний. Основну групу поковок становлять вали, диски, бандажі, шестірні та ін. Максимальний розмір поковок для валів – діаметр 3 м, довжина 35 м, для бандажів – діаметр до 6,5 м, маса деталей до 250 т.

Показовий об'єм термічної обробки: ізотермічне охолодження після кування – 20000 т, ізотермічне відпалювання – 60000 т, високий відпуск – 60000 т, нормалізація – 40000 т, гартування – 20000 т, усього – 200000 т/рік.

Відділення розташоване на продовженні пресового цеху і займає три прольоти. Великі поковки видаються крапом у 30-й проліт I, а середні й дрібні поковки і штампування – в 24-й проліт III, камерні печі 2 зосереджені в се-

редньому 24-му прольоті з видачею висувних склепін під крани робочих прольотів. Для поковок, що випускаються серійно, передбачений штовхальний гартівно-відпускний агрегат 5 і травильне відділення 6. Після термічної обробки поковки проходять контроль твердості на плитах 1, відрізки зразків, дробоочищення в камерах 3 і заварювання дефектів електрозварюванням у кабінах 4. Як склад готової продукції використовується крига естакада.

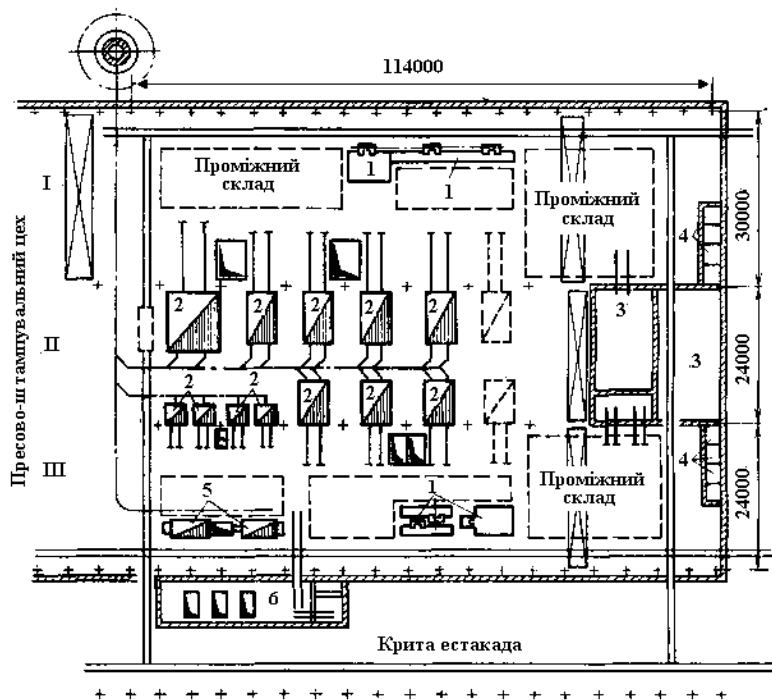


Рисунок 48 – План відділення для термічної обробки великих поковок при ковальсько-пресовому цеху

Планування термічного відділення в блоці з обдирним цехом наведено на рис. 49. Відділення розраховане на остаточну термічну обробку (нормалізацію, загартування і відпуск) механічно оброблених поковок виробництвом до

100000 т/год. Характер виробництва одиничний і дрібно-серійний, 60 % тоннажу становлять вали, 30 % – диски і бандажі й 10 % - виливки. Максимальні розміри валів – діаметр 3 м, довжина – 30 м; бандажів – діаметр 6 м, маса деталей до 200 т.

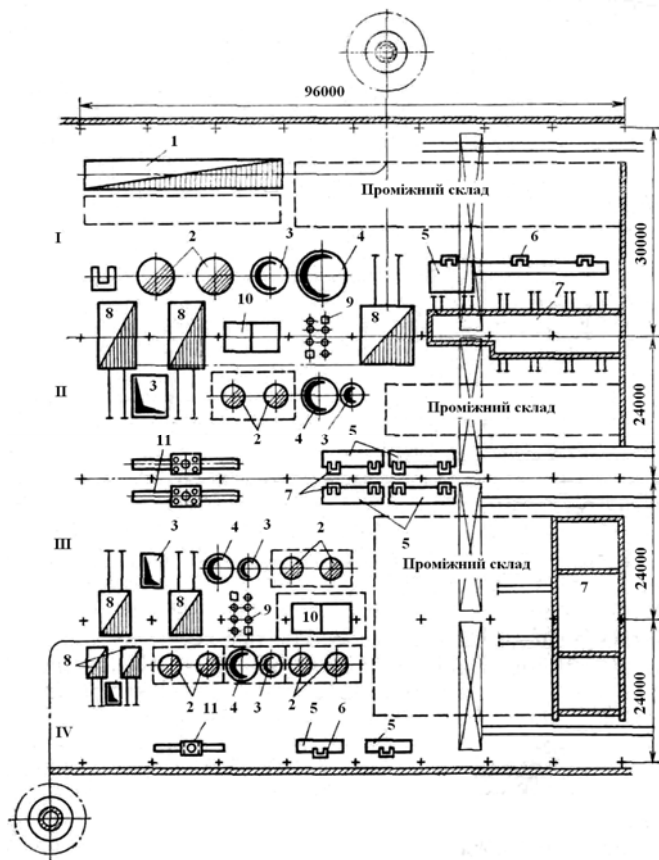


Рисунок 49 – План відділення для термічної обробки великих поковок при обдирному цеху

Відділення розміщується в чотирьох прольотах на продовження обдирного цеху. Проліт I (шириною 30 м) передбачений для термічної обробки найбільших деталей, а про-

літ IV для найдрібніших деталей відповідно до того, як відбувається обробка в обдирному цеху.

Для обробки валів запроектовані вертикальні печі 2 завглибшки 35, 12, 9 і 6 м, забезпечені водяними 3 масляними 4 гартівними баками. Нагрівання інших деталей проводиться в камерних печах 8 з висувними склепіннями розмірами 8x12, 4x10, 3x8, 2x4 м. Печі розміщуються групами. Для обробки великих поковок передбачена ямна піч 1 розмірами 35x4 м зі знімним склепінням, що зрушується до стінки.

Після термічної обробки деталі проходять контроль твердості на плитах 5, відрізку зразків за допомогою пил 6 і дробоструминне очищення в камерах 7. Тонкі вали проходять правку на масляних гідравлічних пресах 11.

Охолодження масла централізоване у маслоохолоджувальних установках 9. Температурний контроль зосереджений на пірометричних пунктах 10.

7.1.2. Обробка великих виливків

Сталеві виливки виготовляють з вуглецевих і легованих сталей (ГОСТ 977) і з високолегованих сталей зі спеціальними властивостями (ГОСТ 2176). Залежно від призначення і вимог, що ставляться, виливки розділяють на три групи (загального, відповідального і особливо відповідального призначення). Для всіх груп визначається хімічний склад, для 2-ї групи проводиться ще випробування на розтягування, а для 3-ї, окрім розтягнення, визначається ще й ударна в'язкість.

Великі литі деталі – корпуси турбін і редукторів, циліндри, колони, обойми, бандажі, деталі арматури виготовляють із сталей 25Л, 30Л, 30ГСЛ, 30ХНМЛ, 15Х1М1ФЛ, 15ХЗМФЛ та ін.

Термічна обробка великих виливків зводиться до нормалізації і високого відпуску. Для сталей типу 25Л, 30Л, 30ГСЛ нормалізацію проводять при температурах 880-

900°C і відпуск при 600-630°C. Для сталей 30ХНМЛ, 15Х1М1ФА, 15Х3МФА, що працюють при температурах до 575°C, нормалізацію проводять при 950-980°C, а відпуск при 700-750°C. Відповідальні виливки піддають попередній гомогенізації з нагріванням до 1000-1050°C. Для литих деталей складної форми охолодження при нормалізації до кімнатних температур може викликати значне напруження й утворення тріщин. Тому доцільно їх охолодження на повітрі проводити до 450-500°C, а після завершення перекристалізації охолоджувати сповільнено.

Для деталей гідротурбін, що працюють в умовах гідроабразивного зносу (лопати, робочі колеса), використовують корозійно- і кавітаційностійкі сталі зі вмістом 12 % Cr і вище типу 20Х13Л, 10Х14НДЛ, 10Х12НДЛ, 00Х12Н3ДЛ, 14Х18Н4Г4Л, 10Х18Н3ГЗД2Л. Термічна обробка виливків полягає в нагріванні їх до 1050-1100°C з охолодженням на повітрі (рідше у воді) і відпуску при 700-800°C залежно від марки сталі. Великі зварні й суцільнолиті робочі колеса зі сталі 00Х12Н3ДЛ піддають подвійній нормалізації – першій з нагріванням при 950°C і другій – при 800°C з відпуском при 600-620°C.

Деталі, що працюють в умовах ударного зносу (корпуси млинів, щоки дробарок, черпаки драг, частини ковшів екскаваторів та ін.), виготовляють з аустенітних сталей 110Г13Л, 120Г13Х2БЛ. Ці сталі в результаті дії ударних навантажень у поверхневих шарах виливків сильно наклепуються, що сприяє підвищенню їх експлуатаційної стійкості. Термічна обробка їх полягає в гартуванні з 1050-1100°C у воді. Сталі дуже погано обробляються різальним інструментом, тому всі отвори роблять у литому стані. У разі потреби механічної обробки виливків застосовують сталь 70ХЛ.

Основним устаткуванням для нагрівання при термічній обробці служать печі з висувним подом, а з додаткового

устаткування застосовуються дробоструминні камери для очищення від окалини, зварні апарати для заварки раковин, що допускаються технічними умовами, і наждачні верстати для зачистки дефектів і площадок для випробування твердості.

7.2. Термічна обробка на машинобудівних заводах

7.2.1. Термічна обробка і сплави, які застосовуються на заводах масового виробництва

Термічна обробка деталей на заводах масового виробництва проводиться в декілька прийомів.

Термічна обробка заготовок (відпал, нормалізація, а для легованих сталей гартування з високим відпуском) має на меті понизити твердість для поліпшення оброблюваності й підготовки структури матеріалу заготовки для остаточної термічної обробки.

Низьковуглецеві сталі піддають нормалізації, а леговані – перекристалізаційному відпалу. Для сталей із стійким аустенітом, що мають перлітову ступінь розпаду, доцільно використовувати ізотермічний відпал.

Прокатані або ковані заготовки зі сталі, які після охолодження на повітрі мають мартенситну або бейнітну структуру, піддають високому відпуску на сорбіт.

Нижче перелічені види найбільш поширеної обробки, якій піддають готові деталі.

Хіміко-термічна (цементация, нітроцементация й азотування та ін.); поверхневе гартування з нагріванням СВЧ, у електролітах, променями лазера або електронної гармати, газокисневим полум'ям та ін.; об'ємне гартування з високим відпуском (поліпшення).

Хіміко-термічній обробці на машинобудівних заводах масового виробництва піддають до 60% усіх термічно оброблюваних деталей. Цементации й нітроцементации підда-

ють деталі з низьковуглецевих сталей з тим, аби після термічної обробки отримати високу поверхневу твердість при в'язкій серцевині.

Сталі за способом термічної обробки можна об'єднати в три групи: перша група – вуглецеві й низьколеговані (15, 20, 20Х, 20ХФ, 20ХМ, 18ХГ, 20ХН та ін.); друга – сталі з титаном типу ХГТ (18ХГТ, 25ХГТ, 30ХГТ, 20ХНТ, 20ХГНТР та ін.); третя – високолеговані хромонікелеві сталі, що застосовуються для дуже відповідальних деталей (12Х2Н4А, 20Х2Н4А, 18Х2Н4ВА, 18Х2Н4МА та ін.). Як замітники високолегованих хромонікелевих цементуючих сталей використовують сталі зі зниженим вмістом нікелю (за рахунок введення марганцю й елементів, що утворюють стійкі карбіди і нітрид, - переважно титану й алюмінію за наявності азоту), а також молібдену і бору як таких, що збільшують прогартуваність. Це сталі 15ХГНМ, 15ХГН2Т, 25ХГНМТ, 25ХГНМАЮ та ін. З малонікелевих сталей найбільшу прогартуваність при дрібному зерні має сталь 25ХГНМАЮ. Утворення в цій сталі важкорозчинного алюмінієвого нітриду і карбонітридів суттєво гальмує зростання зерна аустеніту і в ряді випадків дозволяє підвищити температуру цементації.

Необхідно зазначити, що для отримання дрібних часток карбідів і нітриду, а отже і дрібного зерна аустеніту при повторному нагріванні велике значення має швидке охолодження від температур кування (штампування) в області аустеніту. У разі зменшення зерна аустеніту з бала 2-3 до 12-14 витривалість цементованих деталей підвищується в два рази, збільшується контактна щільність і зменшується деформація при обробці.

Як науглецьовувальне середовище при цементації застосовують природний газ, розбавлений ендогазом до концентрації 3-5 % CH_4 у газі. При значній концентрації вуглецю в газовій фазі він не встигає дифундувати углиб ме-

талу і відкладається на поверхні деталей у вигляді сажі й коксової плівки, що утрудняють процес цементації. Застосування температур 930-950°C (вище точки A_{c3}) пояснюється необхідністю наявності аустеніту, розчинювального при 950°C до 1,3 % С. Більш високі температури збільшують швидкість дифузії вуглецю, але в більшості сталей при значній витримці дають зростання зерна аустеніту, а також зменшують термін експлуатації агрегатів цементацій. Бажано застосовувати сталі природно дрібнозернисті. Час витримки при даній глибині шару 0,8-1,2 мм практично становить 6-8 год.

Вміст вуглецю у поверхневому шарі, що забезпечує максимальний опір крихкому руйнуванню, становить приблизно 0,8-0,9 % С. Не можна допускати в шарі утворення карбідної сітки, великих карбідів і виділення фериту. Цементитну сітку видаляють, застосовуючи після цементації нормалізацію з нагріванням вище точки A_{cm} .

Для отримання необхідної твердості поверхні не нижче HRC 58 деталей після цементації піддають гартуванню з низьким відпуском, при цьому отримують структуру відпуску дрібногочатого мартенситу. Оптимальна твердість серцевини HRC 35-40 при структурі низьковуглецевого мартенситу або нижнього бейніту.

Сталі з титаном типу ХГТ (18ХГТ, 25ХГТ, 30ХГТ, 20ХНТ, 20ХГНТР та ін.) можна гартувати відразу після цементаційного нагрівання, застосовуючи підстуджування в печі (при цементації з 950 до 860°C, а при нітроцементації - з 860 до 820°C). При підстуджуванні виділяються карбіди або карбонітриди. Це знижує вміст вуглецю і легуючих елементів в аустеніті. Мартенситна точка підвищується і кількість залишкового аустеніту в загартованій сталі знижується; після гартування виходить нормальна твердість поверхні (HRC 60 і вище).

Для зменшення жолоблення проводять ступінчасте загартування у гарячому маслі при температурі $\sim 180^{\circ}\text{C}$. Після гартування деталі піддають низькому відпуску ($180\text{--}200^{\circ}\text{C}$, 1-2 год).

Вуглецеві й низьколеговані сталі (сталі першої групи) при гартуванні з цементаційного нагрівання ($t = 950^{\circ}\text{C}$) дають велику кількість залишкового аустеніту і незадовільну твердість. Тому після цементації необхідно застосовувати охолодження на повітрі або в коридорі з контрольованою атмосферою і подальше гартування зі спеціального нагрівання. Сталь 20ХН3А після цементації також можна охолоджувати на повітрі або в контрольованій атмосфері.

Високонікелеві сталі (третья група) після гартування з нормальних температур зберігають велику кількість залишкового аустеніту і дають малу твердість. Тому для них після цементації й охолодження на повітрі або в контрольованій атмосфері застосовують високий відпуск при $640\text{--}660^{\circ}\text{C}$, 4-6 год, при якому йде коагуляція карбідів. Тоді після гартування з $780\text{--}800^{\circ}\text{C}$ у розчин аустеніту переходить лише частина карбідів, зменшується вміст вуглецю в аустеніті й ступінь його легуваності, кількість залишкового аустеніту різко зменшується ($\text{HRC} \geq 58$). Вміст залишкового аустеніту можна зменшити обробкою холодом відразу після гартування деталей. Проте застосування дуже низьких температур при обробці холодом може викликати утворення тріщин. Тому деталі потрібно охолоджувати до температур поблизу точки умовного кінця мартенситного перетворення (для більшості сталей не нижче -80°C). Необхідно враховувати, що обробка холодом дещо знижує межу міцності, зменшує зносостійкість і в'язкість порівняно з високим відпуском. Високий відпуск застосовують і в тих випадках, коли після цементації передбачена механічна обробка.

Після остаточного гартування у всіх випадках проводять низький відпуск при 180-200°C. Для ряду малонікелевих сталей з марганцем, титаном, алюмінієм з азотом, бором можливе безпосереднє гартування з цементації нагрівання після підстуджування. Для сталей з малостійким аустенітом у перлітовому рівні після цементації проводять підстуджування з розпадом аустеніту в перлітовому ступені. Потім деталі підігрівають до нормальних температур (800-820°C) і проводять гартування в маслі. Значне подрібнення зерна цементованного шару виходить у разі застосування поверхневого індукційного гартування.

Для зменшення тривалості процесу застосовують двоступеневу цементацію. На початку процесу підтримують максимально можливий вуглецевий потенціал атмосфери (активний період), а потім його знижують до 0,7-0,9 % (дифузійний період). Значення вуглецевого потенціалу в активний період визначається складом цементованої сталі, але воно не має бути вище 1,3-1,4 %, щоб не допустити утворення карбідів і сажі. Це досягається регулюванням кількості метану, що вводиться в піч у період насичення. Застосування двоступеневої цементації дозволяє збільшити глибину шару до 1,6-1,8 мм при часі насичення в 1,5-2,0 раза меншим, ніж при одинарному циклі зі сталим вуглецевим потенціалом 0,8. Одночасно двоступенева цементація дає кращий розподіл вуглецю по товщині шару.

Інколи з метою зменшення кількості залишкового аустеніту в цементованому шарі в кінці процесу в піч додають аміак.

З метою подальшого зменшення тривалості процесу цементації у ряді випадків застосовують високотемпературну газову цементацію з нагріванням до 1000-1050°C, що скорочує час насичення в 3-4 рази. Однак стосовно цементації в прохідних печах (при насиченні на товщину до 1,5 мм) підвищення температури цементації до 1000-

1050°C мало ефективного, оскільки при цьому збільшуються час нагрівання і час підстуджування перед гартуванням і значно скорочується термін оснащення цементацийних печей, особливо радіаційних нагрівальних труб. У камерних печах прискорення процесу може бути досягнуто застосуванням високотемпературної цементації у вакуумних печах типу СНВ.

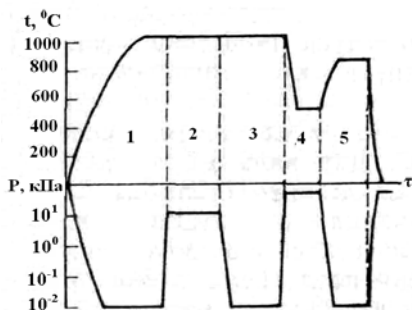


Рисунок 50 – Графіки режимів вакуумної цементації (ВЦ)

Крім вакуумної камерної печі, установка має герметичний тамбур з камерою охолодження (вгорі) і гартівним баком (внизу). На рис. 50 наведена схема технологічного процесу високотемпературної вакуумної цементації (ВЦ).

Деталі розміщують на піддоні в нагрівальну камеру, піч вакуумують до тиску 10^{-1} Па, нагрівають до робочої температури 1000-1050°C і дають витримку для прогрівання деталей (область 1). Процес ВЦ виконується на природному газі CH_4 без розбавлення його ендогазом. Він передбачає два періоди.

1. Активний період насичення (область 2), протягом якого в піч подається газ до створення тиску $\sim 10^2$ Па для підтримки високого вуглецевого потенціалу. У цей період концентрація вуглецю на поверхні деталі досягає значень, близьких до межі його розчинності в аустеніті при даній температурі.

2. Дифузійний період (область 3), в якому припиняють подачу газу і піч вакуумують до 10-1 Па. У процесі витримки при температурі 1000-1050°C відбувається дифузія вуглецю вглиб, а концентрація його на поверхні досягає оп-

тимальної (0,8—1,0% °C). Після закінчення цементації садіння охолоджується до 500-600°C (область 4), при тиску близькому до атмосферного. Далі йдуть повторне нагрівання і витримка при температурі, необхідній для гартування (область 5) з вакуумуванням печі до 10^{-1} Па. Гартування проводять шляхом занурення піддону з деталями у масляну ванну, розміщену внизу тамбура печі. Після гартування йде відпуск при 180°C, який доцільно проводити в спеціальній низькотемпературній печі. Охолодження деталей перед гартуванням до температур 500-600°C повинне викликати перекристалізацію сталі зі значним подрібненням зерна, при цьому можливе підвищення механічних властивостей. Для оцінки необхідного часу процесу наведено дані ВАЗ, коли при ВЦ ефективна товщина шару в 1,0-1,2 мм (до 0,4 % °C) отримувалася при періоді насичення 30 хв., а при дифузійному періоді до отримання концентрації вуглецю на поверхні 0,9 % C – 50 хв.

Процес ВЦ перед звичайним процесом цементації в камерних печах при температурах 950°C має такі переваги: відсутність газопідготовчих установок і приладів контролю вуглецевого потенціалу, скорочення тривалості процесу, відсутність внутрішнього окиснення в шарі, зменшення питомої витрати електроенергії й технологічного газу, поліпшення умов праці. Недоліками ВЦ є висока вартість устаткування й утворення в низьколегованих конструкційних сталях карбідів, що виділяються по межах зерен або у вигляді пластин, що знижує межу витривалості сталі. Кількість карбідів можна зменшити, застосовуючи пульсуючу подачу газу в період насичення або чергування мікроциклів насичення і дифузії. Остання обставина значно ускладнює процес.

Значно прискорюється процес цементації при нагріванні поверхні деталей СВЧ або іншими концентрованими джерелами енергії. Це дозволяє нагрівати деталі до темпе-

ратур 1000-1050°C, при яких процес насичення йде прискорено. У випадку нагрівання СВЧ у багатовитковому індукторі в процесі цементації при 1050°C шестірень, виготовлених зі сталі 18ХГТ науглецьований шар завглибшки 0,8-0,9 мм одержують за 60 хв.

Для підвищення властивостей цементованих деталей розробляється термоциклічна обробка в процесі насичення або нагрівання при гартуванні; рекомендується підвищення в дифузійному шарі азоту до 0,2-0,4 % при вмісті вуглецю 0,8-0,6 %. Обидва заходи дають дрібне зерно, підвищують в'язкість шару і його опір контактній втомі. Проте поки що процес термоциклування застосовується тільки в камерних печах.

Нітроцементацію деталей машин проводять при 860°C. Насичення азотом знижує критичні точки, а загальний вміст вуглецю й азоту підвищує швидкість дифузії вуглецю, що скорочує час процесу. Знизити тривалість процесу можна зменшенням глибини шару, якщо сталі містять 0,25-0,30 % С. Так, для одержання шару завглибшки 0,5-0,6 мм час витримки становить 4-5 год. Для насичення азотом у науглецьоване середовище (ендогаз + 3-5 % CH_4) додають 3-4 % аміаку. При надлишковій концентрації азоту в шарі зі вмістом азоту більше 0,4 % утворюється дефектна структура (темна складова), що тягнеться на глибину 0,1 мм. Це сприяє різкому зниженню межі втоми і контактної витривалості нітроцементованого шару. Відносно низька температура нітроцементації (860°C) дає можливість підвищити термін експлуатації агрегатів. Після нітроцементації деталі піддають гартуванню з низьким відпуском.

Найбільш відповідальні частини деталей машин (галтелі, пази шпонок, впадини зубів шестірень і коліс) після хіміко-термічної обробки проходять зміцнення наклепом, що здійснюється дробоструминною обробкою, обкатуванням роликками, вібрацією з використанням ультразвуку.

При цьому на поверхні деталей утворюється стискне напруження, що підвищує втомну міцність сталі.

Керування процесом цементації здійснюється автоматично шляхом регулювання вуглецевого потенціалу. Окремі місця деталей, що не піддаються насиченню вуглецем, покривають міддю або спеціальними пастами.

Контроль якості цементованих (нітроцементованих) сталей зводиться до визначення товщини шару, твердості поверхні й серцевини, мікроструктури, вмісту вуглецю (азоту) в шарі. Товщина шару, як правило, визначається на зразках-свідках. Твердість поверхні має бути більше HRC 58-60, серцевини HRC 30-40. Мікроструктуру і вміст вуглецю (азоту) в шарі досліджують у лабораторії. У цементованому шарі перевіряють дисперсність мартенситу, кількість залишкового аустеніту, форму і розподіл карбідів. Вміст вуглецю (азоту) знаходять за пошаровим хімічним або спектральним аналізом; оптимальним вважається вміст на поверхні 0,8-0,9 % C. Для визначення товщини шару, твердості й структури починають застосовувати методи неруйнівного контролю. Об'єм контролю залежить від вимог, що ставляться, і використовуваного устаткування в частині стабільності його роботи.

Азотуванню піддають гільзи двигунів внутрішнього згорання, шийки колінчастих валів та інші деталі, за необхідності одержання високої твердості поверхневого шару застосовують сталь 38Х2МЮА. Проте ця сталь має порівняно низьку прогартовуваність і схильна до утворення фериту, що знижує в'язкість шару. Інколи її замінюють сталлю 38Х2МА.

Азотування проводять в атмосфері аміаку при температурах 500-510°C і ступені дисоціації аміаку 30-40 %. При цій температурі виходить висока твердість (HV 1000-1200), але процес насичення йде повільно. Для отримання шару 0,5-0,6 мм потрібна витримка 60-70 год. Висока твердість

поверхні виходить завдяки утворенню у шарі одношарових нітридів, корегентних з фазою і легованості α -фази, чому сприяє введення в сталь алюмінію.

Прискорюють процес азотування застосуванням двоступеневого циклу. Перший ступінь при 500-510°C при ступені дисоціації аміаку 30-35 % з витримкою 12-15 год., другий – при 540-560°C при ступені дисоціації аміаку 45-55% протягом 25-35 год. При цьому отримувана глибина шару 0,5-0,8 мм. На першому ступені виходить дисперсний, когерентно зв'язаний нітрид, при підвищенні температури до 540-560°C нітрид майже не збільшується, а дифузія азоту збільшується, скорочуючи загальний час процесу.

При меншій твердості азотованого шару (HV 650-900) застосовують конструкційні сталі, такі, що не містять алюмінію (40X, 40XФ, 30ХГТ, 40ХНМА, 38ХНМФА, 18Х2Н4ВА та ін.). У цьому разі азотований шар отримується менш крихким, що зберігає високу зносостійкість.

При підвищенні температури азотування процес дифузії прискорюється, але виникає багатошаровий більший нітрид, порушується їх когерентність і твердість падає.

Перед азотуванням деталі в заготовках піддають гартуванню з 900-920°C і подальшому високому відпуску при 600-650°C для отримання структури сорбіту.

Прискорення процесу азотування в 1,5-2 рази відбувається в разі вживання тліючого розряду (іонне азотування). Азотування проводять у розрідженій азотовмісній атмосфері при підключенні оброблюваних деталей до негативного електрода (катода). Анодом служить контейнер установки. Між деталлю та анодом збуджується тліючий розряд, і позитивні іони газу, бомбардуючи поверхню катода, нагрівають його. Спочатку поверхня очищається катодним розпиленням, яке проводиться протягом 15-60 хв при напруженнях 1100-1400 В і тиску 15-25 Па. Процес азотування проходить при 500-560°C, напруженні 500-1000 В,

розрядці 500-1000 Па протягом 10-24 год. Структуру і фазовий склад регулюють зміною тиску і складом насичувальної атмосфери.

Частини деталей, що не підлягають азотуванню, оберігають гальванічним покриттям оловом або плівкою рідкого скла.

Для іонного азотування призначені електропечі США-6,6/6-11, СШВ-9.18./6-12, США-20.24/6-11 потужністю відповідно 67, 250 і 650 кВт.

Значно підвищуються твердість, зносостійкість, межа витривалості, опір корозії і задирам при азотуванні з добавками вуглецевмісних газів. Процес проводиться при температурі 560-580°C в атмосфері аміаку і 50 % ендогазу або ендо-екзогазу (20% H_2 + 20 % CO + 60 % N_2). Тривалість витримки – 2-5 год з подальшим охолодженням у маслі. На поверхні деталей утворюються карбонітридна зона товщиною 10-30 мкм й азотистий твердий розчин із загальною глибиною шару 0,2-0,3 мм. Добре азотуються сталі 40Х, 40ХГНМ, 40Х9С2, швидкорізальні, чавуни і навіть металокераміка. В автотракторобудуванні процес застосовується для зміцнення кулачкових і колінчастих валів, штоків циліндрів, шестірень та інших деталей.

Високу поверхневу твердість на деталях можна одержати застосовуючи поверхнєве гартування. Найбільш поширене нагрівання СВЧ, при якому твердість поверхні становить HRC 50-58, серцевини HRC 35-40 при глибині загартованого шару 2-10 мм. Для того щоб отримати вказану твердість, необхідно застосовувати середньовуглецеві сталі з вмістом 0,4-0,5% С (сталі 40; 45; 45Х; 40Г2; 40ХФ), а при підвищених умовах до деталей – леговані сталі (40ХН; 40ХН2М. та ін.).

При короточасному нагріванні СВЧ, в електролітах, променем лазера та ін. деталі мають дрібне зерно аустеніту і відповідно мартенситу, вищі властивості, сприятливі

напруження стискування у поверхневих шарах (до 500-700 МПа). Крім того, різко скорочується час нагрівання.

Проте застосування при поверхневому гартуванні середньовуглецевих сталей обмежує отримувану твердість поверхні й ударну в'язкість серцевини. Застосування цементації або нітроцементзації дає після гартування більш високу твердість поверхні (вище HRC 58-60) KCU вище 0,8-1,0 МДж/м².

Крім того, при хіміко-термічній обробці в поверхневому шарі можна отримати дисперсні надлишкові карбіди або карбонітриди, що підвищує зносостійкість і контактну міцність поверхні. Якщо вимоги щодо в'язкості серцевини деталей не перевищують 0,7-0,8 МДж/м², то замість цементзації віддають перевагу застосуванню нітроцементзації, збільшуючи вміст вуглецю в сталі до 0,25-0,30 %, що дає можливість зменшити глибину шару і скоротити час операції.

Тому, якщо потрібна висока поверхнева твердість при в'язкій серцевині, то спочатку потрібно вибрати технологічний процес зміцнення. Враховуючи вимоги, що ставляться до деталей, необхідно встановити можливість вживання поверхневого гарту або хіміко-термічної обробки. Після цього можна вибрати марку сталі.

Поверхнєве зміцнення наклепом за допомогою роликів, струмені дробу на віброустановках пов'язане із одержанням на поверхні виробу стискальних напружень. Особливо це важливо для виробів, що піддаються при експлуатації знакозмінним навантаженням (пружини, ресори, торсіонні вали та ін.). Сили стискування на поверхні компенсуватимуть небезпечні розтягувальні напруження, що виникають при експлуатації. Для поверхневого зміцнення високоміцних матеріалів пропонується використовувати ударну ультразвукову обробку. У цьому разі в поверхневих шарах проходять структурні зміни за рахунок перенесення

легуючих елементів, одночасно зменшується рівень залишкового розтягального напруження. В алюмінієвих сплавах розтягальне напруження зменшується на 80-100%, у сталях на 60-70%, у титанових сплавах на 40-50% при цьому істотно збільшується межа текучості.

Для нагрівання поверхні починають застосовувати промені лазера й електронної гармати. Для термічного зміцнення використовують твердотільні лазери на склі з іонами неодиму, ербію та інших елементів, газові лазери з CO_2 або сумішшю CO_2 , N_2 , He . Твердотільні лазери дають світлову пляму діаметром до 1-3 мм і смужку загартованого шару шириною 2-4 мм, завглибшки 0,3-0,6 мм. Енергія випромінювання газових лазерів значно більше (1-5 кВт), що дозволяє отримати діаметр світла до 45-90 мм.

Лазерна обробка є складним і дорогим способом зміцнення. Найдоцільніше її використовувати при особливо складній конфігурації оброблюваних поверхонь, коли нагрівання звичайними методами утруднене, а також при малій поверхні оброблюваного шару. За допомогою лінз лазерний промінь можна направляти на будь-яку конфігурацію поверхні й на значні відстані (до 10 м). Недоліком лазерного нагрівання є малий к. к. д., що дорівнює 5-8%. Значна кількість енергії (до 80-96%) втрачається внаслідок віддзеркалення променів від поверхні оброблюваної деталі. Для зменшення втрат енергії на деталі наносять поглинальні покриття (оксиди металів, фосфати та ін.).

Промисловість випускає установки з твердотільними і газовими лазерами, основні характеристики деяких з їх наведені в табл. 3.

До установки крім лазера, входять системи транспортування і фокусування променя, механізм переміщення деталі за заданим режимом і блок живлення.

Таблиця 3 - Основні характеристики деяких установок з твердотільними і газовими лазерами

	Квант-9	Квант-10	Квант-12
Твердотільні лазери			
Активне середовище	Скло	Скло	Гранат
Діаметр світлової плями, мм	До 0,8	0,4-1,4	0,3-1,0
Енергія випромінювання, Дж	8	10	3
Частота повторення імпульсів, Гц	0,1-1,0	0,1-1,0	20
Тривалість імпульсу, мс	0,5-0,7	4,0	1,5-4,0
Продуктивність на хвилину	-	60 точок	150 мм
Споживана потужність, кВт	-	6,0	6,0
Габарити, м: верстата блока живлення	1,2x0,7x1,2 -	1,2x1,0x0,9 1,4x0,6x0,6	1,0x1,0x1,2 2,0x0,6x0,6
Маса, кг	200	150-200	250-350
Твердотільні лазери			
	Квант-16		СЛС-10-1
Активне середовище	Скло		Скло
Діаметр світлової плями, мм	2-5		0,4-1,5
Енергія випромінювання, Дж	30		8
Частота повторення імпульсів, Гц	0,1-1,0		0,1-0,5
Тривалість імпульсу, мс	4-7		2; 4
Продуктивність на хвилину	30 точок		30 точок
Споживана потужність, кВт	-		2,5
Габарити, м: верстата блока живлення	1,2x1,0x1,0 1,4x0,6x0,6		1,0x0,8x1,3 0,6x0,6x1,2
Маса, кг	150-200		350

	«Кардамон»	ЛТ1-2	«Інулін»
Газові лазери, (активне середовище He, M ₂ , CO ₂)			
Потужність лазерного випромінювання, кВт	0,8	5	2,5
Діаметр променя, мм	45	45	96
Витрата газів, м ³ /год:			
гелію	0,48	0,7	0,36
азоту	0,05	0,7	0,05
вуглекислого газу	0,024	0,035	0,045
Витрата води, м ³ /год	0,7	5	7
Споживана потужність, кВт	18	100	60
Габарити, м:			
лазерної головки	6,3x0,45	4x2x3	8,1x1,4x1,7
блока живлення	0,7x0,9x1,8	-	1,3x1,0x2,0
Маса, кг	550-550	5500	2600-1050

Продовження табл. 3

	ЛТ1-2	«Катун»
Газові лазери, (активне середовище He, M ₂ , CO ₂)		
Потужність лазерного випромінювання, кВт	1,2	0,7
Діаметр променя, мм	80	55
Витрата газів, м ³ /год:		
гелію	0,38	0,28
азоту	0,54	0,03
вуглекислого газу	0,018	0,014
Витрата води, м ³ /год	4	-
Споживана потужність, кВт	60	18
Габарити, м:		
лазерної головки	2,4x1,1x1,9	6,5x0,6x1,4
блока живлення	1,3x1,0x2,0	-
Маса, кг	1600-1050	1700

Промені лазера застосовують для поверхневого зміцнення частин деяких деталей автомобіля і трактора, що труться (галтелів колінчастих валів, кулачкових валиків, гільз циліндрів, деталей паливного насоса, сідел, клапанів та ін.). Товщина зміцненого шару сягає 0,6-1,0 мм. При використанні лазерів на CO₂ потужністю в 5 кВт глибина загартованого шару виходить до 3 мм. Окрім зміцнення, лазерні установки використовуються для напаявання і для поверхневого легування за допомогою металічних порошків (C, Cr, Mo, TiC та ін.), заздалегідь нанесених на поверхню деталі або при вдуванні їх в зону лазерного розплавлення.

Роблять спроби використовувати для поверхневого загартування деталей нагрівання низькотемпературною плазмою (з температурою до 10000 К). Глибина отриманого шару – 1,0-1,5 мм. Проте загартований шар має структуру великого голчастого мартенситу з великою кількістю залишкового аустеніту. При суцільному гартуванні поверхні отримуються відпущені смужки внаслідок перекриття загартованого шару. За попередніми оцінками, плазмове гартування перспективне для локального поверхневого зміцнення деталей.

При виборі методу поверхневого зміцнення деталей спочатку необхідно вирішити питання, на який процес термічної обробки потрібно орієнтуватися, враховуючи властивості, що ставляться до поверхні і серцевини. За вимоги високої поверхневої твердості HRC (60-65), зносостійкості при в'язкій серцевині ($0,8-1,0 \text{ МДж/м}^2$) необхідно застосовувати хіміко-термічну обробку. При менших значеннях поверхневої твердості й відносно невисокої в'язкості серцевини ($0,6 \text{ МДж/м}^2$ і нижче) доцільно використовувати поверхнєве гартування. Останнім часом використовують індукційне об'ємно-поверхнєве гартування для термічної обробки важконавантажених деталей (наприклад, валів). Застосовуючи некрізну прогартовуваність, при дрібному зерні отримують найбільш сприятливе розподілення внутрішнього напруження, що підвищує довговічність деталей машин, знижує їх масу, дає заощадження часу, матеріальних ресурсів і дозволяє використовувати менш легovanі сталі.

Середньовуглецеві сталі 40, 45, 50Г, 45Г2, 40Х, 40ХС, 30ХГС, 35ХМ, 45ХГФ, 40ХН, 30ХНЗА, 38ХГН, 34ХН1М, 34ХН3М, 36Х2Н2МФ та ін. (ГОСТ 4543) піддають поліпшенню (гартування + високий відпуск).

З метою підвищення механічних властивостей подрібнення зерна використовують мікролегування – у сталь вводять невеликі кількості сильних карбідо- і нітридотвірних елементів (ванадій, ніобій, титан, а також алюміній спільно з азотом), а для підвищення прогартовуваності – невелику кількість бору ($0,001-0,005\% \text{ В}$).

Для зміцнення і поверхневого легування деталей машин використовують фрикційно-імпульсну обробку. Деталю повідомляється швидке локальне нагрівання поверхні вище за температури фазових перетворень за допомогою диска, що обертається, з подальшим прискореним охолодженням шляхом відведення тепла всередину деталі. Тов-

щина зміцненого шару при обробці валиків діаметром 40-60 мм зі сталей 40, 40Х становить 80-160 мкм, мікротвердість до 6000 МПа. Опір зношуванню зріс удвічі. Структура зміцненого шару складається з дуже дисперсного мартенситу, дисперсних карбідів і залишкового аустеніту. Фрикційний диск виготовлявся зі сталі 5ХНМ, а для збільшення стійкості застосовувався його діаметр до 400-500 мм. Процес зміцнення виконувався на шліфувальних верстатах з їх невеликою модернізацією.

Є роботи, які показують можливість за допомогою фрикційно-імпульсної обробки легування поверхні деталей хромом, нікелем, міддю, титаном, вуглецем та іншими елементами у вигляді рідкого або твердого змащування, що вводиться в зону контакту. Як тверде змащування застосовувалися порошки різних металів і сплавів. Показано, що легуючі елементи дифундують з високою швидкістю на глибину 200-300 мкм. На сталі 35, науглецьованій за допомогою фрикційно-імпульсної обробки без подальшої термообробки, мікротвердість одержана до 8000 МПа. У ряді випадків вказана обробка може замінити процес цементації.

7.3. Термічна обробка найбільш поширених деталей машин

На машинобудівних заводах термічній обробці піддають шестірні, колінчасті й передавальні вали, піввісь, кулачкові валики, гільзи, поршні, клапани та інші деталі.

Обробка зубчастих коліс. Зуби шестірень повинні мати високу поверхневу твердість і зносостійкість при в'язкій серцевині. Це досягається після хіміко-термічної обробки (цементації й нітроцементації) з подальшим гартуванням і поверхневим гартуванням із використанням нагрівання

СВЧ, в електролітах, променем лазера, газокисневим полум'ям та ін.

Вибір методу обробки визначається вимогами, що ставляться до шестірень і коліс. При твердості поверхні зуба HRC 58-64 і високій в'язкості серцевини 0,8-1,0 МДж/м² необхідно орієнтуватися на застосування хіміко-термічної обробки (газової цементації або нітроцементації). Шестірні зі сталей з титаном (18ХГТ, 25ХГТ, 20ХНТ та ін.) після цементації при 930°C піддають гартуванню після підстуджування до 860°C, а при нітроцементації – при 860°C і підстуджування до 820°C з подальшим низьким відпуском при 180°C.

З метою зменшення деформації і викривлення шестірень їх гартування проводять у гарячому маслі (180°C).

Шестірні з вуглецевих низьколегованих і легованих сталей (20Х, 20ХНР, 20ХГНР, 25ХГНМ, 20ХНЗА та ін.) піддають цементації при 930°C або нітроцементації при 860°C з охолоджуванням на повітрі або в коридорі з контрольованою атмосферою з подальшим гартуванням зі спеціального нагрівання з 800°C і низьким відпуском при 180°C. Шестірні з високолегованих сталей (12Х2Н4А, 20Х2Н4А, 18Х2Н4МА та ін.) після цементації при 930°C і охолоджування заздалегідь піддають високому відпуску при 620-650°C, а потім гартуванню з 780-800°C і низькому відпуску при 180°C.

Шестірні з малонікелевих сталей з марганцем, титаном, алюмінієм, бором (15ХГН2Т, 20ХГНТР, 25ХГНМТ, 25ХГНМАЮ та ін.) піддають гартуванню відразу після цементації (нітроцементації) з підстуджуванням, або нагрівання при 550-650°C після цементації для проходження розпаду переохолодженого аустеніту на перліт, а потім з цієї температури здійснюється нагрівання до 800°C для гартування. Для відповідальних деталей з даної групи сталей можна рекомендувати сталь 25ХГНМАЮ. Типові графіки

режимів при нагріванні в штовхальних печах безперервної дії наведені на рис. 51.

Для високолегованих сталей типу 20Х2Н4ВА процес термічної обробки можна спростити (рис. 51 в), виключивши високий відпуск, якщо при цементації отримати вміст вуглецю в шарі 0,70-0,65 %. При цьому необхідно перевірити експлуатаційну стійкість шестірень, оскільки в цементованому шарі не буде карбідів, а вміст залишкового аустеніту становить до 30 % .

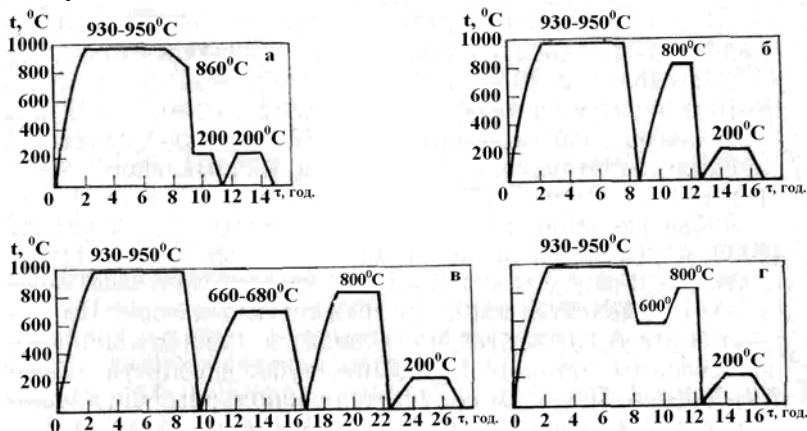


Рисунок 51- Типові графіки хіміко-термічної обробки шестірень при цементації на глибину 0,8-1,2 мм зі сталей: а – типу ХГТ; б – вуглецевих і легованих; в – високолегованих; г – ті, що мають невисоку стійкість аустеніту в перлітовій області

Якщо серцевина зуба не задовольняє поставлені вимоги за властивостями і структурою, після цементації застосовують подвійну обробку – перше гартування або нормалізацію з підвищених температур (880-900°C) з метою перекристалізації структури серцевини і друге гартування з температур близько 800°C для перекристалізації поверхневого шару з подальшим низьким відпуском.

За необхідності проміжної механічної обробки (наприклад, для деталей шток – поршень) після цементації

(930°C) проводиться ізотермічна витримка при 650-680°C з охолодженням у печі до 600°C, далі на повітрі або в контрольованій атмосфері. Остаточна термічна обробка – гартування з 800°C і низький відпуск при 160-200°C здійснюються після механічної обробки.

Крім того, шестірні піддають низькотемпературній нітроцементації. При цьому насичення азотом і вуглецем відбувається при 570-620°C в атмосфері газоподібного аміаку і вуглецевмісного газу. Хороші результати зі зносостійкості й контактної міцності отримують при обробці шестірень зі сталей 45Х і 38ХС в атмосфері 30% аміаку і 70 % природного газу. При витримці 6-10 год утворюється дифузійний шар (0,3-0,6 мм), а на поверхні шар карбонітридів (10-60 мкм), що забезпечує опір заїданню і мінімальне жолоблення.

Зуби шестірні зі середньовуглецевих сталей 45, 40Х, 45ХФ та інших піддають поверхневому гартуванню. Найбільш поширеним методом нагрівання є нагрівання СВЧ. Застосовується також нагрівання променями лазера. При модулі більше 6 нагрівання СВЧ проводиться безперервно-послідовним методом по впадині зуба, використовуючи індуктор-спреєр. При цьому виходить рівномірний загартований шар бічних поверхонь зубів шестірень і западин. Напівавтоматичний верстат для гартування забезпечує продуктивність 20-15 шестірень на годину при потужності 68 кВт.

Для шестірень з модулем 6 і менше розмістити індуктор у западині зуба не видається можливим. Тому для нагрівання таких шестірень за допомогою СВЧ застосовують кільцевий індуктор, а для отримання загартованого шару по контуру зуба вибирають сталі зниженої прогартуваності (55ПП), низької прогартуваності (50НПП) або регламентованої прогартуваності (47РП). Прогартуваність сталей типу 45, 55 знижують шляхом зменшення вмі-

сту елементів, що підвищують стійкість переохолодженого аустеніту (перш за все Mn і Cr) і добавок телуру (Te) й селену (Se), що знижують прогартуваність сталей. Тоді при кризному прогріванні зуба загартований шар розміщуватиметься лише по контуру зуба.

Попередня термічна обробка шестірень, що піддаються поверхневому гартуванню, зводиться для вуглецевих і низьколегованих сталей до нормалізації, а для легованих до поліпшення (гартування з високим відпуском), що визначається вимогами, що ставляться до серцевини зуба.

При термічній обробці шестірень важливо мати мінімальні деформації та викривлення. Значення деформації обумовлюється технічними умовами. Так, для шестірень коробки передач автомобіля зі сталі 25ХГМ встановлені відхилення щодо биття ділильного кола не більше 0,08 мм і відхилення профілю зуба не більше 0,04 мм. При значній деформації доводиться вводити додаткову операцію шевігування зуба.

На деформацію шестірень впливає ряд факторів. Найбільш суттєво – концентрація вуглецю у шарі й режим гартування шестірень. Деформація різко зростає при збільшенні прогартуваності й підвищенні вмісту вуглецю. Підвищення на 0,1% С призводить до зростання обсягу на 0,1%. Тому необхідні ретельний контроль зуба шестірень і регламентація значення прогартуваності.

Ефективним методом зниження деформації шестірень є вживання після цементації або нітроцементації гартування з попереднім підстуджуванням замість повторного гарту. Зменшення деформації дає ступеневе гартування в гарячому маслі ($t = 180-200^{\circ}\text{C}$). У разі тонкостінних шестірень доцільно гартування проводити на спеціальних фіксувальних оправках, які установлюють в отвір шестірні. Для зменшення деформації тонких циліндрових і конічних шестірень застосовують спеціальні гартівні преси з енер-

гійним обмиванням зубів шестірень потоками загартувальної рідини. На деяких пресах з метою зменшення викривлення тонких шестірень передбачається їх вигин в осьовому напрямі. Значне зменшення викривлення і деформації можна отримати, використовуючи знеміцнювання сталі в початковий момент фазового перетворення аустеніту в мартенсит. Для цього при гартуванні в маслі затискають шестірню в штампах преса при температурі початкового періоду мартенситного перетворення, що контролюється часом охолодження, який встановлюється для даного типу шестірень дослідним шляхом. Менше жолоблення дають шестірні, виготовлені з природно дрібнозернистої сталі. На деформацію можуть також вплинути попередня термічна обробка заготовок шестірень, напруження, що виникають у результаті обробки різанням, і спосіб виготовлення. При виготовленні шестірень необхідно, аби волокна розміщувалися по контуру зуба.

Обробка колінчастих валів

Зі сталей 45 (селект), 45Х (селект), 50Г і 60ХФ і модифікованих чавунів виготовляють вали автомобілів і тракторів. Остаточна термічна обробка – поверхнєве гартування з нагріванням СВЧ на глибину 2-3 мм. Поверхневому гартуванню піддають корінні й шатунові шийки валів з використанням машинних або тиристорів генераторів. Існують два типи установок:

а) верстати-напівавтомати конструкції ВНІТВЧ із генераторами частотою 2500 Гц з роз'ємними кільцевими індукторами-спреєрами при почерговому гартуванні шийок. Продуктивність верстата – 15-20 шт. валів/год при потужності генератора 100 кВт.

б) установки з обертанням вала під час нагрівання СВЧ із частотою 1 с^{-1} , що значно знижує деформацію. Використовуються два типи індукторів – окремо для нагрівання корінних і шатунових шийок валів. Охолодження здійс-

нюється за допомогою гартівних спреєрів. Індуктори петльового типу охоплюють лише верхню половину шийки вала. Продуктивність установок при споживаній потужності 200 кВт - 25, а при 500 кВт – 60 шт. валів/год, частота струму – 8000-10000 Гц. Попередня термічна обробка заготовок – нормалізація з 850-860°C або гартування з високим відпуском на сорбіт.

З високолегованих сталей типу 18X2H4BA і 18X2H4MA виготовляють колінчасті вали важких транспортних машин. Мета попередньої термічної обробки (гартування з 920°C на повітрі з відпуском при 650-670°C) – отримати структуру сорбіту. Остаточна термічна обробка – гартування 880-900°C на повітрі з одночасною правкою в гартівно-правильній машині при обертанні вала в затиснутому стані. Температура відпуску – 200-220°C (HRC 30-41). Вказані сталі можна загартовувати на повітрі, оскільки вони практично не мають перлітового рівня розпаду переохолодженого аустеніту.

Шийки відповідальних валів піддають азотуванню. Твердість поверхні шийок – до HRC 80. Перед азотуванням заготовки валів проходять гартування з 920°C у підігрітій воді й відпуск на сорбіт при 550-600°C; у мікроструктурі не повинно бути вільного фериту. Азотування шийок проводять в атмосфері аміаку на глибину 0,5-0,8 мм з двоступінчастим циклом. Перший ступінь – при 510°C з витримкою 10-15 год при ступені дисоціації аміаку 25-35%, другий ступінь – при 550°C з витримкою 25-40 год при ступені дисоціації аміаку 40-45%. Підвищення температури азотування може викликати зниження твердості поверхні, підсилити жолоблення і понизити властивості серцевини унаслідок сфероїдизації перліту.

З чавуну, модифікованого магнієм, виготовляють колінчасті вали автомобілів. Термічна обробка їх полягає у графітизації чавуну при 950°C протягом 6-8 год з охоло-

дженням на повітрі і подальшій нормалізації з 950°C із утворенням структури перліту. При вмісті в чавуні 3,1-3,6% C; 1,9-2,1% Si; 0,5-0,8% Mn і 0,04% Mg можна отримати $\sigma_b = 600-650$ МПа при подовженні $\delta = 2-3\%$. Після гартування з 860°C і високого відпуску при 620-650°C (структура сорбіту) при $\sigma_b = 600-650$ МПа можна отримати $\delta = 5-7\%$. При легуванні чавуну 1,5% Ni; 0,5% Cr і 0,3% Mo міцність литих чавунних валів зростає до 700-800 МПа при подовженні 3-5%. Проте межа втоми чавунних валів не перевищує $\sigma_{-1} = 0,2 \sigma_b$.

Для відновлення колінчастих валів та інших деталей успішно застосовують наплавлення аустенітними метастабільними хромомарганцевими сталями (наприклад, 30X10Г10Т) з подальшою обкаткою роликами.

Обробка кулачкових розподільних валиків. Зі сталей 45, 40Х і 60ХФ виготовляють кулачкові валики для тракторів та автомобілів. Їх піддають поверхневому загартуванню (кулачки) на глибину 3-5 мм з нагріванням СВЧ при обертанні валиків. Часто індуктор робиться на два валики. Попередня термічна обробка в заготовці зводиться до нормалізації або поліпшення (гартування з високим відпуском) залежно від вимог технічних умов.

За важких умов роботи застосовують низьковуглецеві сталі 20, 20Х18ХГТ і 12ХН3А з цементацією кулачків при 930-940°C на глибину 1,6-2,0 мм (що потребує витримки 12-15 год.) з подальшим охолодженням на повітрі. Остаточна термічна обробка – гартування з 800°C у лужному розчині з обертанням в затиснутому стані в машині типу Гоган з подальшим низьким відпуском при 200°C.

Обробка півосей. При масовому виробництві в більшості випадків їх виготовляють з вуглецевих і низьколегованих сталей 35, 40, 45, 47ГТ. Їх зміцнюють гартуванням з індукційним нагріванням СВЧ. Стержнева частина півосі частіше піддається одночасному нагріванню в багатовит-

ковому секційному індукторі (ЗІЛ). Через складний профіль фланця індукційний гарт його галтелі становить ряд труднощів і вимагає вживання індуктора спеціальної конструкції з електромагнітним витісненням поля на галтель. Піввісь під час нагрівання обертається. Охолодження при гартуванні здійснюється за допомогою спреєрів або в спеціальному охолоджувальному пристрої. Після гартування проводять низький відпуск у печі. При генераторі потужністю 300 кВт, частотою 2500 Гц час загального нагрівання півосі становить близько 80 с.

Півосі з легованих сталей 38ХГС, 40ХГРТ, 35Х2ГСМА та ін. з припуском на механічну обробку піддають об'ємному поліпшенню (загартування + відпуск) з нагріванням у печах на твердість HRC 35-30. Недоліком процесу є трудність подальшої механічної обробки з метою зняття припуску.

Обробка хрестовин, карданного вала і диференціала. Із сталі типу 20ХН3А виготовляють хрестовини. Їх піддають цементації на глибину 1,0-1,3 мм, гартуванню з 800°C у маслі й низькому відпуску при 180-200°C.

Останнім часом стали застосовувати покращувану сталь 50 (селект) при крізному індукційному нагріванні (частота струму 2500 Гц). Нагрівання проводять до 830-840°C з подальшим двократним дозуванням охолодження з проміжною паузою. Переривчасте охолодження з паузою забезпечує вищий відпуск галтелів шипів (на твердість HRC 54-58, при твердості шипа HRC 62-64 і серцевини HRC 30-35).

Для забезпечення крізної прогартуваності застосовують відносно малу швидкість нагрівання (2-10°C/с) при питомих потужностях 0,1-0,2 кВт/см² і часі нагрівання 40-100 с.

Обробка гільз двигунів внутрішнього згорання. Гільзи повинні мати високу твердість, зносостійкість і коро-

зійну стійкість внутрішньої поверхні при підвищених температурах, а також легко оброблюватися.

Гільзи тракторів і автомобілів виготовляють із сірого чавуну з перлітовою металевою основою і рівномірним розподілом дрібного графіту. Хороші результати дає застосування чавуну з підвищеним вмістом марганцю (3,0-3,5% С; 1,7-2,0% Si і 1,2-1,6% Mn). Попередня термічна обробка чавунних гільз полягає в нормалізації з 900°C або гартуванні з 840-850°C в маслі й відпуску при 180°C протягом 2 год. При остаточній термічній обробці внутрішня поверхня гільз гартується на глибину 1,5-2,0 мм (нагрівання СВЧ при частоті струму 8000 Гц) на твердість HRC 45-50. На ряді заводів є автоматичні верстати для нагрівання під гартування і відпуск з використанням СВЧ.

Внутрішню поверхню гільз важких транспортних машин зі сталей 38Х2МЮА, 38ХВФЮ, 38Х2МА та ін. для підвищення зносостійкості азотують. Попередня термічна обробка гільз – гартування з 920-930°C з охолодженням у підігрітій воді та високий відпуск при 620-640°C, охолодження на повітрі. Азотування проводять на глибину 0,5-0,8 мм. Перший цикл – при 510°C протягом 10-12 год зі ступенем дисоціації аміаку 35 %, другий – при 540°C протягом 30-40 год при ступені дисоціації аміаку 60% і подальшому охолодженню під струмом аміаку до 300°C. Для оберігання від азотування зовнішньої поверхні гільзи її покривають рідким склом. Перед азотуванням внутрішню поверхню гільз фосфатують протягом 20-30 хв.

Зносостійкість чавунних гільз можна підвищити короткочасним азотуванням за режимом: нагрівання при 600-700°C, протягом 6-4 год у суміші 50% аміаку + 50% природного газу. Товщина азотованого шару – 0,2-0,25 мм, HV 850-950.

Обробка клапанів двигунів внутрішнього згорання. При нагріванні дисків клапана до 300°C їх виготовляють зі

сталей 40Х і 40ХН, остаточна термічна обробка яких полягає в гартуванні з 840-850°C у маслі й відпуску при 560-580°C з охолодженням у маслі. При нагріванні до 650°C застосовують стальні хроми типу 40Х9С2, 40Х10С2М після гарту з 1000-1050°C у маслі й відпуску при 760-780°C з охолодженням у маслі. При температурах 650°C і вище деталь для клапанів виготовляють із жароміцних аустенітних сталей типу 45Х14Н14В2М, 55Х20Г9АН4 та ін. Клапани із жароміцних аустенітних сталей гартують з 1150°C у воді з подальшим старінням при 750°C протягом 4-6 год, охолодження на повітрі. Опорний кінець стержня клапана піддають гартуванню з нагріванням СВЧ на твердість HRC 45. Стійкість тарілки клапана підвищується наплавленням по колу робочої поверхні твердими сплавами. Для кращого охолодження тарілки в ній робиться порожнина, заповнювана на 1/3 металевим натрієм.

Обробка дисків зчеплення трактора і дисків ґрунтообробних машин. Диски виготовляють переважно зі сталей У7, 65Г. Їх гартують з нагріванням СВЧ до 900°C з охолодженням у водоохолоджуваних штампах і відпускають при 450-500°C у штампах з розміщеними в них індукторами. Фрикційні диски зчеплення загартовують з 860-870°C і відпускають при 400-410°C у плитах, що обігріваються закладеними в них спіральними електронагрівачами. Охолодження після гартування і відпуску проводиться у водоохолоджуваних штампах. На ряді заводів для вказаних процесів установлені автоматичні лінії.

Обробка лемешів плугів, лап культиваторів, ножів і сегментів. Різальні частини ґрунтообробних машин під час роботи піддаються сильному абразивному зносу. Тому доцільно деталям забезпечити самозагострюваність у процесі експлуатації. Це досягається неоднорідним зносом двошарового леза. Для виготовлення зазначених деталей використовують сталі 50, 60, 60Г з наплавленням їх різальних

кромок твердими сплавами на глибину 1-1,5 мм. Самозагострювання і підвищена стійкість забезпечуються боруванням різальних кромок з нагріванням СВЧ.

Технологія термічної обробки деталей машин на потокових лінях

Різноманітні потокові лінії для процесів цементації (нітроцементації) у штовхальних печах, гартування і відпуск у конвеєрних і штовхальних агрегатах, для термообробки дрібних деталей у барабанних печах, роторні лінії для обробки кілець, для виготовлення і обробок вагонних пружин, для гартування в розплавах солей та ін. наведені в літературі.

Нижче подається опис додаткового ряду потокових ліній та агрегатів.

Для газової цементації й нітроцементації деталей використовують однорядні з вертикальними радіаційними трубами і дворядні з горизонтальними U- подібними трубами, розміщеними в два ряди над і під виробами штовхальні печі (автомобільні й тракторні заводи). Продуктивність печей залежить від вигляду процесу (цементация або нітроцементация), глибини дифузійного шару, розмірів і масивності деталей. При газовій цементації на глибину 0,8-1,2 мм приблизна продуктивність однорядних печей на 18-21 піддон 200-250 кг/год. при темпі штовхання 25-30 хв, а дворядних на 44-48 піддонів близько 400-450 кг/год, при темпі штовхання ~15 хв. Застосовувані розміри піддонів 0,4x0,5 м або 0,5x0,6 м. Приблизне навантаження на піддони близько 500-600 кг/м². Для уточнення продуктивності печей необхідно навантаження на піддон знаходити шляхом укладання характерних деталей. При одно- і дворядних печах доцільно застосовувати П-подібне компонування агрегату, коли в першій лінії знаходяться цементацийна піч і гартівний бак, а в другій – мийна машина, відпускна піч і ділянка розвантаження і завантаження піддо-

нів. При цьому шлях руху піддонів замкнутий. Конструкція агрегату спрощується, якщо гартівний бак одночасно зробити таким, що передає вироби з першої лінії на другу.

Для підвищення продуктивності цементацийних печей доцільно збільшити число рядів піддонів при робочій довжині печі від 8 до 12 м. Працюють три чотирирядні цементацийні печі на $20 \times 4 = 80$ піддонів. (Розміри піддонів $0,56 \times 0,56$ м, висота завантаження – 0,6-0,7 м). Продуктивність печі при цементації доходить до 800 кг/год, а при нітроцементації – до 1100 кг/год.

Агрегат містить (рис. 52) чотирирядну цементацийну піч 2, масляний гартівний бак 5 з підйомною платформою 15, мийну машина 6, електричну відпускну піч 8 і тамбури для збереження герметичності завантаження і вивантаження деталей. Рух деталей у печах і завантаження в мийну машина проводиться гідравлічними штовхальниками 1, 13, 7, 9, 4, а на ділянці розвантаження і завантаження піддонів – рейками, що приводяться в рух гідравлічними циліндрами 11 і 14. Подача піддонів з тамбура в піч цементації і виштовхування їх з печі на платформу бака здійснюється штовхальниками 10 і 12 з ланцюговим приводом штанг. Нагрівання цементацийної печі проводиться П-подібними радіаційними трубами (54 штуки), розміщеними у два ряди по висоті і ширині печі. Для підвищення рівномірності складу атмосфери і коефіцієнта тепловіддачі печі забезпечені вентиляторами, а для прискорення охолодження деталей при гартуванні бак має насос 16. Число піддонів у цементації печі – 80, у гартівному баку – 1, у мийній машині – 2, у відпускній печі – 26, на ділянці вивантаження і завантаження піддонів – 13. Площа, що займає агрегат, 20×11 м, висота – 4,7 м. Агрегат має автоматичне регулювання температури, складу атмосфери й управління механізмами руху піддонів.

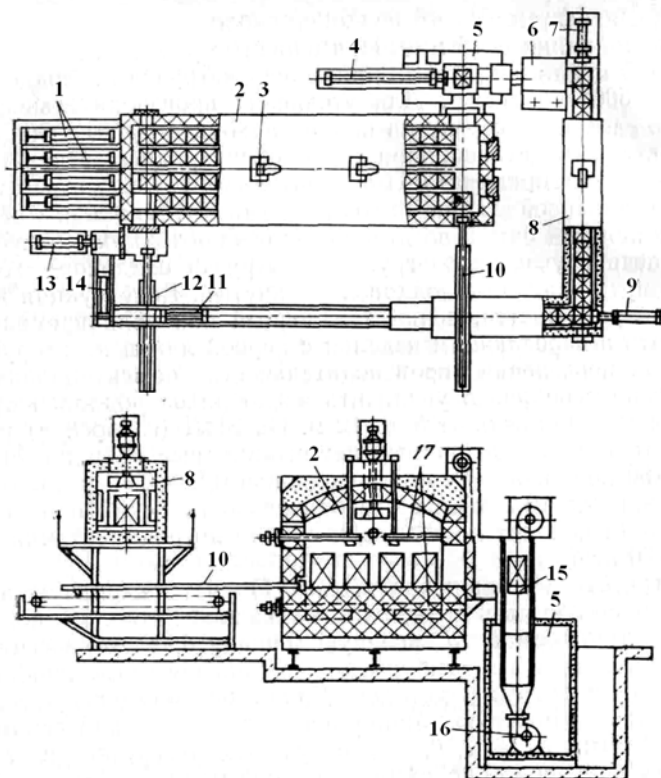


Рисунок 52 – Чотирирядний безмуфельний агрегат ЗІЛ для газової цементації

В однорядних печах для нагрівання доцільно застосовувати вертикальні тупикові радіаційні труби 1 (рис. 53 а), вони забезпечують рівномірність нагрівання й автоматичну компенсацію подовження труб при нагріванні. У дворядних печах (рис. 53 в) тупикові труби 1 розміщують горизонтально – в два ряди по висоті над і під виробами. Труби мають рекуператори, що дозволяють підвищити підігрівання повітря до 400-500°C і к. к. д. до 0,7, що дає економію палива 10-15%.

Оригінальне використання для перемішування атмосфери печі інжекційних пристроїв 2 замість вентиляторів (рис. 53 б). Робочий газ відсмоктується з печі й через сопло знов надходить у піч під тиском 0,2 МПа, інjektуючи пічну атмосферу. Система забезпечує активний масообмін, прискорювальний процес цементації. При високих температурах вона надійніша внаслідок відсутності частин, що обертаються, але для забезпечення циркуляції пічної атмосфери необхідно створити високий коефіцієнт інжекції (не менше 20-30). Ця система перемішування застосовується на автомобільних заводах. У ряді конструкцій інжектори розміщують у другій, третій і четвертій зонах склепіння безмуфельної цементаційної печі.

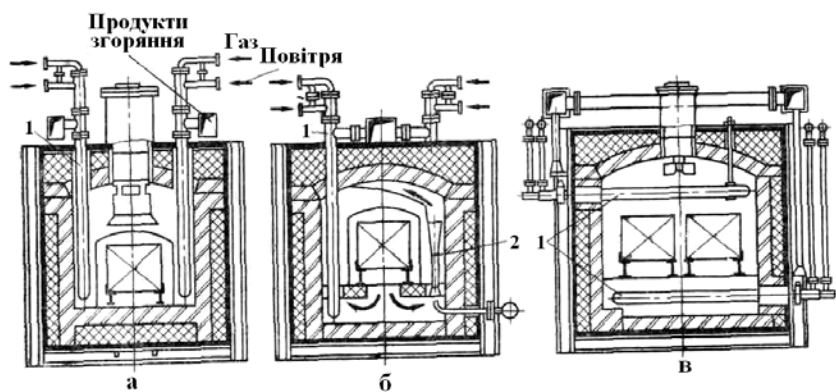


Рисунок 53 – Поперечні розрізи безмуфельних печей з тупиковими радіаційними трубами: а – однорядний з вертикальними тупиковими трубами; б – однорядний з вертикальними тупиковими трубами та інжекційним пристроєм; в – дворядний з горизонтальними тупиковими трубами

Рекомендується для завантаження цементаційних й інших печей безперервної дії застосовувати вакуумні шлюзи як дешевший спосіб порівняно з продуванням форкамер газом.

У серійному виробництві для цементації деталей з подальшим гартуванням широко застосовують універсальні механізовані агрегати, що містять камерну піч з контрольованою атмосферою і герметично закритий тамбур із гартівним баком. Печі типу СНЗМА нагріваються електричними елементами, а печі типу ТНЗМА з радіаційними трубами, що опалюються газом. Часто агрегати з блокуються з мийною машиною 2, електричною піччю 1 для низького відпуску, стендом 4 для комплектування виробів і обслуговуються механізованим візком 5, що має ланцюговий штовхальник – виштовхувач (рис. 54).

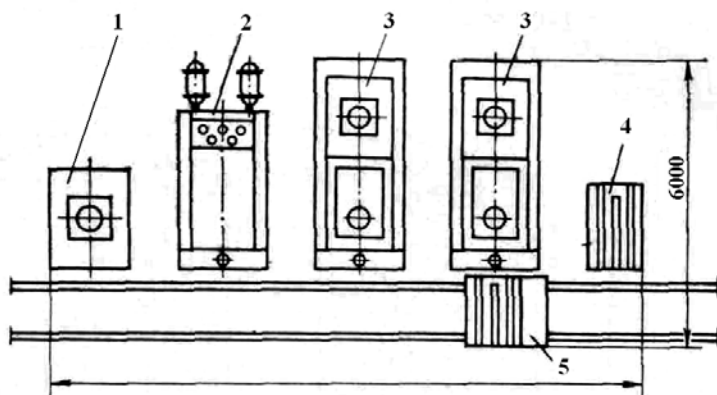


Рисунок 54 – План ділянки з універсальними камерними печами (типу СНЗМА або ТНЗМА) для цементації

У разі вакуумної цементації деталі поміщають у камерну піч, яку вакуумують до тиску 10^{-4} Па, і нагрівають їх до 1050°C . У піч подають природний газ, підтримуючи його тиск 15-20 кПа протягом усього процесу. Поверхню деталі науглецьовують до вмісту вуглецю 1,3-1,4%. Після закінчення насичення вуглецем подачу газу припиняють. Піч знову вакуумують, здійснюючи дифузію вуглецю з поверхні вглиб металу до вмісту вуглецю на поверхні 0,9%. Потім проводять гартування, переміщаючи піддон із деталями в гартівний бак форкамери печі. Для камерної

печі місткістю 200-300 кг глибину цементованого шару 1,2-1,4 мм можна отримати при часі першого періоду насичення вуглецем 30 хв, другого періоду - дифузії у вакуумі 50 хв.

Застосування вакуумної цементації в печах неперервної дії викликає значні труднощі.

При хіміко-термічній обробці у ваннах з киплячим шаром для киплячого шару використовують оксиди Al_2O_3 , SiO_2 з діаметром частинок близько 0,1 мм. У разі цементації в середовищі природного газу при його спалюванні з $\alpha = 0,3$ і додавання вторинного природного газу в кількості 25% втулки ланок гусениці трактора зі сталей 20Г і 20Х при 950°C науглецьовуються на глибину 2,2-2,8 мм за 12-16 год. При цементації в киплячому шарі зуби шестірень зі сталі 12ХНЗА при 960°C науглецьовуються на глибину 0,7 і 1,5 мм, відповідно за 2 і 6 год.

При цементації в реторті з киплячим шаром (суміш азоту з парами метану) при 930°C на зубчастих колесах був отриманий шар 0,6-0,7 мм з концентрацією вуглецю в поверхневому шарі 0,8%; твердість після гартування HRC 65-66.

При азотуванні в киплячому шарі в середовищі аміаку або суміші газів 75% NH_3 + 25% CH_4 при 510 і 560°C отримали скорочення часу процесу майже вдвічі.

Як приклад термічного цеху масового виробництва з використанням потокових ліній на рис. 55 наведений план чистового термічного цеху під час виробництва автомобілів на випуск 30 тис. т деталей на рік. З них близько 65% усього тоннажу становить хіміко-термічна обробка (ХТО) з безпосереднім гартуванням після цементації або гартуванням зі спеціального нагрівання з подальшим низьким відпуском. Для ХТО застосовуються штовхальні безмуфельні одно- або багаторядні агрегати, що нагріваються газовими радіаційними U-подібними трубами або електричними нагрівальними елементами.

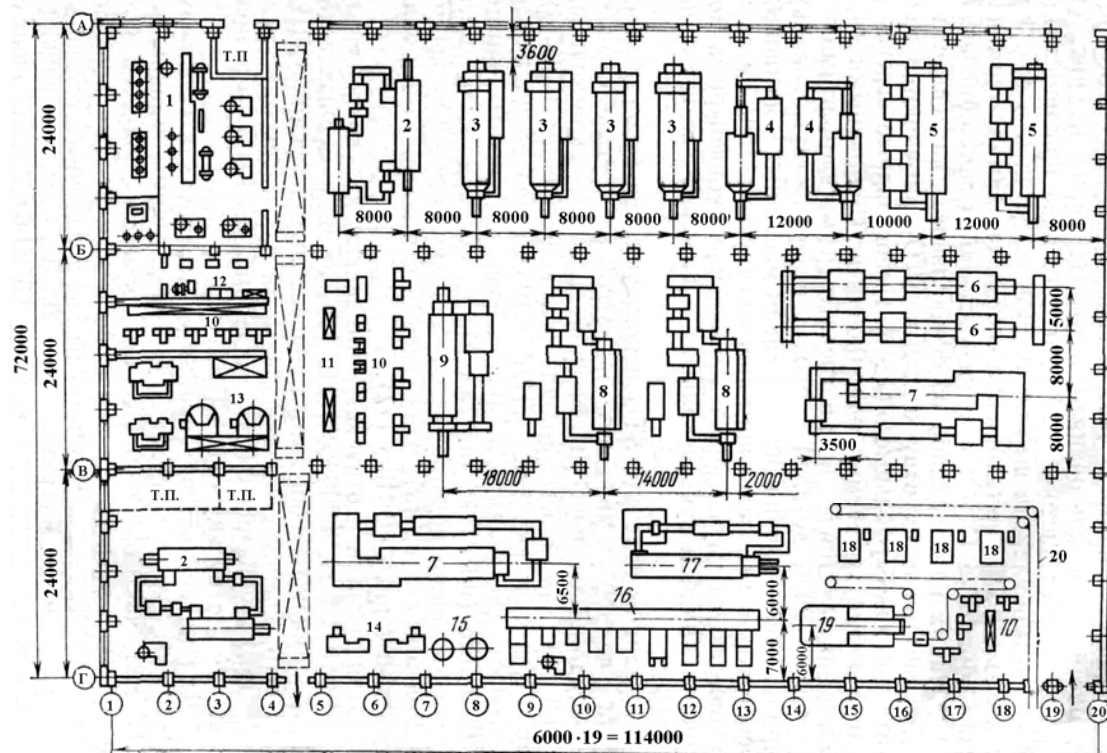


Рисунок 55 – План чистового цеху масового виробництва для термічної обробки деталей автомобіля

Близько 20% деталей проходять поверхнєве гартування при нагріванні СВЧ із використанням машинних і лампових генераторів з подальшим низьким відпуском. 15% деталей піддаються поліпшенню із застосуванням конвеєрних поточних ліній та універсальних камерних печей типу СНЦА.

У даному цеху для ХТО використовують два газових агрегати з повною термічною обробкою (2); чотири газових 21-піддонних з безпосереднім гартуванням – конструкція ЗІЛ (3); дві газові 9-піддонні конструкції ЗІЛ (4); два електричні типи СТЦА 6.105.4/10 зі спеціальним нагріванням для гартування 5; дві газові дворядні фірми «Eichelin» (ФРН) 7; два газових з перекристалізацією і подальшим підігріванням для гартування деталей із хромонікелевих сталей (8); один газовий для півосей 9 і один газовий фірми «Birlik» (17).

Для гартування з відпуском застосовують два конвеєрні агрегати СКЗА 4.300.2/9 (6). Агрегат з камерних печей (16), що містить три універсальні печі СНЦА 5.10.5/10, мийну машину, дві печі для низького відпуску (праворуч) і універсальну піч фірми «Michelin», мийну машину і відпускну піч (зліва).

Для поверхневого гартування з нагріванням СВЧ передбачено чотири верстати з генераторами потужністю 250 кВт, частотою 2500 Гц для гартування півосей (18) і піч для низького відпуску з підвісним ланцюговим конвеєром (19). Також передбачено дві гартівні установки з ламповими генераторами по 100 кВт, частотою 66000 Гц (14) з двома шахтними печами СШО-6.6/3 для низького відпуску (15). Цех має ізольоване приміщення (1) з ендо- і екзоустановками для одержання контрольованих атмосфер; три ділянки з тринадцятьма правильними пресами (10), ділянки контролю якості деталей (11 і 12) з твердомірами, заточувальними наждачними верстатами і магнітним дефектос-

копом УМАО-7000. Після термічної обробки здійснюється дробоструминне очищення деталей від окалини і дробонаклеп, для чого є два круглі столи і дві прохідні машини (13). Для місцевого захисту від цементації передбачена спеціальна ділянка покриття деталей пастою.

Транспортування деталей у цех проводиться ланцюговим конвеєром (20) й електрокарами, а всередині цеху – мостовими кранами та електрокарами.

Нижче наведений ряд поточкових ліній і агрегатів для термічної обробки деталей машин.

Схема ділянки для гартування і відпуску ланок гусениць трактора, що виготовляються зі сталі 40, наведена на рис. 56. Ланки з механічних верстатів 1 подають конвеєром 2 у штовхальну піч 3. Деталі загартовують у конвеєрному баку 5, а піддони конвеєром 4 знову прямують під завантаження. Далі ланки проходять відпуск у конвеєрній печі 6, їх замочують у бак 7, подають на конвеєр 8 і підвісним конвеєром 9 доставляють на ділянку складання тракторів. Якщо ланки йдуть як запасні частини, то конвеєр 8 скидає їх у ківш 10 скіпового підйомника, який вантажить їх в автомашини. Продуктивність однієї лінії – 150-200 шт/год.

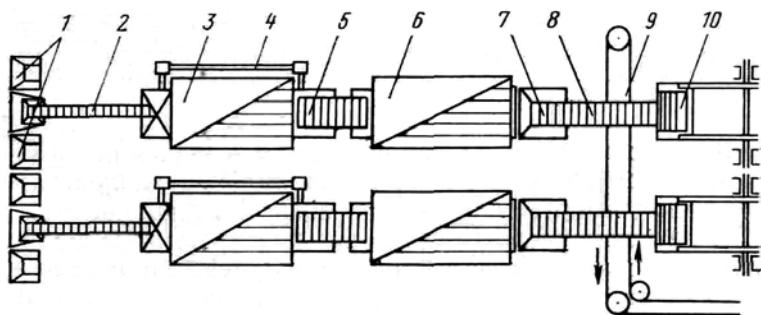


Рисунок 56 – План ділянки для термічної обробки ланок гусениць тракторів

Ланки гусениць із сталі типу 110Г13Л проходять лише гартування з 1100°C у воді після нагрівання їх у штовхальній печі. У бак скидають лише ланки, а тара (підставки) провалюється в спеціальну камеру і доставляється до завантажувального кінця печі.

Довгі передавальні вали, піввісь, колінчасті вали для зменшення викривлення при гартуванні нагрівають і гартують у вертикальному положенні. У масовому виробництві хороші результати дає застосування коридорних печей з нагріванням деталей на підвісках. На рис. 57 наведена схема агрегату для нагрівання і гартування автомобільних піввісей у вертикальному положенні. Півосі навішуються на спеціальні підвіски 1, які надходять у коридорну піч 2 і проштовхуються по напрямних 3, розміщених під склепінням печі. Після нагрівання підвіска з півосями витягається з печі спеціальним механізмом на напрямні 4, що мають вертикальне переміщення від пневматичних циліндрів. При опусканні напрямних вниз півосі охолоджуються в гартівному баку 5. Рух підвісок у печі найпростіше здійснюється за допомогою пневматичного штовхальника. Пальники печі розміщені в нижніх топках, що забезпечує високу рівномірність нагрівання по ширині печі. При контрольованій атмосфері обігрівання деталей можна проводити радіаційними трубами. Відпускна піч має аналогічну конструкцію. Продуктивність агрегату – до 200 півосей на годину.

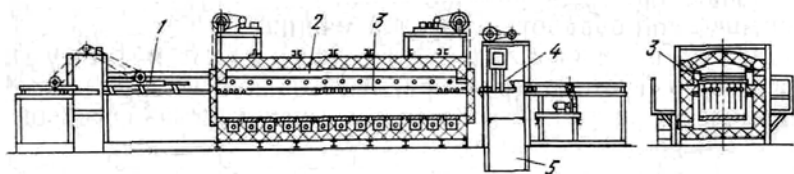


Рисунок 57 – Схема потокового автоматизованого агрегату для гартування і відпуску автомобільних осей з нагрівом у вертикальному положенні на підвісках

При нагріванні до високих температур (900°C і вище), доцільно рух підвісок винести з печі, як це показано на рис. 58 газової печі для нормалізації колінчастих валів. У склепінні печі влаштований подовжній проріз, по якому рухаються підвіски з укріпленими на них валами. Подовжня щілина зверху закривається спеціальними пластинами, укріпленими на підвісках і які переміщаються з ними. Робочий простір печі в завантажувального і розвантажувального торців має похилі коридори з кінцем зведення нижче за рівень поду печі, що створює теплову завісу, знижуючи втрати тепла. При використанні контрольованих атмосфер печі з метою герметизації робочого простору забезпечуються форкамерами для завантаження півосей (валів) і для гартування.

Потокова лінія для термічної обробки дрібних деталей (роликів, гайок, кульок та ін.) наведена на рис. 59. Для нагрівання під гартування застосовується барабанна піч 2, завантаження в яку проводиться пластинчастим конвеєром 1 з бункера. Після гартування деталі шнековим конвеєром доставляються в галтувальний барабан 3 для очищення від окалини. З барабана деталі шнековим пристроєм подають на конвеєр відпускної печі 4. Після відпуску на установці 5 коерцитиметром контролюються твердість і структура оброблених деталей. Барабанна піч має реторту діаметром 400 мм завдовжки 2,5 м з продуктивністю до 100 кг/год, при встановлювальній потужності 100 кВт. Відпускна піч – типова, конвеєрна на низькі температури (до 700°C) з трьома регульованими температурними зонами, загальною потужністю 70 кВт, з продуктивністю до 100 кг/год. Галтувальний барабан має шнек діаметром 300 мм, завдовжки 2,5 м.

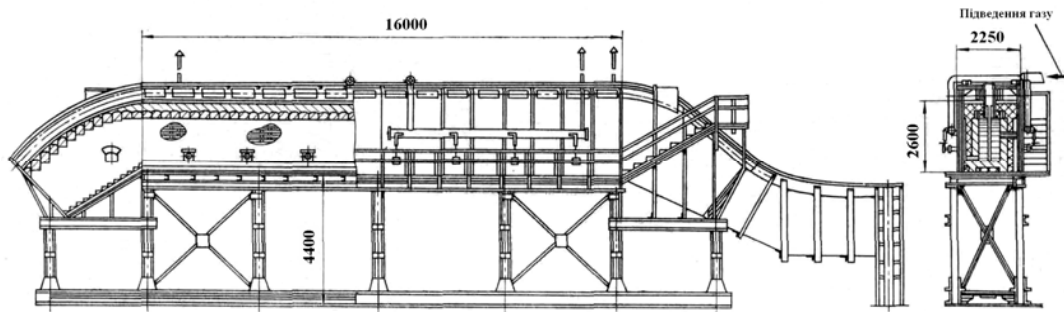


Рисунок 58 – Схема коридорної печі для нормалізації колінчастих валів із нагрівом у вертикальному положенні на підвісках

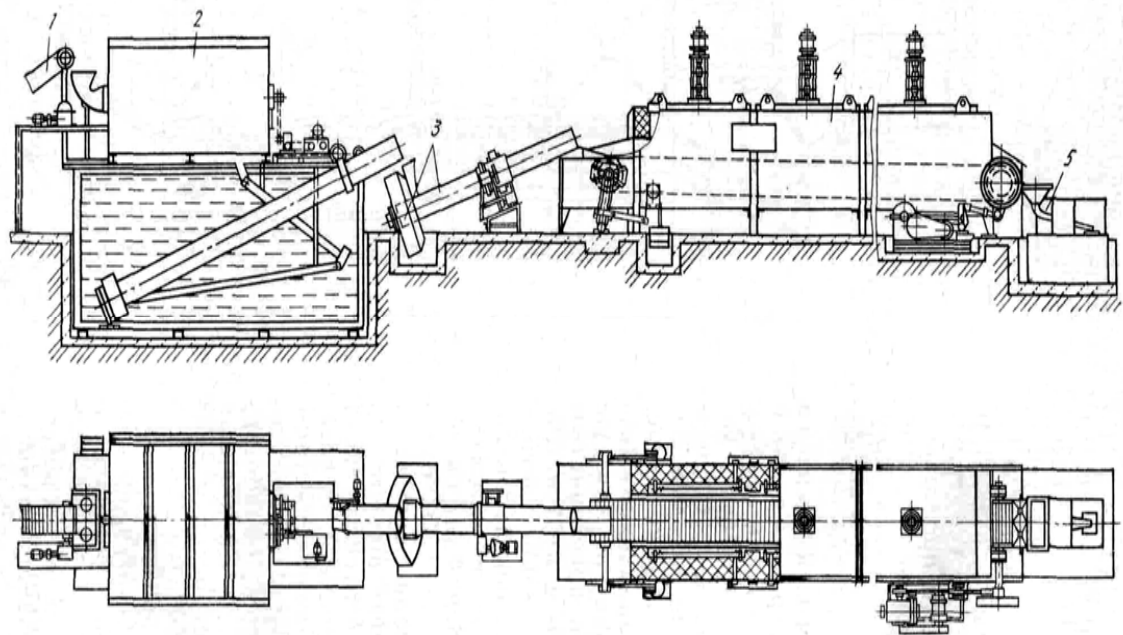


Рисунок 59 – Поточкова лінія для термічної обробки дрібних деталей із вбудованим гальтувальним барабаном та коерцитиметром

У потокових лініях машинобудівних заводів замість нагріву в печах часто застосовують індукційне або контактне електронагрівання, а також нагрівання променем лазера, в електролітах, газокисневим полум'ям. При таких способах нагріву потокові лінії виходять компактнішими, скорочується час операції, полегшується автоматизація процесу, створюються кращі умови праці. Крім того, з'являється можливість вбудовувати агрегати для термічної обробки в загальний потік виготовлення деталей у механічних і складальних цехах.

У потоках механічних цехів автотракторних заводів часто застосовується гартування з нагріванням СВЧ для колінчастих валів, кулачкових валиків, пазових валів, шестерень з обробкою по зубу і западині, гільз двигунів внутрішнього згорання, катків, тарілок штовхальників, клапанів, важелів і так далі.

Верстати, що застосовуються на машинобудівних заводах з нагріванням СВЧ детально описані в літературі.

Часто установки для гартування деталей СВЧ розміщуються у потоці між верстатами механічної обробки. На рис. 60 а подана схема гартування шийок колінчастого вала СВЧ. По рольгангу 1 колінчасті вали надходять до двох гартівних верстатів 2 СВЧ, далі на преси 3 і в штовхальну піч 4 для низького відпуску. Після охолодження на рольгангу 5 здійснюються огляд і контроль якості на столах 6. Машинні генератори, конденсаторні батареї і розподільні пристрої винесені в ізольоване приміщення 9. Поряд із приміщенням генераторів знаходяться водяний бак 8 (позначений штриховими лініями) і насоси 7.

На рис. 60 б наведена діляниця для гартування СВЧ внутрішньої поверхні гільз. Гільзи наводяться з верстатів механічного цеху по похилих напрямних 1 до двох столів 2, проходять гартування на двох вертикальних верстатах 3 і по похилому жолобу 4 прямують до прохідної відпускної печі 5. Після відпуску гільзи по похилому жолобу доставляються на столи 6 для контролю. Верстати працюють від двох лампових генераторів, розташованих у приміщенні 7.

Ділянка для гартування зубів шестірень СВЧ показаний на рис. 60 в. Шестірні по рольгангу 1 надходять до столів 2, трьох гартівних верстатів 3. Після гартування шестірні проходять низький відпуск у двох шахтних вентиляторах печях 4. Дробоструминний наклеп западин зубів шестірні проводиться на дробометах 5. Гартівні верстати живляться від машинних генераторів, встановлених у приміщенні 6.

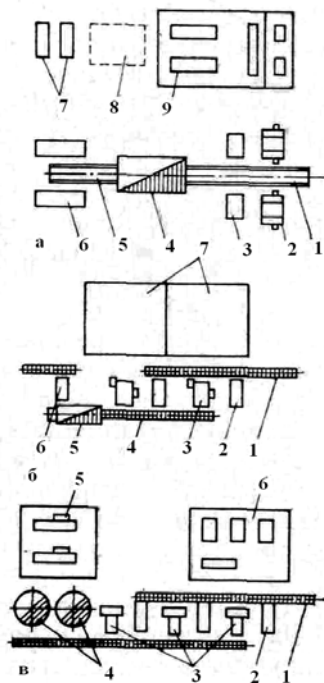


Рисунок 60 – Розміщення верстатів для термічної обробки з нагріванням СВЧ у потоці механічних цехів: а – ділянка гартування шийок колінчатих валів; б – ділянка для гартування внутрішньої поверхні гільз; в – ділянка загартування зубів шестірень

При обслуговуванні установок СВЧ істотне значення має застосування транспортних роботів. На рис. 61 показана схема ділянки для гартування з нагріванням СВЧ шестірень, що обслуговується роботом 5. Шестірня 6 знімається зі штока вилкою 7 і подається важелем 1 в індуктор 8.

Правий бік важеля маніпулятора передає нагріту шестірню на платформу гартівного бака 2, з якого транспортером вона надходить у відпускнну конвеєрну піч 3 і розвантажується в тару 4.

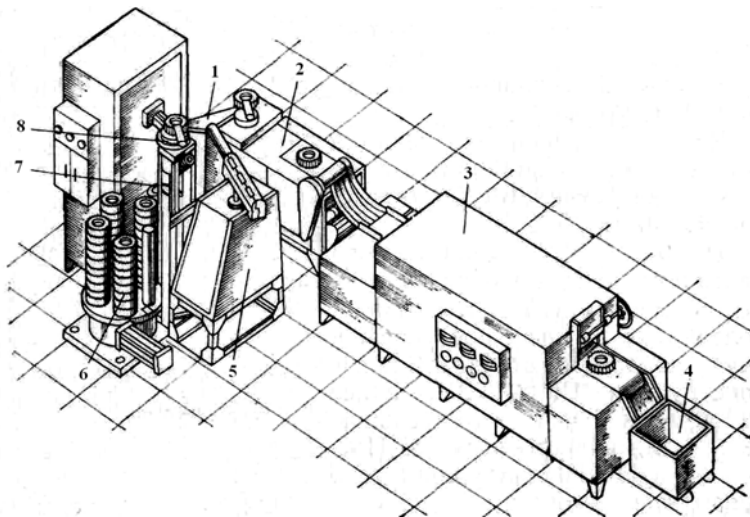
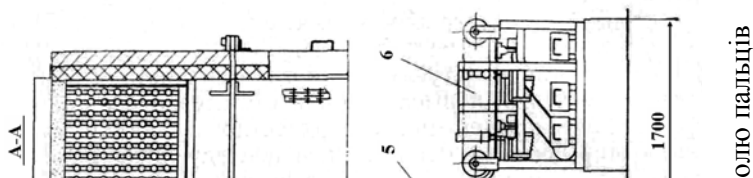


Рисунок 61 – Потокова лінія з нагріванням шестірні СВЧ, що обслуговується роботом

Гартування деталей при нагріванні СВЧ та струмами промислової частоти (т. п. ч.) і газополуменевому нагріванні успішно використовується в дрібносерійному виробництві. Застосування замість об'ємного гартування шестерень поверхневого гартування зубів з нагріванням СВЧ або газополуменевим нагріванням дозволило замінити леговані сталі 30ХН1М і 40ХН на вуглецеву сталь 45. Поверхневе гартування з нагріванням СВЧ підвищило стійкість зірочок. Великий ефект дає застосування поверхневого гартування замість хіміко-термічної обробки з подальшим об'ємним гартуванням. Застосування гартування з нагріванням СВЧ (замість цементації) поршневих пальців трактора ско-

ротило тривалість операції в 20 разів, знизило їх вартість і дозволило використовувати замість легованої сталі вуглецеву сталь 45.

На рис. 62 наведена потокова лінія для термічної обробки і контролю пальців, що виготовляються зі сталей 40X і 38XC з застосуванням під гартування контактного електронагрівання. Пальці надходять з бункера через похилий лоток і конвеєр на затискання електроконтактної машини 1. Нагрітий палець захоплюється двома штоками спеціальної каретки, яка переносить його на два нижні обертові ролики барабанної гартівної машини 2, де вона затискається третім роликом за допомогою штока гідравлічного циліндра. Барабанна машина має шість позицій. Після гартування палець захоплюється важелями і переноситься в мийну машину 3 і далі для відпуску в електричну піч 4 з вертикальним конвеєром, що робить чотири повороти. Після охолодження в камері 5 палець надходить в автомат 6 контролю твердості й викривлення. Контроль твердості здійснюється коерцитиметром, а викривлення – за допомогою вимірювального пристрою, що містить по довжині пальця три електроконтактних датчики. Розсортування бракованих пальців за твердістю здійснюється у два бункери, в один за заниженою, а в іншій – за завищеною твердістю. Пожолоблені пальці прямують у третій бункер. Сортувальні пристрої керуються електромагнітами, що автоматично скидають виріб при сигналах браку. Електромагніт повертає напрямні планки, відправляючи браковані пальці в той або інший бункер. Придатні пальці проходять через контрольний апарат і вивантажуються на його кінці. Нагрівання під гарт до температури 1050°C проводять протягом 10-14 с, гартування здійснюють у веретенному маслі з витримкою в гартівному середовищі до 90 с. Температура відпуску пальців – $440-480^{\circ}\text{C}$, тривалість витримки в печі – 36 хв. Деталі від масла відмивають



у 5-10% розчині соди, нагрітому до 70-90°C. Темп видачі пальців - 24 с, при цьому продуктивність агрегату стано-

вить 150 пальців/год, або 250 кг/год. Потужність трансформатора машини електроконтактну – 150 кВт. Напруга вторинної обмотки – 6-8 В. Температура нагріву пальця регулюється фотопірометром, який після нагрівання пальця до даної температури дає команду на вимикання струму і відведення затисків електроконтактів. Потужність калорифера відпускнуї печі – 45 кВт. Потужність привода конвеєра – 3,5 кВт.

На рис. 63 наведений план потокової лінії для термічної обробки і контролю тонких кілець і прокладок, що виготовляються зі сталей 45, 30ХГС та ін. з нагрівом під гартування СВЧ і відпуском в електроштампах.

Кільця укладаються стопкою по 30-60 шт. у спеціальний бункер 1, звідки поштучно подаються для нагрівання СВЧ спочатку під перший індуктор 2, потім під другий індуктор 3. Індуктори петльового типу, тривиткові: два витки розміщено зверху кільця й один – знизу. Обидва індуктори працюють від одного генератора потужністю 100 кВт із частотою струму 8000 Гц. Загальний час нагрівання кільця $40 \times 2 = 80$ с. Переміщення кілець з бункера під індуктори і їх видача на гартівну машину здійснюються лапами, що коливаються, наводяться у зворотно-поступальний рух гідравлічним циліндром.

Крайньою правою лапою 4 кільце з першого індуктора укладається в штамп 5 одного з чотирьох пресів карусельної гартівної машини. Затиск кілець у штампах і опускання в бак проводиться вертикальним гідравлічним циліндром.

Поворот каруселі в баку здійснюється гідравлічним циліндром 7 через кривошип 6 і храпову передачу. Храпове кільце вмонтовується на валу каруселі й має чотири зуби, що забезпечує поворот каруселі на $1/4$ кола. Для

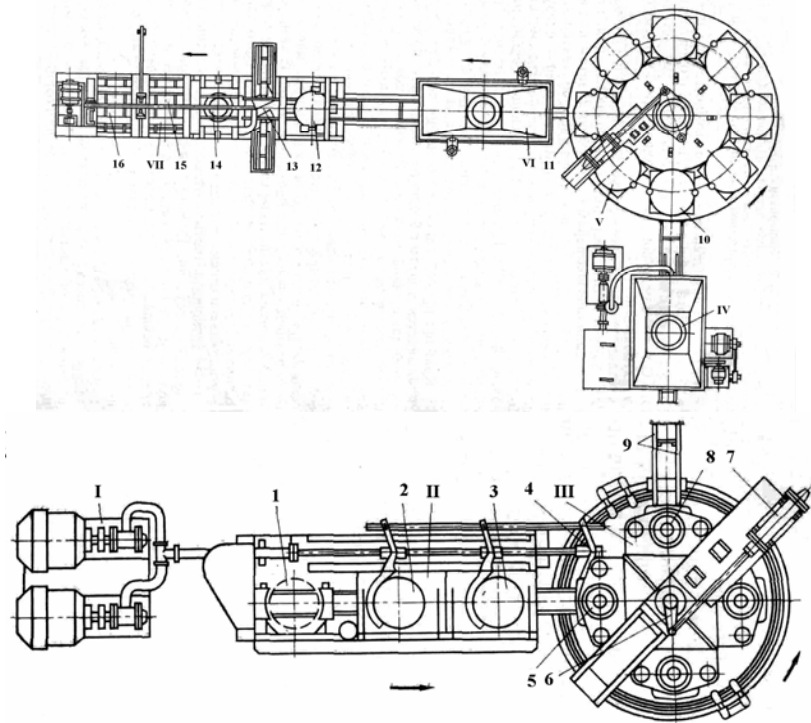


Рисунок 63 – Потокова лінія для загартування, відпуску й контролю кілець і прокладок

охолодження масла всередині бака розміщений змійовик із проточною водою. Із четвертої позиції 8 преса кільце передається на промивання в мийну машину за допомогою зворотно-поступального руху спеціальної каретки. На каретці закріплено дві рейки 9 зі втоплюючими кулачками. Під час руху каретки вперед кулачки захоплюють кільця і переміщують їх на чергові позиції. Перша пара кулачків захоплює кільця з позиції гартування, друга передає на промивання, третя здійснює рух усередині мийної машини і четверта завантажує кільця в електроштамп 10 відпускної печі.

Відпускна піч виконана у вигляді каруселі, на якій закріплено вісім електроштампів. Затиск кілець проводиться верхньою частиною штампа. Розкриття штампів здійснюється за допомогою копіїв на позиціях завантаження 10 і розвантаження 11. На останніх позиціях відбувається нагрівання дисків з тривалістю витримки близько 4 хв. Поворот каруселі здійснюється храповим механізмом від гідравлічного циліндра аналогічно гартівній машині. Храпове колесо має вісім зубців, що забезпечує поворот каруселі на 1/8 частину оберта за час одного руху штока циліндра. Загальна потужність нагрівальних елементів каруселі – 32 кВт. Температура в штампах регулюється автоматично. З останньої позиції 11 відпускної печі кільце знімається кулачками рейкового транспортера і передається в установку для швидкого охолодження після відпуску і сушіння гарячим повітрям. Кільця, що знаходяться в затиснутому стані, в установці 12 швидко охолоджуються водою. Затискування проводиться верхнім штампом, що приводиться в рух гідравлічним циліндром. Волога віддаляється гарячим повітрям.

Кільця після сушіння доставляються кулачками рейкового механізму в автомат для контролю твердості й жолоблення, після чого вони сортуються на придатні й брак. Пе-

ред контролем кільця потрапляють в нагромаджувач 13. Нагромаджувач являє собою кільцевий бункер, дно якого переміщається вертикально. Проведене переміщення до рівнює товщині кільця і регулюється контактором датчика. Передача кільця з нагромаджувача на позицію контролю твердості здійснюється транспортером нагромаджувача.

Контроль твердості здійснюють у двох діаметрально протилежних точках кільця втискуванням діамантового конуса (шкала HRC) на твердомірах 14. Кільце, яке надходить на позицію контролю, підтискається до діамантових конусів підйомником; електрична схема фіксує результат контролю твердості. Після цього підйомник опускається і кільце звільняється. Командоапаратом вмикається транспортер, який переміщає кільце на позицію 15 для контролю жолоблення.

Жолоблення контролюється в кільцях у шістнадцяти точках, рівномірно розміщених по його колу. Кільце, що надійшло на позицію 15, укладається на два аретири, які, опускаючись вниз, установлюють кільце на базову плиту. Потім вмикаються датчики, які фіксують відхилення по двох вимірювальних позиціях. При сигналі браку від будь-якої вимірювальної позиції деталь прямує в приймальний бункер браку 16. Придатне кільце пропускається в приймач готових деталей.

У роторних лініях дуже успішно застосовують повну автоматизацію за допомогою транспортних роботів. Схема роторної лінії для термічної обробки тонких кілець наведена на рис. 64 а. Основна лінія складається із таких технологічних роторів: індукційного нагрівання 8 на дві установки, гартівної машини 6 на чотири преса, восьми відпускних електричних пресів 4 і контрольного автомата 2 на чотири позиції. Обслуговують дані агрегати транспортні роторні роботи 9, 7, 5, 3, 1. Окрім транспорту, ці роботи

здійснюють ще й технологічні операції: робот 5 – відмивання від гартівного масла, 3 – охолодження водою і сушіння гарячим повітрям, 1 – автоматичне розділення кілець на придатні і брак, 9 – бункер-накопичувач. Транспортні роботи забезпечуються різного роду пристосуваннями, що автоматично діють: захватами 1 із пневматичним приводом 2 (рис. 64 б), підпружинною планкою (рис. 64 в), перештовхувачем 1, кулачком 2, що приводиться в рух (рис. 64 г), які копірами дозволяють транспортувати деталі між робочими роторами, що обертаються з різними швидкостями (рис. 64 д).

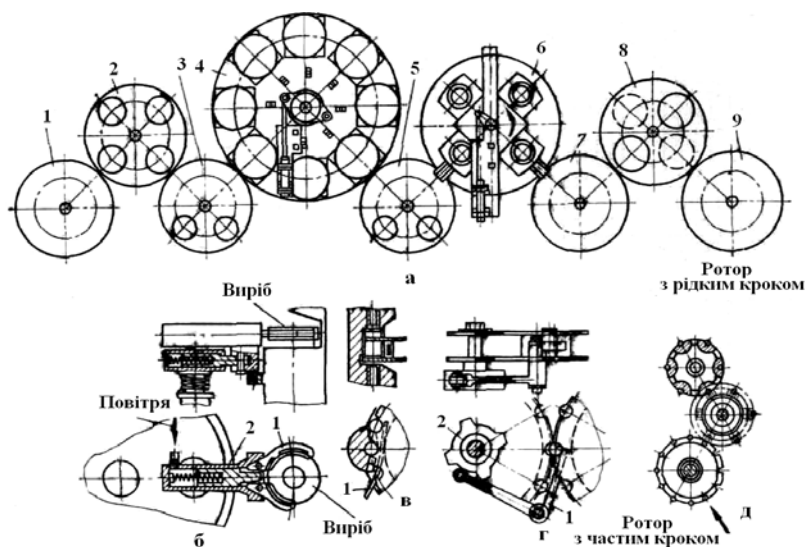


Рисунок 64 – Роторна лінія для обробки тонких кілець з обслуговуванням транспортними роторами

Найбільш поширеними деталями сільськогосподарських машин (крім тракторів і комбайнів) що піддаються термічній обробці, є: втулково-роликові й гачкові ланцюги, сегменти, лемеші, відвали, грабельні зуби та ін.

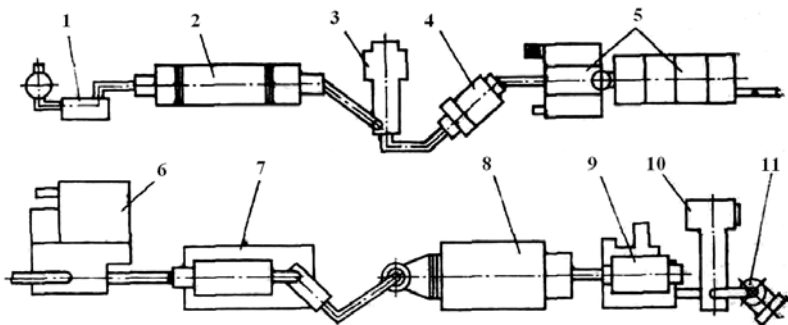


Рисунок 65 – Потокова лінія для виготовлення і термічної обробки роликів і втулок ланцюгів Галля (потокова лінія нарисована в два ряди)

На рис. 65 наведена схема потокової лінії для термічної обробки деталей роликів ланцюгів (втулок і роликів). Виготовляються вони з низьколегованої сталі, основним технологічним процесом є цементация на глибину 0,2-0,3 мм з подальшими гартуванням і низьким відпуском. Процес виготовлення починається із згортання втулки або ролика зі стрічки на спеціальному автоматі 1, далі йде фосфатування з поєднанням в одному агрегаті 2 двох процесів: знежирення і травлення. Після калібрування протяжкою через фільтри на верстаті 3, промивання в 10% розчині соди і сушіння в барабані 4 деталі надходять на газову цементацию в барабанну піч 5 з подальшим безпосереднім гартуванням. У загартованих втулок і роликів шліфуються торці на верстаті 6, потім вони піддаються галтуванню для зняття задирок у прохідному барабані 7 і відпуску в муфельній барабанній печі 8 з подальшим замочуванням у воді. Після сушіння в барабанному агрегаті 9 і обдування фасок в установці 10 проводиться 100% контроль розмірів діаметра і довжини на карусельному здвоєному автоматі 11 з одночасним рахунком деталей. Агрегати зв'язані в єдиний потік елеваторними конвеєрами. Частина агрегатів має буферні накопичувачі на випадок невеликих простоїв де-

яких установок. Загальна довжина потокової лінії – 50 м. Застосування потокової лінії знизило трудомісткість виготовлення ланцюгів у 6 разів, а собівартість – удвічі.

Автоматична лінія виготовлення і термічної обробки гачкових штампованих ланцюгів схематично показана на рис. 66. Термічна обробка гачкових ланцюгів полягає в гартуванні з 950°C у воді й відпуску при 450°C. Оригінальним в установці є те, що оброблюваний ланцюг сам є транспортером. Ланцюги виготовляють із стрічки, яка розмотується з рулона 1, промаслюється в пристрої 2 і подається під ексцентриковий прес 3, де послідовно відбуваються вирубка і загинання окремих ланок з одночасною їх прив'язкою до вже зробленого ланцюга. Якість в'язки ланцюга перевіряється на установці 4 шляхом розтягування за допомогою вантажу.

Потім ланцюг через акумулятор зачеплення 5 і компенсатор витрати 6 потрапляє в шахтну електричну піч 7, де нагрівається за два вертикальні проходи й охолоджується в баку 8. Відпуск після гарту проводиться в аналогічній шахтній електричній печі 9, після чого ланцюг промаслюється в баку 10 і через акумулятор зачеплення 11 потрапляє на верстат 12 для обкатки, а на установку 13 для контролю кроку. Через акумулятор 14 готовий ланцюг намотується в бунти на барабан 15.

Продуктивність лінії становить 27 млн ланок ланцюга на рік. Використання автоматичної лінії скоротило виробничу площу в 10 разів і підвищило продуктивність праці в 16 разів.

Схема потокової автоматичної лінії виготовлення і термічної обробки зубів тракторних грабелів наведена на рис. 67. Пруток для виготовлення зуба доставляється транспортером 2 з бункера-накопичувача 1 у двопозиційну електроконтактну установку 3. Тут він нагрівається у два етапи: на

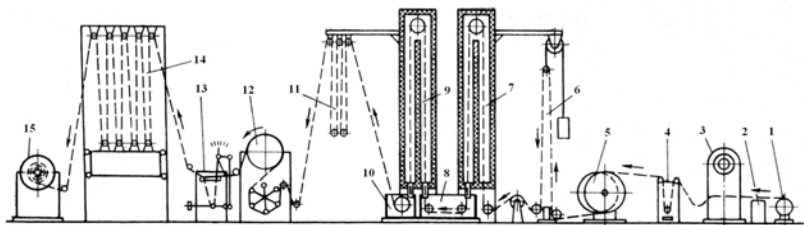


Рисунок 66 – Автоматична лінія виготовлення та термічної обробки гачкових деталей

першій позиції підігрівання до 600° , а на другій – кінцеве нагрівання до 1050°C . Для регулювання тривалості нагрівання використовується реле часу. Нагрітий пруткок надходить на верстат 4, де відбуваються навивка кільця, плющення і обрізання пера, і потім передається до преса 5 для згинання зуба по великій дузі. Виготовлений зуб загартовується з того самого нагрівання в ротаційній чотирипозиційній гартівній машині 6 у фіксованому положенні. Загартований зуб знежирюється у пристрої 7 і піддається відпуску в установці електроконтакту 8. Далі зуб охолоджується спочатку на повітрі, потім у водяному баці 9 і надходить у бункер-накопичувач 10, з якого розвантажується в тару. Темп випуску потокової лінії – 7,5 с, тривалість обробки одного зуба – 4,75 хв. Продуктивність лінії – до 2500 зубів за зміну.

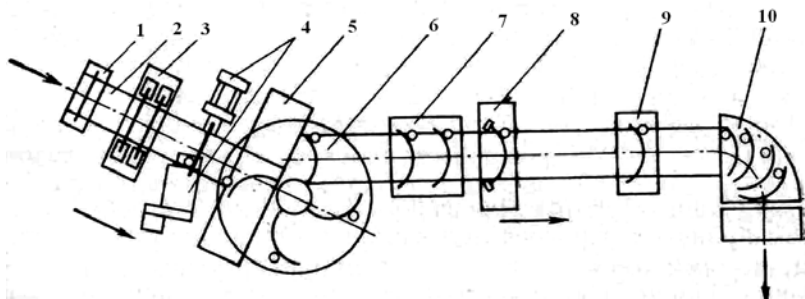


Рисунок 67 – Потокова лінія для виготовлення і термічної обробки зубів тракторних грабель

Схема автоматичної потокової лінії для гарту й відпуску сегментів подана на рис. 68. Сегменти завантажуються в лоток 1, з якого поштучно транспортуються грейфером 2 уздовж індуктора 3, при цьому відбувається нагрівання під гарт. Охолоджуються сегменти струменями масла над баком 4 під час їх безперервного руху. Після гарту сегменти проходять уздовж другого індуктора 5, де проводиться відпуск. Далі сегменти охолоджуються на повітрі і їх збирають в пачки спеціальним механізмом 7. Потім вони транспортуються в лоток-накопичувач 6. Робота всіх механізмів здійснюється від електродвигуна 9 через спеціальний редуктор 8 і копір на барабані 10. Обидва індуктори живляться від лампового генератора потужністю 50 кВт.

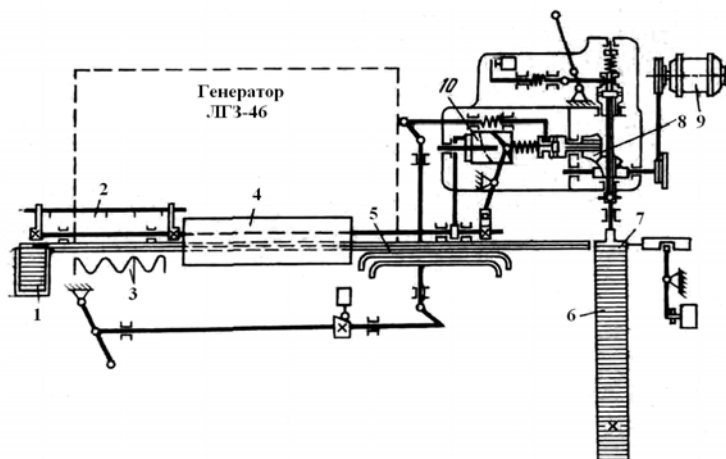


Рисунок 68 – Автоматична потокова лінія для термічної обробки сегментів

Потокова лінія для виготовлення і термічної обробки відвалів складається з печі з крокуючим подом для нагрівання під згинання, преса зі штампами для згинання і гартування відвалів і печі з ланцюговим конвеєром для відпуску. Аналогічна потокова лінія розрахована на випуск пів-

мільйона відвалів тракторних плугів на рік. На ділянці термічної обробки і згинання розміщені: прохідна гартівна електропіч із крокуючим подом, прес для одночасного згинання і гартування відвалів і відпускна конвеєрна піч. У потоковій лінії нагрівання під згинання, гартування і відпуск проводяться за допомогою СВЧ. Для поліпшення поверхні деталей і зняття окалини, що утворилася при термічній обробці, застосовують абразивно-рідинну обробку.

7.4. Термічна обробка фасонних виливків

Литі деталі широко застосовують у машинах, що виготовляються в масовій кількості, - це шестірні, зубчасті колеса, вінці, зірочки, бандажі, шківи, важелі, муфти, втулки, траки та ін.

Для литих деталей, що піддаються термічній обробці найбільш поширеними є сталі від 30Л до 50Л, 35ГЛ, 40ХЛ, 30ГСЛ, 35ХМЛ, 35ХГСФЛ, 30ХНМЛ, 15Х1М1ФЛ, 15ХЗМФА та ін. (ГОСТ 977-75). Велика кількість виливків виготовляється з корозійностійких, жаростійких і зносостійких сталей (ГОСТ 2176-77), з яких найбільш використовуються 20Х13Л і 10Х14НДЛ – для турбінних лопаток, клапанів; 10Х18Н9ТЛ для виливків, що піддаються корозійній дії; 15Х25ТЛ, 20Х20Н14С2Л, 20Х25Н19С2Л та ін. для деталей, що працюють при високих температурах; сталі типу 110Г13Л, 130Г14ХМФЛ – для траків і деталей, що піддаються зносу, при ударних навантаженнях.

Термічна обробка виливків першої групи зі сталей за ГОСТ 977-75 полягає в нормалізації з 900-920°C і високому відпуску при 600-650°C. Для виливків складної форми, в яких при охолодженні можливе утворення тріщин, доцільно застосовувати нормалізацію зі сповільненим охолодженням з температур 450-500°C. За вимоги підвищених властивостей застосовують поліпшення (загартування з

860-900°C і відпуском при 600-650°C) залежно від марки сталі й вимог, що ставляться).

Частина виливків, що працюють на знос (зуби шестірень, зірочок та ін.), зміцнюють поверхневим гартуванням, більш за все з нагріванням СВЧ.

Корозійно- і жаростійкі виливки з аустенітних й аустенітно-феритних сталей (10X18H9TЛ, 14X18H4Г4Л, 25X25H19C2Л, 20X20H14C2Л та ін.) піддають гартуванню з 1050-1100°C у воді або маслі; з мартенситних сталей (20X13Л, 10X14HДЛ та ін.) - гартуванню з 1050-1100°C у маслі й відпуску при 750°C (для сталі 20X13Л) і 660°C (для сталі 10X14HДЛ). Феритні сталі типу 15X25ТЛ піддають відпуску при 740-770°C з охолодженням на повітрі з метою підвищення ударної в'язкості. Виливки зі зносостійких аустенітних сталей 110Г13Л і 130Г14ХМФЛ гартують у воді з 1100-1150°C без відпуску.

Найбільш поширеними печами, що застосовуються для нормалізації, гартування і відпуску, є печі з висувним подом. При великій кількості однакових виробів невеликих розмірів (наприклад, траків) використовують штовхальні печі, причому потрібно прагнути до зменшення маси тари (піддонів, пристосувань). Наприклад, застосовуючи спеціальне укладання траків, можна обійтися без піддонів. Для виливків, що вимагають індивідуальну видачу, для гартування у пресах хороші результати дає застосування для нагрівання карусельних печей.

Для поверхневого зміцнення використовують установки з нагріванням СВЧ і спеціальні гартівні столи, що обертаються, із спреєрним охолодженням поверхні виливків. Як додаткове устаткування застосовують дробоструминні столи і барабани для очищення виливок від окалини, зварювальні апарати для заварки раковин, зачисні наждачні верстати.

При масовому виробництві дрібних виливків для нагрівання під гартування, нормалізацію і відпуск у потоко-

вих лініях на низькі й середні температури (до 850°C) доцільно застосовувати конвеєрні печі, а на високі температури (900-1000°C) – штовхальні.

Схема конвеєрної автоматизованої лінії для термічної обробки (гартування з високим відпуском) й очищення від окалини дрібних виливків і поковок подана на рис. 69 а. Деталі з транспортного конвеєра 1 подають у завантажувальний бункер 2 і транспортером доставляють на стрічку конвеєра гартівної печі 3. Потім вони проходять гартування у конвеєрному баку 4, відпуск у конвеєрній печі 5, охолодження після відпуску у водяному конвеєрному баку 6 й очистку від окалини в дробоструминному барабані безперервної дії 7. Продуктивність лінії досягає 1,0-1,2 т/год при загальній довжині 35 м, установлювальна потужність – 400 кВт.

На рис. 69 б наведена схема автоматизованої потокової лінії для термічної обробки сталевих виливків і поковок з рухом деталей на піддонах з нагріванням у штовхальних печах.

Виливки або поковки на піддонах подаються електричною таллю на стіл 2 гартівних печі 3 і просуваються штовхальником 1 у піч. 3 печі піддони з деталями видаються кроковим транспортером 5 на платформу гартівного бака 4. Гартівний бак має платформу, що опускається і яка набирає вертикального руху від пневматичного циліндра. Зіштовхування піддона з платформи гартівного бака і завантаження у відпускну піч 7 здійснюються штовхачем 6.

Після відпуску поковки охолоджуються в баку 8, потім зачіпляються підвісним конвеєром 9 і на ньому очищаються від окалини в дробометальній прохідній камері 10, обладнаній чотирма дробометальними турбінами 11. Після очищення від окалини поковки переміщуються на візках 14 транспортера 13. Крайній лівий візок транспортера піднімається елеватором 12 на рівень підвіски, з якою виріб укладається на візок, потім візок знижується до рівня транс-

портера 13 і рухається по ньому далі. У кінці транспортера крайній правий візок нахилиється, і поковки або виливки зсипаються через лоток 16 у тару або на транспортер. Порожній візок по напрямних 15 знову подається під завантаження на елеватор 12. На транспортері 13 проводяться зовнішній огляд і контроль якості поковок або виливків.

7.5. Термічна обробка деталей підшипників

Деталлями підшипників кочення, які проходять термічну обробку, є зовнішні й внутрішні кільця, шарики і ролики. Конструкції і розміри підшипників різноманітні, їх зовнішній діаметр знаходиться в межах від 3 до 2700 мм (ГОСТ 3478-79). Основною маркою для виготовлення деталей підшипників є сталь ШХ15. Для кілець перерізом вище 35 мм і роликів діаметром більше 55 мм застосовують сталь ШХ15СГ з підвищеним вмістом марганцю (1,4-1,7%) і кремнію (0,55-0,85 %), виті ролики готують зі сталі ШХ10 (0,35% С). Для карданних і великогабаритних підшипників застосовують цементувальні сталі 15Г1 і 20Х2Н4А. За вимоги корозійної стійкості – сталі типу 95Х18, 110ХГ8М.

Деталі підшипників повинні володіти високою міцністю і твердістю (HRC 60-64), зносостійкістю, контактною витривалістю і достатньою в'язкістю. Знижують довговічність деталей підшипників неметалічні вclusions, карбідна неоднорідність, карбідна сітка; мікроструктура підшипникової сталі повинна відповідати ГОСТ 801.

З метою підвищення однорідності макроструктури і зменшення неметалічних вclusions стали для важконавантажених підшипників піддають електрошлаковому переплавленню (у цьому разі до позначення марки сталі в кінці додається літера Ш).

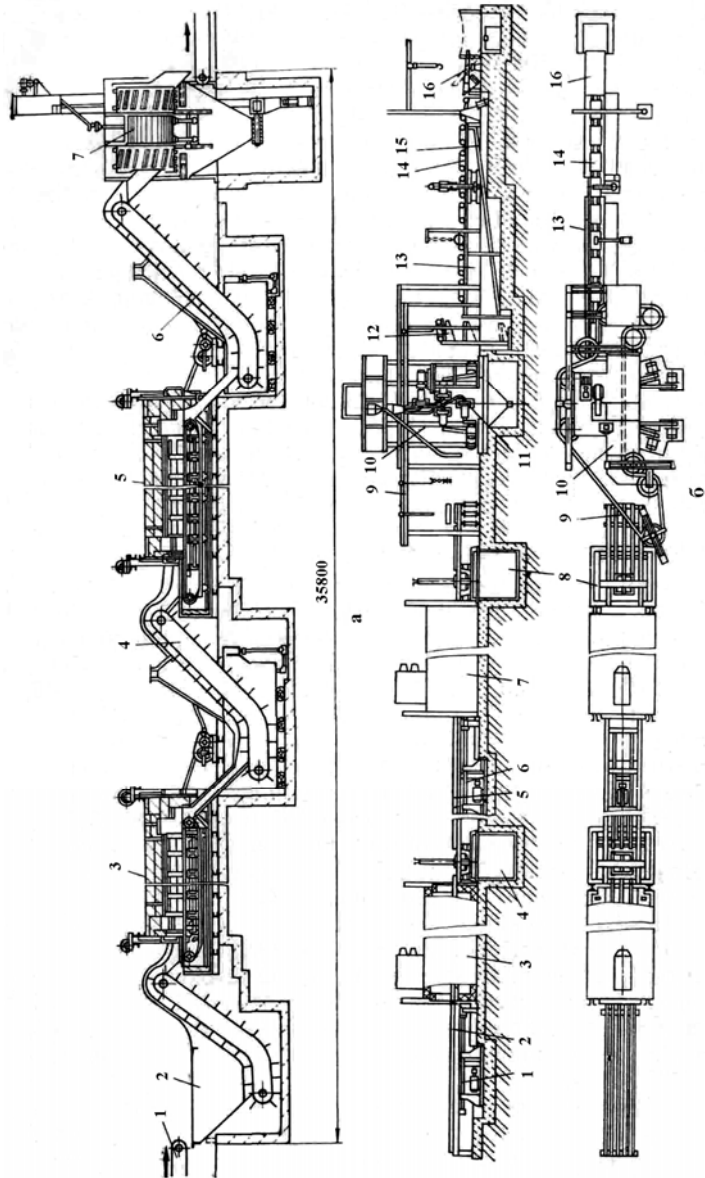


Рисунок 69 — Потокові лінії для термічної обробки й очищення поковок і виливків:
а — конвеєрна; б — зі штовхальними печами

Для кілець вихідним матеріалом служать труби і прутки. Виготовляють кільця штампуванням і куванням із розкочуванням. Кульки і ролики діаметром до 30 мм штампують у холодному стані з прутків, відпалених на зернисті карбіди, а з великим діаметром готують поперечними прокаткою або куванням.

Попередня термічна обробка заготовок (перед механічною обробкою) сталей типу ШХ15, ШХ15СГ полягає у відпалі на зернистий перліт з метою підвищення оброблюваності й підготовки структури до подальшого гартування. Режим відпалу: нагрівання до 800°C, витримка 1,5-3,0 год, прискорене охолодження до 730°C, повільне охолодження до 600°C зі швидкістю 20-30°C/год з метою утворення зернистого перліту і подальше охолодження на повітрі. За наявності сітки цементиту і великих неоднорідних глобулей карбідів застосовують попередню нормалізацію з 900-920°C. Твердість заготовок після відпалу знаходиться в межах НВ 179-217. Остаточна термічна обробка полягає в гарті з 820-850°C у маслі (30-60°C). Для підвищення рівномірності охолодження кільця діаметром 100 мм і вище при гартуванні приводяться в обертання або безперервне гойдання. Гартування тонкостінних кілець здійснюють у пресах.

Після гартування проводять низький відпуск при 150-170°C з витримкою 2-3 год. Великі кульки і ролики (діаметром більше 50-80 мм) охолоджують в 10% водному розчині NaCl. Для стабілізації розмірів і боротьби із залишковим аустенітом після гартування застосовують відмивання від масла і обробку холодом до -40°C.

Великогабаритні підшипники (діаметром до 2 м) виготовляють зі сталі 20Х2Н4А. Їх піддають газовій цементації при 930-940°C на глибину до 8-10 мм (при середній швидкості нарощування шару 0,05 мм/год) і охолодженню на повітрі. Далі проводять високий відпуск при 580-600°C з витримкою 10-15 год (з метою розпаду залишкового аус-

теніту і коагуляції карбідів), гартування з 800°C і низький відпуск при 160°C з витримкою 8-12 год. При цьому вміст вуглецю в поверхневому шарі мартенситу буде 0,8-1,0%.

Деталі карданих підшипників виготовляють зі сталі 15Г1. Їх піддають цементації при 940-950°C на глибину 1,0-1,4 мм протягом 6-7 год. Підстуджують до 850°C, гартують у маслі й піддають відпуску при 150°C.

Деталі підшипників корозійностійких сталей типу 95Х18 піддають попередньому підігріванню до 850°C, гартуванню з 1050°C у маслі й відпуску при 150-160°C протягом 3 год.

У разі роботи підшипників при негативних температурах відразу після гартування застосовують обробку холодом при -70°C. Під час роботи підшипників при температурах до 400°C деталі піддають відпуску при 400-420°C протягом 5 год на твердість не менше HRC 55.

Кільця і ролики зі сталей ШХ15, ШХ15СГ при термічній обробці нагрівають у конвеєрних печах, частіше в електричних. Конвеєрна потокова лінія наведена на рис. 70. На конвеєрну стрічку гартівної печі 1 кільця подаються пульсуючим лотком із магазина-накопичення й автоматично укладаються по 5-6 у ряд; при великих діаметрах внутрішні кільця підшипників розміщуються в зовнішніх. Потужність конвеєрної печі – 160 кВт; розміри поду – 0,6х3,0 м. Гартування проводять у конвеєрному масляному баку 2, потім після відмивання від масла в конвеєрній мийній машині 4, деталі надходять у конвеєрну установку 5 для обробки холодом і проведення низького відпуску в конвеєрних печах 6 з примусовою циркуляцією нагрітого повітря від чотирьох відцентрових вентиляторів типу СКО-8.55.4/3 (розмір поду – 0,8Х5,5 м; потужність – 55 кВт). Для охолодження масла встановлена охолоджувальна для масла установка 3. Замість конвеєрних печей для нагрівання під гартування застосовують також печі з пульсуючим подом.

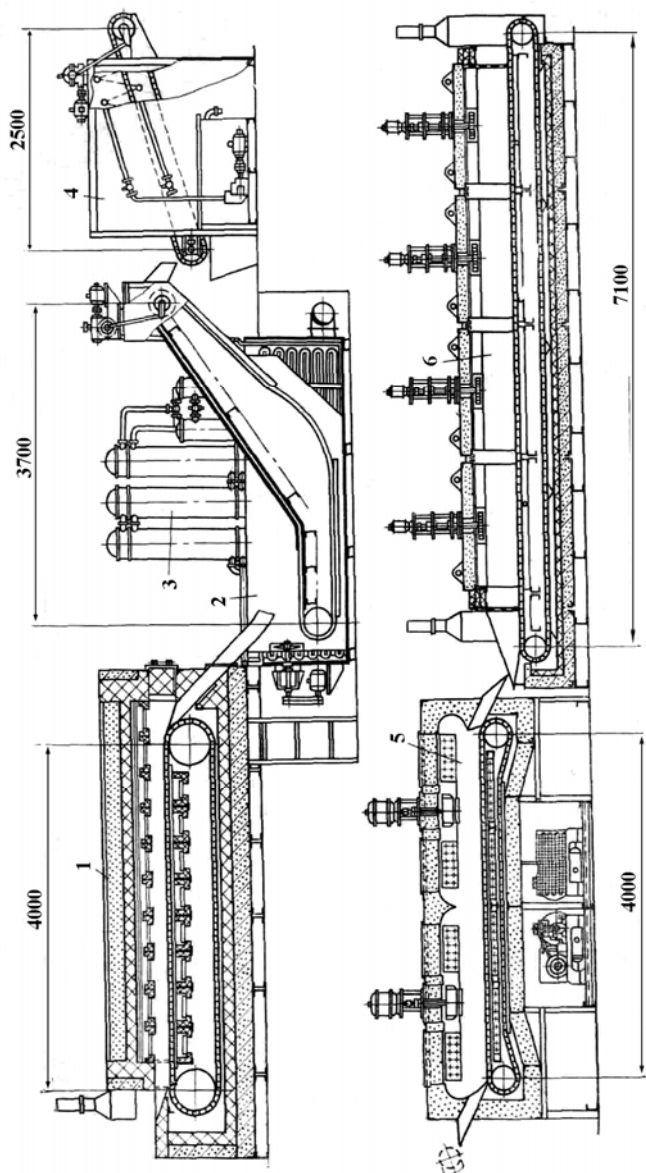


Рисунок 70 – Конвеєрна поточкова лінія для термічної обробки підшипників

На рис. 71 змальований план термічної ділянки цеху масового випуску підшипників (1,5 млн шт/год). Кільця підшипників на термічну обробку надходять із верстатів 1 токарної ділянки по транспортерах 2, розташованих угорі, в магазині-накопичувачі 3. Далі автомати 4 укладають кільця на конвеєрну стрічку або пульсуючий під печей 5, після нагрівання кільця охолоджуються в масляних конвеєрних гартівних баках 6, проходять мийні машини 7 і після підсушування у вертикальних камерах 8 подаються в конвеєрні установки 9 для обробки холодом (здатність установки, що охолоджує ~ 16 МДж/год). З холодильних установок кільця скидають на конвеєрну стрічку повітряно-відпускних печей 10, пройшовши ці кільця, потрапляють в автомат 11 для таврування і зачищення задирок. По транспортерах 12 їх подають у бункер-накопичувач 13, а потім на шліфувальні верстати 14.

Нагрівання під гартування масивних роликів проводять у карусельній печі, а кілець залізничних підшипників – у роликівих печах. Охолодження в баку проводиться за допомогою автоматів, які знімають кільця з рольганга, розміщують їх у бак, здійснюючи або безперервне похитування або обертання кілець. Спосіб обертання дає більш рівномірне і прискорене охолодження кілець. Подальша обробка здійснюється в конвеєрних агрегатах. На ГПЗ-8 для нагрівання кілець підшипників залізничних вагонів застосовують потокову лінію з нагрівом СВЧ.

Схема установки наведена на рис. 72. Для отримання регламентованої прогартуваності близько 1 мм використовують сталь ШХ-4 після гартування з 850°C . Лінія складається з послідовно розташованих позицій: завантаження 1, трьох петльових індукторів 5 і спреєрного охолодження водою 9. Індуктори живляться від двох машинних генераторів потужністю по 100 кВт, частотою 2400 Гц. Час перебування на кожній позиції, у тому числі й у кожному індукторі - 1 хв. Продуктивність установки – 60 шт/год.

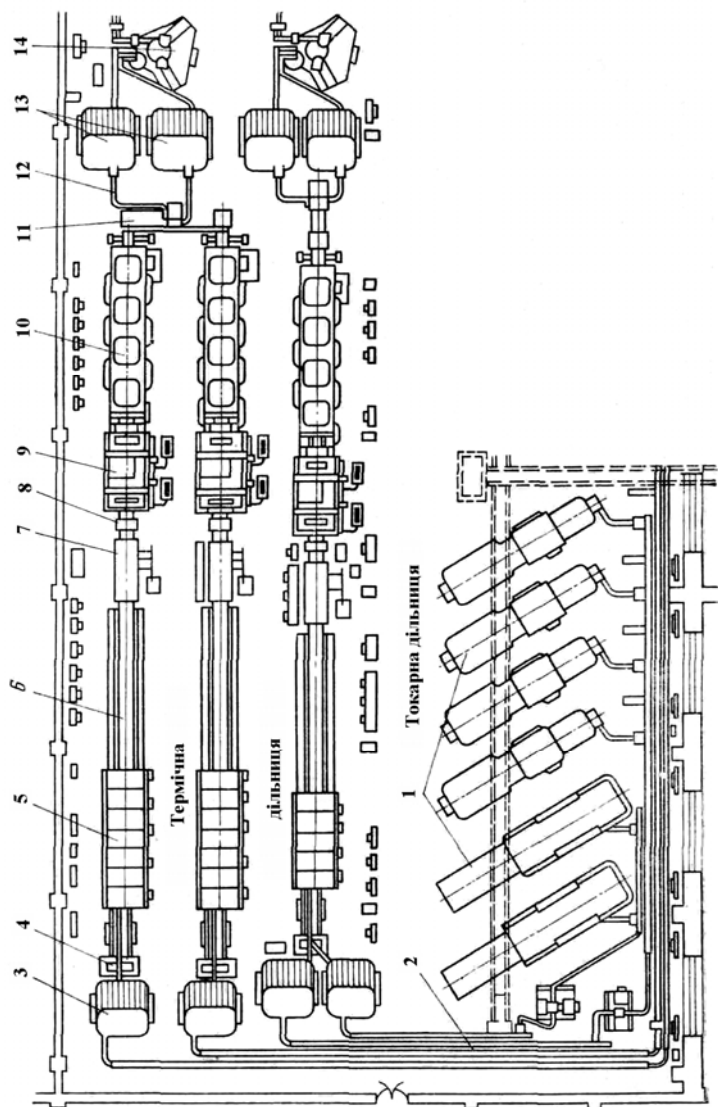


Рисунок 71 – План термічної дільниці цеху масових підшипників

Витрата води для охолодження індукторів приблизно 30 м³/год, а для спреєрного охолодження при гартуванні 300 м³/год. Пересування кілець у лінії здійснюється пальцями 3, закріпленими на поздовжній осі 4, яка повертає пальці в горизонтальне положення, переміщаючи кільця. Вісь приводиться в рух за допомогою спеціального штовхача 2. Вертикальна подача кілець в індуктори здійснюється підйомом столиків 6 за допомогою рами 8, що приводиться в рух шарнірним механізмом 10. З метою підвищення рівномірності нагрівання й охолодження кілець вони приводяться в обертання за допомогою облямовувачів 7. За гартуванням йде відпуск при 160-180°C у конвеєрній печі протягом 3 год.

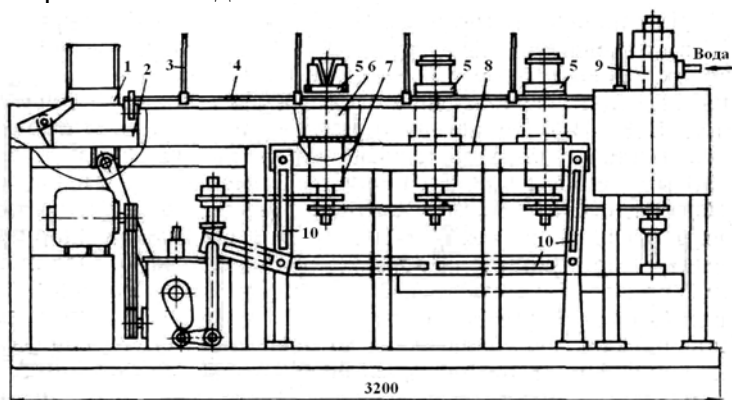


Рисунок 72 – Потокова лінія для гартування кілець підшипників залізничних вагонів з нагріванням СВЧ

Кульки і дрібні ролики при термічній обробці нагрівають у ретортних печах. На рис. 73 наведена схема потокової лінії, що складається з гартівної ретортної печі 1, гартівного бака 2 з шнековим конвеєром, шнекової барабанної мийної машини 3, відпускної низькотемпературної печі 4 з нагріванням калориферами 5.

Для куль діаметром 12-42 мм застосовують безперервно-послідовне нагрівання СВЧ у багатовиткових індукторах, розташованих похило або вертикально. Установка

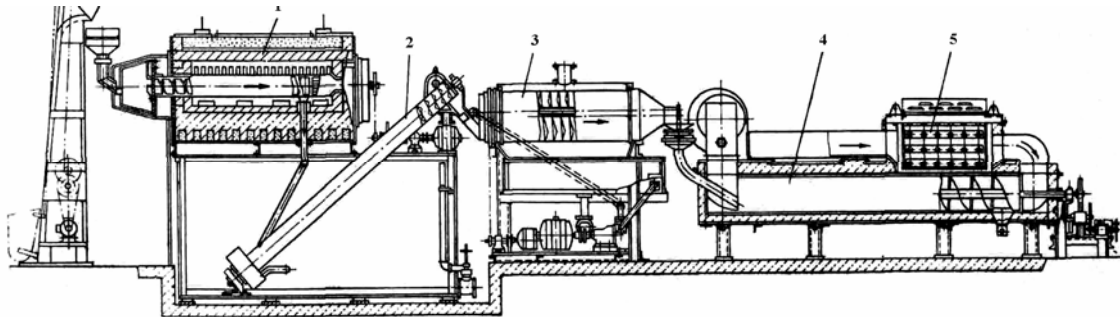


Рисунок 73 – Поточкова лінія з ретортними печами, гартівним баком та мийною машиною для ТО кульок та роликів

ГПЗ-1, призначена для нагрівання кульок діаметром 11,5-12,7 мм зі сталі ШХ15, має багатовитковий вертикально розміщений індуктор заввишки близько 710 мм, що вміщує 56 кульок (потужність генератора – 100 кВт, частота – 8000 Гц). Час нагрівання до 920°C становить 9,3 с, час охолодження – 9 с, темп видачі кульок – 6 шт/с, продуктивність установки – 200 кг/год. Охолодження при гартуванні проводиться водою зі щільного спреєра, а рух кульок під спреєром проводиться двома обертовими барабанами, з яких один має гвинтову канавку. Індуктор внизу забезпечений видавальним пристроєм у вигляді зірочки, що обертається. До індуктора кульки надходять вертикальним конвеєром через похилий лоток. Після гартування кульки проходять відпуск у низькотемпературній відпускну печі.

Для цементації кульок і роликів зі сталі 60Г1 застосовують потокові агрегати типу СБЦА-6,24/3, у яких цементація проводиться в барабанних печах із гартуванням одразу після цементації й далі в барабанних мийних машинах і барабанних відпускнух печах. Розташування обладнання здійснюється в безперервній поточковій лінії.

Цементацію, нагрівання під гартування і відпуск великих підшипників зі сталі 20Х2Н4А проводять у шахтних печах, частіше з електронагріванням.

7.6. Термічна обробка ресор і пружин

Ресори і пружини повинні мати межу пружності σ_p не нижче 800 для вуглецевих сталей і 1000 МПа для легированих при пластичності $\delta_5 \geq 5\%$, $\psi \geq 20-25\%$. Крім того, пружини повинні мати високу релаксаційну стійкість.

Пружини і ресори виготовляють з вуглецевої сталі з 0,5-0,6% С. Одним з основних елементів, що підвищує межу пружності сталі, є кремній. При вмісті 1,5-2,0% Si відношення $\sigma_p/\sigma_B = 0,9-0,95$. З крем'янистих сталей для виго-

товлення пружин і ресор застосовують сталі 55С2, 60С2, 70С3А. Проте крем'янисті сталі мають невисоку прогартуваність, схильні до знеуглецювання, а при вмісті кремнію вище 2,5 % (сталь 70С3) – до графітизації. Тому в авто- і тракторобудуванні для виготовлення вказаних деталей використовують хромомарганцеві сталі типу 50ХГ. Для зменшення чутливості до зростання зерна в них у кількостях 0,15-0,25% вводять ванадій (сталь 50ГФА). Перспективною сталлю з підвищеною прогартуваністю є сталь типу 55ХГР зі вмістом 0,001-0,003% В.

Важконавантажені ресори і пружини виготовляють з крем'янистих сталей з добавками 0,7-1,2% Cr, 0,8-1,2% W і 0,1-0,2 %V. В основному для виготовлення зазначених деталей використовують сталі 55С2, 60С2, 50ХГФА, 55ХГСФА, 60С2ХА, 70С2ХА, 60С2ХФА, 60С2ВА, 60С2Н2 (ГОСТ 1459), а для торс іонів – сталі типу 45ХН2МФА.

Листи для ресор гартують з 840-870°C у маслі й відпускають при 400-460°C залежно від марки сталі. Охолодження ресорних листів після гартування проводять у згиногартівних машинах, що значно скорочує об'єм наладки при збиранні ресор. При відпуску загартованої сталі межа пружності спочатку зростає, а потім падає; максимальне його значення відповідає температурам відпуску 400-450°C. Сталі, схильні до відпускнуї крихкості, після відпуску охолоджують у воді.

З метою підвищення межі витривалості й релаксаційної стійкості ресори і пружини піддають дробоструминному наклепу.

Термічна обробка пружин залежить від способу їх виготовлення. Пружини, що виготовляються з холоднотягнутого дроту діаметром 3-6 мм, при холодному навиванні піддають відпуску при 230-330°C (залежно від марки сталі) з метою підвищення межі пружності й в'язкості. Пружини

великого діаметра роблять із гарячекатаних прутків. Їх гартують з 840-860°C у маслі й відпускають при 400-500°C залежно від марки сталі й вимог, що ставляться до них. При вказаних температурах відпуску виходить найбільш висока межа пружності сталі. З метою уникнення поводки і зміни розмірів відповідальні пружини охолоджують при гартуванні на оправках.

При нагріванні прутків під навивання з використанням прямого електронагрівання пружини гартують відразу після гарячого навивання, строго контролюючи температуру, з якої проводиться охолодження при гартуванні.

Властивості пружинно-ресорних сталей можуть бути поліпшені після ізотермічного гартування їх на нижній бейніт при температурах 280-350°C. При цьому зменшується рівень напруження і схильність сталі до крихкого руйнування. Для підвищення межі пружності й релаксаційної стійкості цих сталей необхідний додатковий відпуск при 300-350°C.

Підвищення властивостей ресорно-пружинних сталей можна також досягти застосуванням ВТМО. На сталях 55С2, 50ХГА, 55ХГР при нагріванні їх на 900-950°C і ступені деформації 25-50% значно збільшуються зміцнювальні характеристики, особливо межа пружності й межа втоми, а також пластичні властивості. Сталі мають велику стійкість проти відпуску. Оптимальні властивості виходять при відпуску близько 300°C. Використання ВТМО у промислових умовах (на Челябінському і Чусовському металургійних заводах) на сталях 60С2 55ХГР після деформації 25-50% при температурах кінця прокатки 950-900°C, швидкості прокатки 5-7 м/с, швидкого охолодження і відпуску при 300°C дало $\sigma_B = 1600-1800$ МПа $\sigma_w \leq 600$ МПа при подовженні $\sigma_{10} = 6,5$ %.

Процес рекристалізації аустеніту при обробці тиском можна декілька затримати легуванням сталей молібденом і ванадієм.

З метою підвищення експлуатаційної стійкості пружин і ресорних листів їх піддають дробоструминному наклепу для одержання на поверхні стискувальних напружень, які можуть доходити до 600 МПа. Для нагрівання під гартування і відпуск ресорних листів і навитих пружин застосовують конвеєрні печі. Гартування листів проводять в обертових барабанних гартівних машинах, в яких відбувається згинання листів у штампах й охолодження в затиснутому стані. Крім термічної обробки і наклепу листів, у ресорних відділеннях проводяться складання ресор і контроль їх якості.

Контроль якості продукції зводиться до зовнішнього огляду її на поверхневі дефекти, а відповідальні пружини піддають магнітному контролю і визначенню твердості для пружин, що проходять гартування.

Готові пружини піддають таким видам контролю:

- 1) визначенню розмірів після мінімального і максимального навантаження; 2) короткочасним обтисненням (3-10 разів) до зіткнення витків (для пружин, що працюють на стискання) і до максимального навантаження (для пружин, що працюють на розтягування); 3) тривалому вантаженню (заневолюванню), що виконується шляхом стискання пружин при напруженні на 10% вище робочих з витримкою під навантаженням протягом 10-30 год залежно від конструкції пружини, її маси і режиму експлуатації; корисне тепле заневолювання (термофіксація), при якому підвищуються межа пружності й релаксаційна стійкість пружини; 4) випробуванню на витривалість (число циклів до руйнування); 5) копровим випробуванням на удар вільнопадаючого вантажу; 6) випробуванню на скрут з визначенням крутного моменту і кута закручування.

Найбільш типові планування устаткування наведені на рис. 74. У першому варіанті (рис. 74 а) заготовки смуг надходять зі складу, після різання на заданий розмір на верстатах 2 їх пластинчастим конвеєром 1 доставляють до конвеєрних гартівних печей 3, де вони проходять охолодження після гартування в барабанних згиногартівних

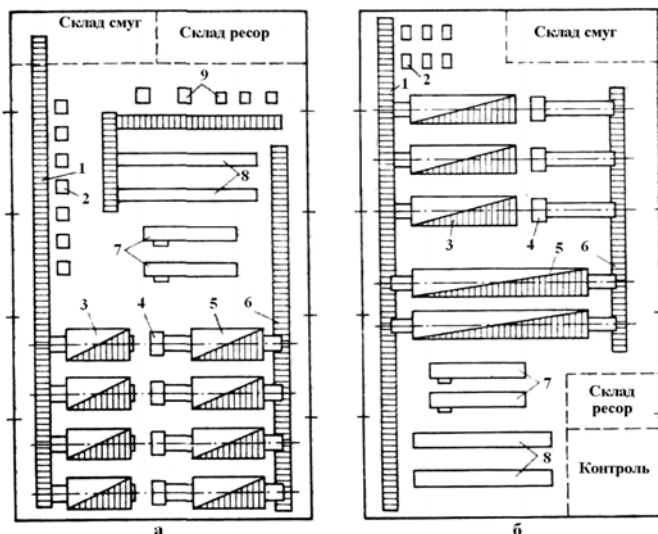


Рисунок 74 – Поточкові лінії для термічної обробки ресорних листів (схема)

машинах 4 і відпуск у конвеєрних печах 5. Після відпуску ресорні листи потрапляють на конвеєр 6, яким їх доставляють до дробоструминних пристроїв 7 і потім на складальні конвеєри 8. Зібрані ресори проходять контроль на столах 9. Після цього вони йдуть на склад. У другому варіанті (рис. 74 б) зберігається та сама послідовність потоку, але гартівні й відпускні конвеєрні печі розміщують паралельно. Передача між ними відбувається проміжними конвеєрами 6. На ЗІЛ запропонована принципово нова техно-

логія обробки ресорних листів автомобіля ЗІЛ 133. Для згинання і термічної обробки ресорних листів перерізом 90x18 мм зі сталі 60С2 використане нагрівання СВЧ. Високоміцний стан листів отримують у результаті сильного подрібнення зерна і створення в поверхневих шарах значного стискувального напруження застосуванням поверхневого гартування. Згинання ресорних листів, що пересуваються на ребрі, проводиться за допомогою обертових вертикальних роликів. Ролики встановлюють попарно по обох боках листа. Задні ролики є привідними, що переміщують ресорні листи уздовж усієї лінії, а ролики переднього ряду притискують лист до роликів заднього ряду за допомогою пружин.

Автоматична лінія (рис. 75) складається з позиції завантаження, ділянки витискування центрувальної бобишки з місцевим нагріванням струмами високої частоти індуктором потужністю 30 кВт, ділянки згинання і термічної обробки й столу вивантаження. Ділянка згинання і термічної обробки має три групи індукторів 1, 6 і 8 потужністю відповідно 240, 210 і 100 кВт, частотою 2500 Гц. Індуктори 1 використовують для нагрівання під згинання і підготовку структури для подальшого гартування, 6 – для поверхневого гартування, а 8 – для електровідпуску.

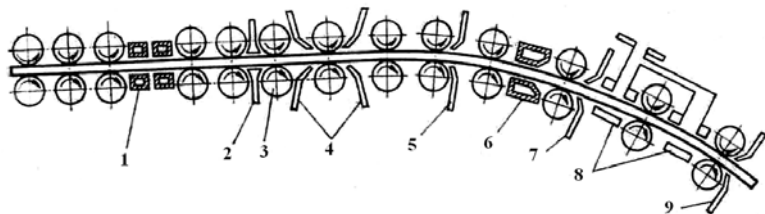


Рисунок 75 – Автоматична лінія для обробки ресорних листів із застосуванням нагрівання СВЧ

Згинання ресори по радіусу починається з роликів 3, перед ними встановлені вставки 2, в них упирається початкова пряма ділянка листа, який згинається. Між робочою поверхнею вставки і ресорним листом є зазор 0,3-0,5 мм, унаслідок чого основна частина листа не стикається зі вставкою. Кінцева ділянка ресорного листа завдовжки 200 мм також згинається за допомогою вставки. Лист для згинання в індукторі 1 нагрівається до 950-1000°C, далі він охолоджується спреєрами 4, що забезпечують гартування з самовідпуском до 250-280°C із одержанням у поверхневому шарі структури відпущеного мартенситу. Перед поверхневим гартуванням проводиться додаткове охолодження спреєрами 5, при якому мартенсит утворюється і в серцевині листа. Безперервно-послідовне поверхнєве гартування листа здійснюється в одновитковому індукторі-спреєрі 6. Нагрівання проводиться до температури поверхні листа 820°C зі швидкістю 300°C/с, що забезпечує утворення дрібнодисперсного мартенситу в поверхневому шарі завглибшки 3-4 мм. Одночасно проходить відпуск серцевини при короткочасному нагріванні 650-700°C із отриманням трооститу відпуску (твердість – HRC 38-40). Після охолодження в спреєрі 7 у спеціальному індукторі 8, що складається з двох послідовно з'єднаних секцій, що забезпечує рівномірну температуру по ширині листа (у межах 20°C), проводиться електровідпуск. Після відпуску ресорні листи піддаються охолодженню водяним душем 9, потім подаються роликами на стіл вивантаження й укладаються комплектами в спеціальну тару.

Продуктивність установки ~800 кг/год при швидкості руху листів ~18 мм/с. Розміри установки в плані (включаючи щити керування) – 12х4,4 м, висота – 5,5 м, маса – 30 т.

Упровадження цієї автоматичної лінії дозволило за рахунок зміцнення листів полегшити ресурсу, зменшити витрати прокату.

Автоматична потокова лінія для виготовлення і термічної обробки вагонних пружин, що виготовляються з гарячекатаних прутків, складається з двох потоків, укомплектованих однаковим устаткуванням, – один потік для зовнішніх пружин, другий – для внутрішніх. Прийнятий такий технологічний процес виготовлення вагонних пружин: різання заготовки з попереднім підігріванням; відтягування кінців заготовки з місцевим прямим електронагріванням; навивка пружин після прямого електронагрівання до 1100°C ; гартування з використанням тепла від нагріву під навивку і охолодження в гартівній машині в затиснутому стані на спеціальній оправці; відпуск пружин з нагріванням до температури $480\text{--}520^{\circ}\text{C}$ в електричній конвеєрній печі. Далі йдуть операції обтискання пружин для запобігання залишкової деформації, контроль пружин на наявність тріщин, шліфування торців пружин, дробоструминний наклеп, фарбування і сушіння. Низький відпуск ($200\text{--}300^{\circ}\text{C}$) пружин холодної навивки проводять у соляних ваннах.

7.7. Термічна обробка на ковкий чавун

Ковкий чавун набув широкого застосування для виготовлення дрібних деталей автомобільних, тракторних і сільськогосподарських машин. Механічні властивості чавуну залежать від його металевої основи, розмірів і форми графіту, що виділяється. Чим дрібніший графіт, тим кращі механічні властивості чавунів. У сірому, немодифікованому чавуні, графіт, що кристалізується з рідкого стану, виділяється у вигляді грубих пластин, які є надрізами, що знижують властивості. Одним зі способів набуття дрібною,

пластівчастою, форми графіту є одержання ковкого чавуну, коли графіт утворюється з твердого стану. Для цього вибирають білі, доевтектичні чавуни, які здатні графітуватися при охолодженні й витримках. Зразковий склад чавуну: 2,2-3,0% C; 0,7-1,0% Si; 0,2-0,4% Mn; < 0,2% P і < 0,1% S. Ковкий чавун виходить шляхом відпалу в декілька стадій. Температуру нагрівання при відпалі беруть 950°C при витримці 10-12 год, при цьому графітизується вуглець евтектики (перша стадія), далі йде сповільнене охолодження по 25-30°C/год (8-10 год) до температур де-що нижче A_{r1} для графітизації вуглецю, що виділяється при охолодженні (проміжна стадія) і нарешті витримка близько 20 год під критичною точкою A_{r1} (700-710°C) для графітизації вуглецю, що виділяється з евтектоїду, - друга стадія (рис. 76). У результаті виходить ковкий чавун з феритною металевою основою і дрібним графітом. За необхідності одержання ковкого чавуну з перлітовою основою виключається друга стадія графітизації. У перлітовому чавуні $\sigma_B = 600$ МПа $\delta = 2-3\%$, у феритному чавуні при $\sigma_B = 370$ МПа $\delta = 12\%$.

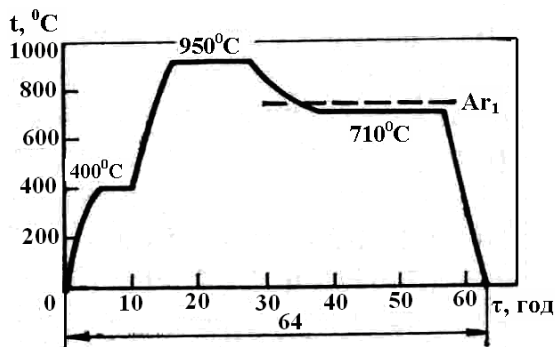


Рисунок 76 – Графік відпалу на ковкий чавун з феритною металевою основою

Підвищення температури нагрівання вище 950°C прискорює процес графітизації, але графіт виходить у вигляді

грубих виділень, що знижує пластичність чавуну. У зв'язку зі значним часом відпалу на ковкий чавун намагаються його скоротити. Хороші результати дає витримка під час нагрівання при температурах 400-450°C, а для деталей простої форми – попереднє гартування. Прискорення графітизації пояснюється утворенням великої кількості дрібних графітних центрів. При використанні попереднього гартування, виливки, очищені від ливників, нагрівають до 900°C й охолоджують у маслі. При товщині стінок виливків 15-20 мм перша стадія графітизації при 950°C скорочується до 5-6 год, а друга стадія при 710°C – до 12-14 год, охолодження в проміжній зоні здійснюють прискорено, тоді загальний час відпалу становить 20-22 год. Прискорює процес графітизації модифікування чавуну в ковші алюмінієм (0,01%), бором (0,003%), вісмутом (0,025%) і легування чавуну міддю (до 1,5%).

Ученими розроблений відпал ковкого чавуну із одержанням дисперсного графіту і сфероїдизованого перліту металевої основи, що дозволило підняти міцність до $\sigma_b = 600$ МПа при $\delta=10\%$. Для отримання такої структури застосовується білий чавун із підвищеним вмістом марганцю (2,4-2,7% С, 1,1-1,2% Si, 0,8-1,0% Mn). Після першої стадії графітизації при 950-970°C виливки піддають прискореному охолодженню до 600-650°C (нормалізації) і далі проводять відпал на зернистий перліт при 700-710°C протягом 14-16 год. Можна дещо прискорити процес сфероїдизації перліту, підвищивши температуру другої стадії до 740°C. Марганець частково можна замінити сіркою, яка чинить інтенсивніший вплив на утворення зернистого перліту; при 0,3-0,4% S вміст марганцю можна зменшити до 0,4-0,5%.

Для відпалу на ковкий чавун у масовому виробництві частіше за все застосовують штовхальні печі з контролюваною атмосферою або тунельні печі з поїздом із вагоне-

ток, а при серійному виробництві – елеваторні камерні печі з підйомною платформою.

На рис. 77 наведений агрегат, який складається з двох послідовно розміщених електричних штовхальних печей. Перша піч 3 із корисною площею поду $2,1 \times 10,2 = 21,4 \text{ м}^2$ призначена для першої і проміжної стадій графітизації. Відповідно до технології температура на початку печі встановлена 1000°C , а в кінці печі знижена до 760°C , для чого на одній п'ятій частині довжини печі в поді розміщені труби, що охолоджуються повітрям. Друга піч 6 з площею поду $2,1 \times 12,6 = 26,5 \text{ м}^2$ призначена для другої стадії графітизації. Температура на початку печі 760°C , а в кінці – 700°C . Печі сполучені камерою 5, забезпеченою перештовхувачем 4. Камера герметична, що дозволяє проводити відпал з передачею виливків з однієї печі в іншу в контрольованій атмосфері без упаковки. Час перебування відливань у проміжній камері становить лише 3-5 хв, необхідних для перештовхування піддонів з однієї печі до іншої.

Для створення герметичності при завантаженні і розвантаженні агрегат забезпечений форкамерами 2 і 7. Виливки переміщуються на піддонах $600 \times 850 \text{ мм}$ двома паралельними рядами. Всього в агрегаті знаходиться 74 піддони. Тривалість відпалу – 37 год, період штовхання – 1 год, продуктивність агрегату – 15 т/добу, питома продуктивність – $8\text{-}10 \text{ кг}/(\text{год} \cdot \text{м}^2)$ площі поду. Загальна потужність агрегату 400 кВт. Перша піч має чотири теплові зони: перші дві зони по 135 кВт, третя – 50 кВт і четверта зона – охолоджувальна, в ній нагрівальні елементи 9 вмикаються при розігріванні печі. Друга піч має дві теплові зони по 40 кВт.

Робота агрегату повністю автоматизована. Рух штовхальників, витягачів і піднімання заслінок здійснюються гідравлічними циліндрами подвійної дії. Послідовність роботи гідравлічних циліндрів досягається системою автоматичного блокування і кінцевих вимикачів. Порядок роботи

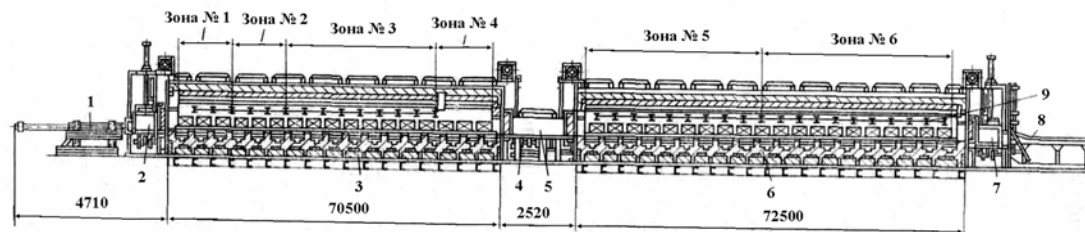


Рисунок 77 – Агрегат для відпалу на ковкий чавун

агрегату такий: піддони з виливками завантажуються у форкамеру кареткою, що приводиться в рух гідравлічним циліндром. Простовхування піддонів у першій печі проводиться гідравлічним штовхальником 1, а видача піддонів з першої печі, їх рух у проміжній камері та в другій печі відбувається за допомогою рейкового перештовхача 4. Видача піддонів з другої печі в розвантажувальну форкамеру здійснюється гідравлічним витягувачем 5, а з форкамери деталі вивантажуються за допомогою спеціальної каретки, яка аналогічна завантажувальній. На рис. 78 а зображений оригінальний потоковий штовхальний агрегат для відпалу на ковкий чавун з елеваторним завантаженням і розвантаженням виливків знизу. Виливки укладаються в муфелі розміром 980х580х500 мм, що встановлюються на піддони з окалиностійких сталей. На кожен піддон завантажуються до 500 кг виливків. Піддони по печі просуваються у два ряди гідравлічними штовхальниками 1. Завантаження ящиків у піч проводиться за допомогою рейкового крокового транспортера 15 при опусканні елеваторної платформи 2 на рівень нижніх напрямних 14. Вивантаження готових деталей з печі проводиться елеваторною платформою 8, що так само опускається. Муфелі знімаються з платформи 8 рейковим кроковим транспортером 9, що приводиться у зворотно-поступальний рух гідравлічним циліндром 10. Після охолодження муфелі потрапляють у кантувач 11, обертаються на 180° і деталі зсипаються до ями 12, з якої видаються конвеєром до місця контролю, а порожні муфелі знову перевертаються кантувачем і кроковим транспортером 13 доставляються до завантажувального торця печі. Кроковий транспортер 15 має два види собачок, один – для транспортування порожніх муфелів уліво й інший – для транспортування завантажених муфелів управо, на платформу 2.

Печі опалюються природним газом, який спалюється в U-подібних горизонтальних трубах 3, розміщених у два

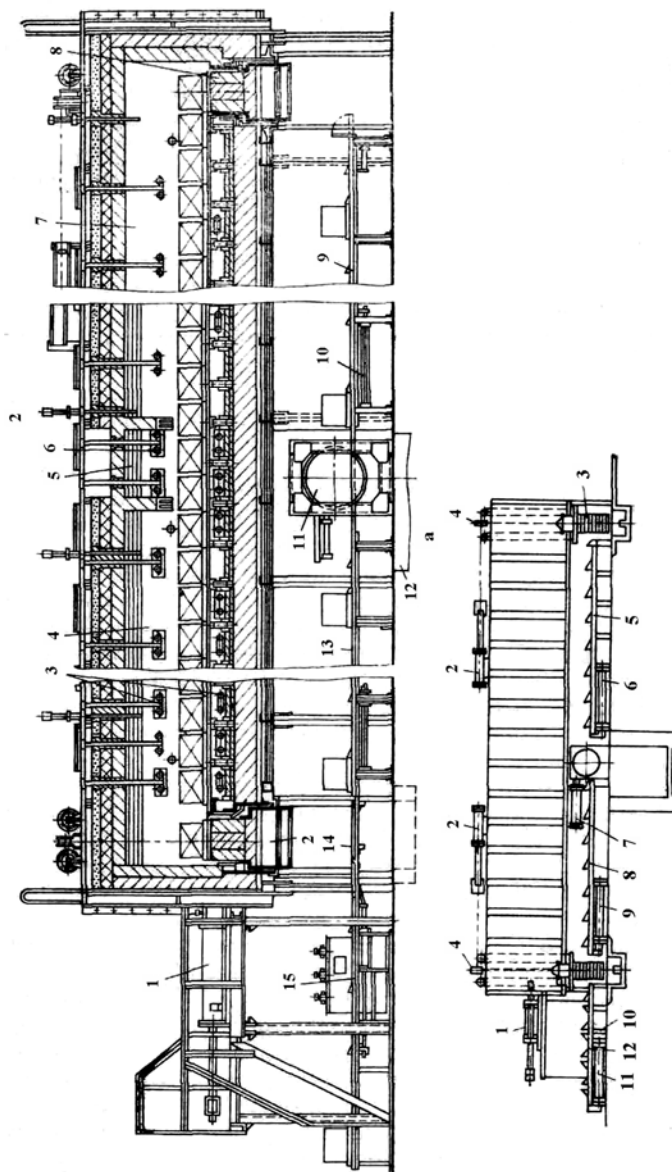


Рисунок 78 – Агрегат для відпалу на ковкий чавун з елеваторним завантаженням і вивантаженням деталей (а) і схема привідних механізмів (б)

ряди на поді печі й над муфелями. Піч вміщує всього $32 \times 2 = 64$ муфелі (садіння 32 т). Піч складається з трьох камер: камери нагрівання 4 (першої стадії графітизації), камери підстуджування 5, в якій замість нагрівальних труб встановлені охолоджувальні труби 6, і камери 7 сповільненого охолодження (для другої стадії графітизації). Розміри корисної площі поду печі $19 \times 2,3$ м. При тривалості відпалу 36 год максимальна продуктивність агрегату становить 0,9-1,0 т/год. Піднімання й опускання платформ, пересування деталей у печі, зворотно-поступальний рух транспортерів і поворот кантувача проводяться гідравлічними циліндрами (рис. 78 б). Просування піддонів з деталями по печі здійснюється двома гідравлічними штовхачами 1, опускання і підйом елеваторних платформ – гідравлічними циліндрами 2 через блоки 4; платформа врівноважується противагами 3, підвішеними через два блоки. Зворотне транспортування піддонів знизу печі здійснюється кроковими рейковими транспортерами 5, 8 і 10 за допомогою гідравлічних циліндрів 6, 9 і 11. Транспортёр 10 має дві пари рейок з різним розташуванням собачок 12, завдяки чому піддони можуть рухатися у двох напрямках. Кантувач обертається через рейку від гідравлічного циліндра 7.

У США є печі аналогічної конструкції на п'ять паралельних рядів піддонів розмірами $0,5 \times 0,4$ м із продуктивністю до 1,2-1,5 т/год.

Планування печей не викликає складності, вони розміщуються паралельними рядами. При використанні тунельних печей необхідно забезпечити шлях для повернення вагонеток й остаточного охолодження муфелів з деталями на повітрі.

8. ТЕРМІЧНІ ЦЕХИ І ВІДДІЛЕННЯ НА ІНСТРУМЕНТАЛЬНИХ ЗАВОДАХ

Інструменти служать для надання виробам необхідної форми і для виміру їх розмірів. Надання форми може бути здійснене зняттям стружки (різальний інструмент – різці, фрези, свердла, мітчики та ін.), пластичною деформацією (штамповий, пресовий, волочильний інструмент, прокатні валки). Для вимірювання розмірів застосовується каліброво-вимірювальний інструмент (пробки, кільця, скоби та ін.).

Вибір сталі для інструменту визначається його поведінкою при практичному використанні, найчастіше числом оброблених деталей. Як критерії при виборі сталі для інструменту служать: 1) висока твердість і збереження її при підвищених температурах (тепло- і червоностійкість); 2) опір стиранню; 3) мала чутливість до перегріву і здатність сталі до гартування, що визначається за виглядом зламу загартованих зразків.

Хімічний склад інструментальних сталей характеризується підвищеним вмістом вуглецю (вище 0,7%) і наявністю карбідотвірних елементів: хрому, вольфраму, молібдену, ванадію. Хром, вольфрам, молібден, виходячи в розчин цементиту, утруднюють дисоціацію карбіду, а отже, уповільнюють процес його виділення з мартенситу і процеси коагуляції, сприяючи збереженню твердості до вищих температур відпуску. При великому вмісті хром і вольфрам утворюють дисперсні карбіди, викликаючи при підвищених температурах відпуску навіть зростання твердості (явище вторинної твердості). На рис. 79 наведені криві зміни твердості при відпуску сталей з різним вмістом хрому. Вторинна твердість пояснюється виділенням спеціальних карбідів критичного ступеня дисперсності й розпадом залишкового аустеніту при охолодженні після

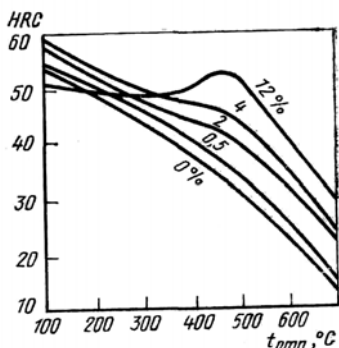


Рисунок 79 – Зміна твердості при відпуску загартованих виробів з середньовуглецевих сталей з різним вмістом хрому (цифри на кривих вказують вміст хрому)

відпуску. Максимальний ефект вторинної твердості в хромистих сталях досягається при температурах близько 500°C, а у вольфрамових і молібденових – при 560-580°C. Перевага легування вольфрамом порівняно з хромом полягає також і у вищій здатності вольфрамового карбіду протистояти стиранню.

За наявності хрому і вольфраму дуже ефективно легування молібденом і ванадієм: молібден підвищує

стійкість карбіду проти відпуску, а ванадій утворює дисперсні карбіди VC. З некарбідотвірних елементів сприятливо впливає кремній, що утруднює дифузію вуглецю крізь ферит і підвищує межу пружності сталі. Особливу роль відіграє кобальт, що сприяє дисперсійному виділенню карбідів.

Знижують вміст вуглецю в сталі й вводять у неї нікель (або його замітник марганець) лише в тих випадках, коли потрібне підвищення в'язкості інструменту, що піддається в роботі ударам (молотові штампи).

8.1. Термічна обробка різального інструменту

Під час різання частина роботи переходить у тепло, яке розігріває різальну кромку інструменту. Тому для різального інструменту важлива не лише висока твердість при кімнатних температурах, але і збереження твердості при

підвищених температурах (тепло- і червоностійкість). Підвищення температури різальної кромки залежить від твердості оброблюваного матеріалу і параметрів режиму різання (переріз стружки, що знімається, і швидкості різання). Ці умови визначають вибір сталей для різального інструменту. Твердість оброблюваного матеріалу знижується відпалом або високим відпуском, тому основними моментами, що визначають вибір сплаву, є режими різання.

Необхідна мінімальна твердість інструменту при різанні по металу має бути не менше HRC 60-62. При нормальних подачах і невисоких швидкостях різання (до 10-20 м/хв.) нагрівання різальної кромки не перевищує 200-300°C, що дозволяє застосовувати для інструменту вуглецеві та низьколеговані сталі, які до цих температур зберігають високу твердість. При високих твердостях оброблюваного матеріалу і підвищених швидкостях різання (30-50 м/хв) різальна кромка нагрівається до 500-600°C, що вимагає застосування високолегованих сталей типу швидкорізальних (вміст карбідів до 30%). При температурі нагрівання різальної кромки до температур вище 600-650°C підвищену твердість зберігають лише тверді сплави (вміст карбідів до 80-90%) .

Характеристики легованих сталей, що рекомендуються ГОСТ 5950 для різального інструменту, і режими їх термічної обробки наведені в табл. 4.

Різальний інструмент для обробки чорних металів виготовляють з вуглецевих сталей марок від У10 до У12. Сталь У8 є типовою під час різання по дереву і м'яких металах (мідь). Сталь У13 застосовують під час різання твердого матеріалу з невеликими швидкостями і при чистовій обробці.

Низьколеговані сталі 9ХФ, 11ХФ, 13Х за властивостями й глибиною гартування мало відрізняються від вуглецевих сталей, у них введено 0,15-0,30% V для подрібнення

Таблиця 4 – Хімічний склад і кінцева термічна обробка легованих сталей для різального інструменту (ГОСТ 5950)

Марка сталі	Вміст основних елементів, %						Температура гартування, °С	Твердість HRC після гартування	Температура відпуску, °С	Твердість HRC після відпуску
	C	Si	Mn	Cr	W	V				
9ХФ	0,80-0,90	0,15-0,35	0,30-0,6	0,40-0,70	-	0,15-0,30	850-880	60-64	200-240	58-60
11ХФ	1,05-1,15	0,15-0,35	0,40-0,7	0,40-0,70	-	0,15-0,30	840-860	62-64	150-170	62-63
13Х	1,25-1,40	0,15-0,35	0,30-0,6	0,40-0,70	-	-	780-810	64-66	150-170	62-64
ХВ4	1,25-1,45	0,15-0,35	0,15-0,4	0,40-0,70	3,5-4,3	0,15-0,30	800-820	65-67	140-170	62-65
В2Ф	1,05-1,20	0,15-0,35	0,20-0,5	0,20-0,40	1,6-2,0	0,20-0,30	820-850	62-65	150-180	62-64
9Х1	0,80-0,95	0,25-0,45	0,15-0,4	1,40-1,70	-	-	820-850	61-63	160-180	59-61
12Х1	1,15-1,25	0,15-0,35	0,30-0,6	1,30-1,65	-	-	850-870	62-64	160-180	61-63
Х	0,95-1,10	0,15-0,35	0,15-0,4	1,30-1,65	-	-	840-860	62-63	130-150	62-63
9ХС	0,85-0,95	1,20-1,60	0,30-0,6	0,95-1,25	-	-	840-860	62-63	160-180	58-62
ХГС	0,95-1,05	0,40-0,70	0,85-1,3	1,30-1,65	-	-	820-860	62-64	160-180	60-62
9ХВГ	0,85-0,95	0,15-0,35	0,90-1,2	0,50-0,80	0/5-0,8	-	820-840	64-66	160-180	60-62
ХВГ	0,90-1,05	0,15-0,35	0,80-1,1	0,90-1,20	1,2-1,6	-	830-850	62-63	150-200	60-62
ХВС1	0,95-1,05	0,65-1,00	0,60-0,9	0,60-1,1	0,5-0,8	0,05-0,15	840-860	62-63	140-160	60-62
9Х5ВФ	0,85-1,00	0,15-0,40	0,15-0,4	4,5-5,5	0,8-1,2	0,15-0,30	950-1000	59-61	160-180	58-60
8Х6НВТ	0,80-0,90	0,15-0,35	0,15-0,4	5,0-6,0	0,9-1,3	0,30-0,50	950-1000	58-60	160-180	56-58
8Х4В3М3Ф2	0,75-0,85	0,15-0,35	0,15-0,4	3,5-4,5	2,5-3,2	1,9-2,5	1150-1170	60-62	160-180	58-60
Примітка. Сталі 13Х, ХВ4, В2Ф загартовують у воді, а решту в маслі.										

зерна і 0,4-0,7% Сг для полегшення гартування, що особливо важливе для сталей з 1,1-1,3% С через велику кількість в них надлишкового цементиту. При вмісті хрому до 1,65% (сталі 9Х1, Х, 12Х1) разом зі збільшенням їх прогартуваності дещо зростає стійкість проти відпуску. При додаванні до хромистої сталі кремнію (сталь 9ХС) ще більшою мірою підвищується стійкість сталі проти відпуску. Це пояснюється утрудненням дифузії вуглецю в крем'янистому фериті. Крім того, підвищується межа пружності, що важливо для довгого інструменту. Інструмент, що виготовляється зі сталі 9ХС, може працювати при дещо підвищених швидкостях різання. На рис. 80 показана зміна твердості при відпуску сталей У10, Х і 9ХС.

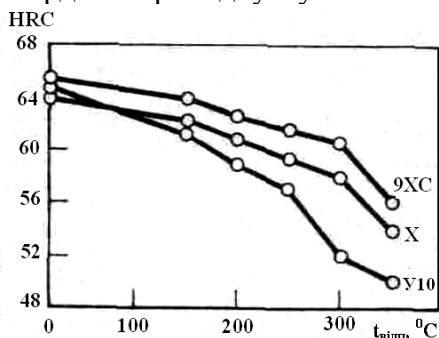


Рисунок 80 – Зміна твердості при відпуску загартованих сталей У10, Х і 9ХС

Вольфрам у кількостях 2-4%, що вводиться в сталь, при гартуванні з температур 820-830°C не переходить у розчин аустеніту, а знаходиться в цементиті (сталі В2Ф і ХВ4) і тому не підвищує прогартуваності й теплостійкості. Дія вольфраму зводиться до утворення дрібних заєвтектоїдних карбідів, що підвищують зносостійкість сталі. Невелика добавка хрому полегшує гарт сталі за наявності великої кількості надлишкових карбідів. Сталі ХВГ, 9ХВГ містять разом із сильними карбідотвірними елементами також марганець, роль якого зводиться до збільшення кількості залишкового аустеніту, наявністю якого можна компенсувати збільшення об'єму від утворення при гартуванні мартенситу. Тому ці сталі застосовуються для різального інструменту, вони не повинні деформуватися при

гартуванні (довгий фасонний інструмент, протяжки і каліброво-різальний інструмент). Сталь Х використовується для виготовлення токарних, стругальних і довбальних різців; сталь 9ХС – для фасонного інструменту (свердел, розверток, фрез, мітчиків). Із сталі 13ХФ виготовляють гострий хірургічний інструмент, а сталь ХВ4 застосовують для чистового різання твердих матеріалів з невеликою швидкістю. Сталь 7ХФ – для деревообробного інструменту, а В2Ф – для стрічкових пилок по металу і ножівкових полотен.

Типова термічна обробка вуглецевих і низьколегованих сталей для різального інструменту – це гартування з низьким відпуском. Температуру гартування вуглецевих заевтектійних сталей беруть $A_{c1} + (30-60^{\circ}\text{C})$ з тим, аби частину карбідів залишити в структурі загартованої сталі. У зв'язку з важчим переходом у розчин легованого цементиту температура гартування для низьколегованих сталей підвищується. При підвищенні температури гартування заевтектійних сталей відбувається подальше розчинення карбідів, сильно зростає кількість залишкового аустеніту, що знижує твердість загартованої сталі. Крім того, відбувається зростання зерна аустеніту, а при гартуванні – виникнення значних напружень, що часто призводять до тріщиноутворення. Частина карбідів, що залишилася нерозчиненою, підвищує опір стиранню, а завдяки зменшенню вмісту вуглецю в мартенситі збільшується її в'язкість. При гартуванні у воді для зниження напруження необхідно рекомендувати переривчасте гартування з перенесенням у масло для остаточного охолодження.

У разі появи при гартуванні у воді м'яких плям необхідно додати у воду 5% кухонну сіль. Велике значення для роботи інструменту, виготовленого з вуглецевих і легованих сталей, має глибина гартування. Сталь для мітчиків і розверток повинна мати малу прогартовуваність, аби

отримати високу твердість поверхні при в'язкій серцевині. Сталь для свердел вибирається глибокопрогартовуваною для отримання однакової твердості по перерізу всієї робочої частини свердел, інакше при переточуванні свердла виявляється незагартована частина.

Орієнтовна швидкість нагрівання під гартування визначається з розрахунку 20 с (для нагрівання в камерних печах) або 10-12 с (при нагріванні в соляних ваннах) на 1 мм товщини або діаметра інструменту.

Відпуск загартованих різальних інструментів із вуглецевих і низьколегованих сталей краще проводити при нижчих температурах (180°C), збільшуючи час витримки; це підвищує пластичність сталі, не знижуючи її твердості.

Карбіди в структурі загартованої сталі повинні мати зернисту форму. Тому як попередня обробка застосовується відпал на зернистий перліт. Наявність у структурі заевтектоїдних сталей карбідів у вигляді сітки викликає різке зниження в'язкості загартованої сталі і призводить до сколювання різальних кромek інструменту. За наявності сітки цементиту проводиться до відпалу процес нормалізації з нагріванням вище точки $A_{ст}$ і охолодженням на повітрі. Прискорене охолодження не дає можливості виділитися надлишковій фазі (цементиту). Відпал проводиться з нагрівом при $A_{с1+}$ (40-60°C) із повільним охолодженням через критичний інтервал (50-100°C/год до температури 600°C). Для сталі X(ШХ15) можна провести після аустенітизації ізотермічний відпал з витримкою 4-6 год у разі охолодження при 730°C.

При місткості печі 10-20 т середня швидкість нагрівання може бути взята 100°C/год. Час витримки залежить від конструкції печі – вирівнювання температури за масою металу – для 10-20 т становить 4-8 год.

У ряді випадків металообробний інструмент зі сталей ШХ15, ХВГ, У10 та ін. піддається лазерному зміцненню, при цьому його стійкість підвищується в 2 рази і більше.

Типові швидкорізальні сталі з вольфрамом застосовують у вигляді трьох марок: Р18, Р12 і Р9 (табл. 5). Підвищення вмісту вольфраму вище 20% недоцільне внаслідок збільшення кількості надлишкових евтектичних карбідів і різкого зниження ковкості і оброблюваності сталей за відсутності істотного підвищення червоностійкості. Швидкорізальна сталь Р18 містить 17,5-18,5% W, 1,0-1,4% V і 3,8-4,4% Cr. Ванадій, збільшуючи дисперсність і стійкість карбідів, підвищує червоностійкість і різальну здатність інструменту, тому швидкорізальні сталі без ванадію не застосовуються. При підвищенні вмісту ванадію можна знизити вміст вольфраму. Приблизно можна вважати, що 1% V може замінити до 8% W (сталь Р9). Зменшення вмісту вольфраму нижче 9% знижує червоностійкість, оскільки не забезпечує повного насичення аустеніту вольфрамом. Згідно з потрібною діаграмою Fe – W – C, максимальна розчинність вольфраму в аустеніті при 0,7-0,8% C досягає 10%.

Основна роль хрому в швидкорізальних сталях полягає в підвищенні стійкості переохолодженого аустеніту, що в малих перерізах дозволяє гартувати швидкорізальну сталь на повітрі. Підвищення вмісту хрому вище 4,5% небажане, оскільки це збільшує карбідну неоднорідність. Хром у кількості до 3,6-4,4% знаходиться в кожній швидкорізальній сталі.

Вміст вуглецю має бути таким, щоб могли зв'язатися в карбіди вольфрам і ванадій (1% ванадію вимагає близько 0,15% вуглецю). Для сталі Р18 вміст вуглецю в середньому становить $0,55 + 0,15 \cdot 1,2 = 0,73\%$, а для сталі Р9 – $0,55 + 0,15 \cdot 2,4 = 0,9\%$.

Таблиця 5 – Хімічний склад і режим кінцевої термічної обробки швидкорізальної сталі
(ГОСТ 19625)

Марка сталі	Вміст основних елементів, %						Температура нагрівання, °C		Твердість після відпуску HRC	Червоностійкість, °C (при HRC 58)
	C	Cr	W	V	Mo	Co	гартування	відпуск		
P18	0,70-0,80	3,8-4,4	17,0-18,5	1,0-1,4	<1,0	-	1270-1290	550-570	62-65	620
P12	0,80-0,90	3,1-3,6	12,0-13,0	1,5-1,9	<1,0	-	1240-1260	550-570	62-65	620
P9	0,85-0,95	3,8-4,4	8,5-10,0	2,0-2,6	<1,0	-	1220-1240	550-570	62-64	620
P6M5	0,80-0,88	3,8-4,4	5,5-6,5	1,7-2,1	5,0-5,5	-	1210-1230	540-560	63-65	620
P6M3	0,85-0,95	3,0-3,5	5,5-6,5	2,0-2,5	3,0-3,6	-	1200-1230	540-560	62-64	620
P18Ф2	0,85-0,95	3,8-4,4	17,0-18,0	1,8-2,4	-	-	1270-1290	560-580	63-66	630
P14Ф4	1,20-1,30	4,0-4,5	13,0-14,5	3,4-4,1	-	-	1240-1260	560-580	63-66	630
P12Ф3*	0,95-1,05	3,8-4,3	12,0-13,0	2,5-3,0	0,5-1,0	-	1240-1260	550-570	62-65	620
P9Ф5	1,40-1,50	3,8-4,2	9,0-10,5	4,3-5,1	<1,0	-	1230-1250	560-580	63-65	620
P6M5Ф3*	0,96-1,05	3,8-4,3	5,7-6,7	2,2-2,6	5,5-6,0	-	1210-1230	540-560	63-65	625
P9K10	0,90-1,00	3,8-4,3	9,0-10,5	2,0-2,6	<1,0	9,0-10,5	1220-1240	560-580	63-66	640
P9K5	0,90-1,00	3,8-4,4	9,0-10,5	2,0-2,6	<1,0	5,0-6,0	1220-1240	560-580	63-66	630
P18K5Ф2	0,85-0,95	3,8-4,4	17,0-18,5	1,8-2,4	<1,0	5,0-6,0	1270-1290	560-580	64-67	640
P10K5Ф5	1,45-1,55	4,0-4,6	10,0-11,5	4,3-5,1	<1,0	5,0-6,0	1230-1250	560-580	64-67	640
P9M4K8	1,00-1,10	3,0-3,6	8,5-9,6	2,1-2,5	3,8-4,3	7,5-8,5	1210-1240	560-570	65-67	630
P6M5K5	0,80-0,88	3,8-4,3	6,0-7,0	1,7-2,2	4,8-5,8	4,8-5,3	1210-1240	540-560	64-66	630
Примітка. Марки сталей із зірочкою не входять до ГОСТ 19265-73.										

З інших елементів червоностійкість і різальні властивості підвищує кобальт (5-15%). Вольфрамові сталі з кобальтом мають більший ефект дисперсійного твердіння. При додаванні кобальту збільшується стійкість мартенситу проти відпуску, сповільнюється коагуляція карбідних частинок, що виділилися, відбувається повніше насичення аустеніту вольфрамом (молібденом), можливе також виділення інтерметалідів $(\text{Co}, \text{Fe})_7(\text{W}, \text{Mo})_6$. При цьому підвищуються твердість і червоностійкість до 640°C , але знижується в'язкість. Проте кобальт є дорогим і дефіцитним елементом.

У зв'язку з дефіцитністю вольфраму його частково замінюють молібденом. Молібден має ту саму кристалічну ґратку, що і вольфрам, дуже близькі параметри і ту саму атомну будову. Рівноцінні властивості швидкорізальні сталі отримують при заміні вольфраму молібденом у співвідношенні $\text{Mo} : \text{W} = 1 : 1,5$. Вольфраммолібденові сталі при тій самій червоностійкості, що і вольфрамові сталі (P18 і P12), відрізняються більшою однорідністю в розподілі карбідів, підвищеними характеристиками міцності, в'язкості й пластичності в гарячому стані. Великого поширення набули вольфраммолібденові сталі типу P6M5 і P6M3. Поліпшення стійкості інструменту з вольфрамових і молібденових сталей можна отримати підвищенням вмісту ванадію з одночасним збільшенням вмісту вуглецю, а також введенням 5-10% кобальту (табл. 5).

Сталі з кобальтом і підвищеним вмістом ванадію мають велику твердість, теплостійкість, теплопровідність, але меншу в'язкість, пластичність і високу вартість. Їх застосування доцільне в разі обробки різанням твердих конструкційних матеріалів ($\text{HB} \geq 300$) і малотеплопровідних аустенітних сталей і сплавів і при різанні з високими швидкостями.

З високотеплостійких сталей найбільш економічною є сталь Р6М5Ф3 із вмістом близько 1% С. Вона дає підвищення стійкості інструменту в 1,5-2 рази більше, ніж вольфрамові сталі (Р18, Р12). Сталь Р18, завдяки значній карбідній неоднорідності, малій в'язкості й пластичності раціонально застосовувати для шліфувального інструменту невеликих розмірів (діаметром 15-50 мм). Для більшості фасонних інструментів (фрез, розверток, свердел, протяжок) замість сталі Р18 можна використовувати сталь Р12 або Р6М5.

Швидкорізальні сталі належать до ледебуритного класу і мають у литому стані евтектику скелетоподібного вигляду. Для зменшення неоднорідності при кристалізації швидкорізальна сталь відливається з електропечей у зливки невеликої маси (200-300 кг). Перед гарячою механічною обробкою ставиться завдання роздроблення крихких карбідів на окремі зерна, у зв'язку з чим зливки піддають 2-3-кратному обтисканню. Після кування і відпалу в структурі сталі є зернисті карбіди з великими первинними евтектичними карбідами і більш дрібними вторинними. Відпал швидкорізальної сталі проводиться, як будь-якої інструментальної сталі, на зернистий перліт із нагрівом до температур $A_{c1} + (40-60)^{\circ}\text{C} = 860-880^{\circ}\text{C}$, з подальшим повільним охолодженням по $20-25^{\circ}\text{C}/\text{год}$ до 600°C . Аналіз кінетики розпаду переохолодженого аустеніту показує, що раціональніший ізотермічний відпал з нагрівом $860-880^{\circ}\text{C}$ та ізотермічною витримкою при температурах $720-740^{\circ}\text{C}$ протягом не менше 3-4 год з подальшим охолодженням на повітрі; при такому відпалі сталь отримує твердість не більше НВ 255, а для високолегованих швидкорізальних сталей не більше НВ 285. Застосування ізотермічного відпалу швидкорізальних сталей значно скорочує час операції. Підвищення температури нагрівання допускати не слід, оскільки значно збільшується стійкість переохолодженого аус-

теніту, затягується процес відпалу, а при тривалих витримках можуть утворитися стабільні карбіди WC , MoC , які при подальшому нагріванні під гарт практично не переходять у розчин аустеніту.

Швидкорізальна сталь набуває червоностійкості лише після гартування і відпуску. Сталі з вмістом 18% W нагрівають для гартування до $1270-1290^{\circ}C$. Зі зменшенням вмісту вольфраму температура нагрівання знижується: для сталей з 12% W вона становить $1240-1260^{\circ}C$, з 9 % W $1220-1240^{\circ}C$, а для найбільш поширених швидкорізальних сталей $P6M5$ і $P6M3$ – $1210-1230^{\circ}C$. Для сталей з молібденом підвищення температури нагрівання вище вказаних може привести до зростання зерна і різкого зниження міцності при вигині (з 4000 до 2500 МПа).

Висока температура нагрівання швидкорізальних сталей для гартування пояснюється необхідністю переведення легуючих елементів у розчин аустеніту для отримання легованого мартенситу, а після відпуску - вторинної твердості. Нормально загартовані швидкорізальні сталі мають разом з мартенситом до 30% залишкового аустеніту і до 15% карбідів таких, що не перейшли в розчин; твердість HRC 61 і нижче (рис. 81). Найбільш високу твердість після гартування мають сталі $P18$ і $P12$ при нагріванні на $1150^{\circ}C$, а сталі $P6M5$ і $P6M3$ – на $1100^{\circ}C$. Проте гартування швидкорізальних сталей із цих температур призводить до зниження твердості при відпуску внаслідок малої легованості аустеніту (значна частина карбідів не перейшла в розчин). На рис. 82 наведені криві зміни твердості при відпуску сталей $P18$ і $P6M5$, загартованих з нормальних температур (для $P18$ – $1280^{\circ}C$, а для $P6M5$ – $1220^{\circ}C$), і температур, при яких після гартування отримується максимальна твердість (відповідно 1150 і $1100^{\circ}C$). Сталі, загартовані зі знижених температур, при відпуску різко знижують твердість, а загартовані з нормальних температур дають вторинну твер-

дість до HRC 64 і вище після відпуску 560°C (сталь Р6М5) і 580°C (сталь Р18). Підвищення твердості пояснюється

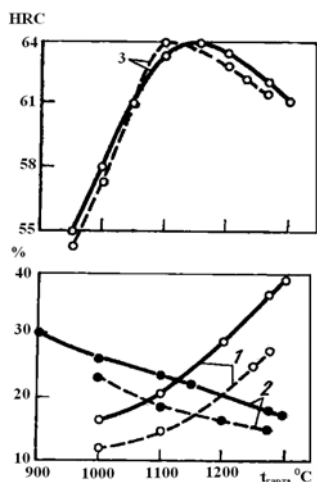


Рисунок 81 – Залежність твердості (крива 3), кількості залишкового аустеніту (крива 1) і кількості нерозчинених карбідів (крива 2) від температури гартування швидкорізальних сталей Р18 (суцільні лінії) і Р6М5 (штрихові лінії)

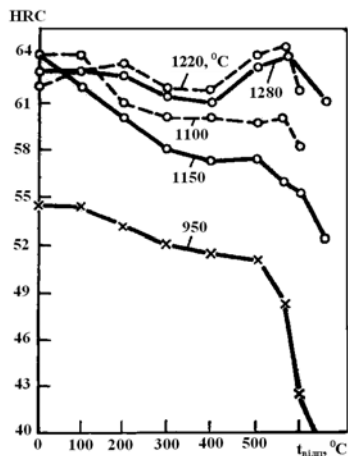


Рисунок 82 – Вплив температури гартування на зміну твердості швидкорізальних сталей Р18 (суцільні лінії) і Р6М5 (штрихові) при відпуску (цифри на кривих – температури гартування)

виділенням високодисперсних легованих карбідів із мартенситу і залишкового аустеніту, перетворенням залишкового аустеніту на мартенсит при охолодженні. Залишковий аустеніт швидкорізальної сталі, аналогічно переохолодженному, дуже стійкий і не розпадається у процесі нагрівання і витримки при відпуску. Але у зв'язку з виділенням карбідів під час витримки при 560-580°C він обідняється вуглецем і легуючими елементами. Мартенситна точка його підвищується і при охолодженні після відпуску відбувається зменшення кількості залишкового аустеніту. Оскільки за одну операцію охолодження повного розпаду залиш-

кового аустеніту не відбувається, то застосовують багатократні відпуски. Для сталей P18 і P9 три відпуски, а для P6M5, P6M3, що мають після гартування близько 20% залишкового аустеніту, достатньо двох відпусків. Багатократні відпуски проводять при температурі 560°C для сталей P6M5 і P6M3 і до 580°C для P18 з годинною витримкою, охолодження на повітрі. Розкладання залишкового аустеніту можна здійснити обробкою холодом при температурі -80 – 100°C. При цьому твердість підвищується до HRC 65 і можна обмежитись одним відпуском при тих самих температурах із годинною витримкою. Обробку холодом необхідно проводити відразу після гартування, інакше може відбутися стабілізація остаточного аустеніту; в інструменті складної форми можливе утворення тріщин, тому нижчі температури застосовувати не слід.

Перед кожним гартуванням швидкорізальна сталь обов'язково повинна піддаватися відпалу, інакше може утворитися нафталіністий злам, який супроводжується різким зниженням в'язкості й стійкості інструмента в експлуатації.

Для нагрівання під гартування застосовують електродні ванни, які забезпечують швидке і рівномірне нагрівання. У зв'язку з малою теплопровідністю швидкорізальних сталей їх нагрівають під гартування з попереднім підігріванням до 800-900°C у камерних печах або соляних електродних ваннах. При нагріванні в соляних ваннах корисно попереднє короткочасне змочування інструменту, закристалізована на його поверхні сіль зменшить швидкість первинного нагрівання. Витримка при кінцевій температурі нагрівання для гартування встановлюється 6-7 с на кожен міліметр діаметра або товщини виробу при нагріванні в соляних ваннах і 10-12 с при нагріванні в камерній печі.

Кращої стійкості в роботі інструмент набуває при гарті з охолодженням у маслі. У разі необхідності зменшити

напруження застосовують ступеневе гартування в гарячих середовищах. Температура гарячого гартівного середовища повинна відповідати найбільшій стійкості переохолодженого аустеніту, тобто 500-550°C. Після витримки в гарячому гартівному середовищі інструмент охолоджується в маслі. На рис. 83 наведені графіки повного циклу термічної обробки швидкорізальної сталі.

Різка різниця в часі нагрівання швидкорізальних сталей для гартування і відпуску не дозволяє організувати потокову лінію з включенням операцій відпуску. Дослідження показали, що для сталей P6M5 і P6M5K5 тривалість відпуску можна скоротити до 4-6 хв, при підвищенні температури відпуску до 630-640°C.

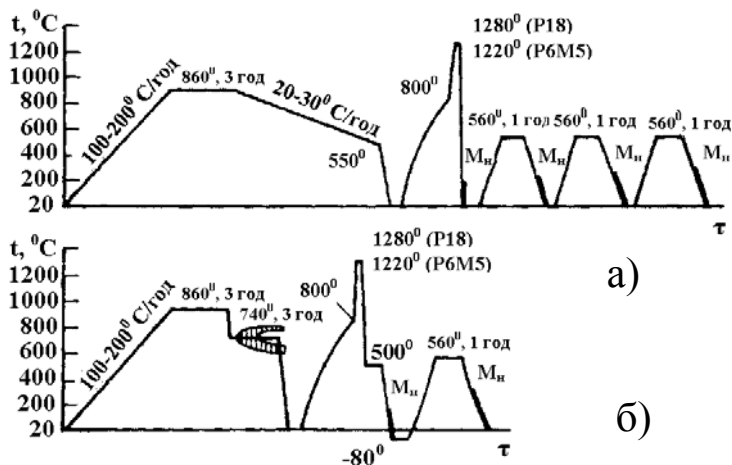


Рисунок 83 – Графіки повного циклу термічної обробки швидкорізальних сталей: а – термічна обробка включає відпал, гартування в маслі й три відпуски; б – термічна обробка складається з ізотермічного відпалу, ступеневого гартування, обробки холодом і одного відпуску

Температуру нагрівання при відпуску рекомендується визначати за формулою $t_{\text{відп}} = 600 + (8-12) V\% + (1-2) Co \%$.

Різке зменшення часу відпуску дозволить створити потокову лінію на повний цикл остаточної термічної обробки швидкорізальних сталей з використанням соляних електродних ванн. Така лінія міститиме ванни 1, 2 для підігрівання, 1 – для остаточного нагрівання, 1 – для ступеневого гартування з подальшим охолодженням стисненим повітрям і 2 – для відпуску. Для розплавів доцільно використовувати хлористі солі та їх суміші. Перенесення пристосувань з інструментами з однієї ванни в іншу можна здійснювати перекиданнями важелів або ланцюгами.

Підвищення стійкості інструменту з швидкорізальних сталей може бути досягнуте застосуванням додаткових способів обробки. До них належить ціанування остаточного обробленого інструменту при температурах 550-560⁰С у розплавах ціанистих солей (NaCN+KCN) з витримкою 20-30 хв. Добрі результати дає застосування ванни з 20-25% NaCN і 5-9% KCNO (решта Na₂CO₃+KCl). Для забезпечення підвищеної корозійної стійкості інструмент після ціанування піддають оксидуванню при 450-500⁰С у розплаві солей 40% KNO₃+60% NaNO₃. Ті самі результати отримуються при газовому ціануванні в суміші 20-30% аміаку +80-70% цементуючого газу при температурі 550-570⁰С з витримкою 1,5-2,5 год.

Деяке підвищення стійкості інструменту дає застосування сульфоціанування (сульфоазотування) при 570-590⁰С з подальшим охолодженням на повітрі. Для обробки інструменту застосовують рідкі ванни (50% NaCN + + 25% Na₂SO₄) і як нейтральний розріджувач 25% KCl або не отруйний розплав (сечовина 55% (NH₂)₂CO + поташ 45% K₂CO₃) і 2% Na₂S від маси. Перевагою процесу є відсутність скріплювання з оброблюваним матеріалом.

Стійкість інструменту зі швидкорізальних сталей можна підвищити обробкою парою, внаслідок чого одержується пористий оксид, що утримує змащування при експлуа-

тації. Інструмент поміщають у реторту шахтної печі, нагрівають до 300°C, видаляють повітря продуванням паром протягом 20-30 хв. Потім підвищують температуру до 550-560°C, витримують 30-60 хв в атмосфері пари й охолоджують до 300-350°C, після чого припиняють подачу пари й охолоджують інструмент на повітрі й повільно промивають у гарячому маслі.

Збільшити стійкість інструменту можна застосуванням ступеневого гартування, при якому відбувається старіння всього переохолодженого аустеніту з виділенням дисперсних карбідів, але без розпаду аустеніту. Таким оптимальним режимом для сталі Р18 буде нагрівання до температур 1270-1290°C, а для сталі Р6М5 – до 1210-1230°C і старіння при 620-630°C з витримкою 15-20 хв і подальшим охолодженням у маслі або на повітрі.

Підвищення стійкості інструменту зі швидкорізальних сталей досягається електроіскровим зміцненням твердими сплавами (типу Т15К6) або графітом. При електроіскровому зміцненні найзначніше підвищується стійкість інструменту, що зношується по передній грані (обдирне і напівобдирне точіння, фрезерування при товстих і середніх стружках). Поліпшення якості поверхні інструменту і видалення дефектів трооститного поверхневого шару, що утворюється в процесі шліфування, можуть бути отримані за допомогою електролітичного полірування. Кращою ванною для цього є фосфорно-сірчаноокислий електроліт при густині струму 6 А/дм² і напрузі 3,5-4,5 В. Тривалість процесу становить 20-30 хв.

У ряді робіт вказується на підвищення твердості й стійкості інструменту зі швидкорізальних сталей за допомогою лазерного зміцнення. Так, відрізні різці для токарних автоматів, виготовлені зі сталі Р6М5, після обробки променем лазера на установці «Квант-16» значно підвищили стійкість у роботі. Хороші результати дало лазерне змі-

цнення кінцевих фрез, застосовуваних у верстатах з ЧПУ. Так, при фрезеруванні сталі типу X18H9T було отримано підвищення їх стійкості удвічі.

Економія швидкорізальних сталей досягається виготовленням, зварного, наплавленого, збірного інструменту і застосуванням литого суцільного і біметалічного інструменту.

Швидкорізальні сталі використовують тільки для різальної частини інструменту. Велика кількість інструменту (особливо різців) робиться збірними: пластинки зі швидкорізальних сталей скріплюються з державками з низьколегованих сталей 40X, 40XH та ін. Кріплення пластинок здійснюється пічним наварюванням, електричним контактним зварюванням і механічним кріпленням. Пічне наварювання проводять для P18 при 1260-1280⁰C за допомогою зварювальних порошків (феросиліцію, феромарганцю та ін.) з подальшим гартуванням. Після електричного контактного зварювання необхідний відпал, причому краще використовувати ізотермічну витримку відразу після зварювання при температурах 730-740⁰C. При виготовленні складених свердел, мітчиків переважно застосовують контактне зварювання, а для складених фрез – наварювання і механічне кріплення.

Економії швидкорізальних сталей досягають застосуванням наплавлення швидкорізальної сталі на державку за допомогою киснево-ацетиленових пальників або електричної дуги. Наплавлення зубів великих протяжок здійснюють при температурах 500-550⁰C, відповідних області стійкого аустеніту. Після такого наплавлення й охолодження на повітрі досить провести відпуск при 600-630⁰C.

Значну економію швидкорізальних сталей дає виготовлення литого інструменту з використанням як шихти відходів швидкорізальної сталі й стружки. Плавку проводять у високочастотних печах. Лита швидкорізальна сталь має

підвищений опір стиранню, але крихкіша. Для зменшення крихкості литої швидкорізальної сталі необхідно отримати в структурі різальної кромки евтектику не у вигляді скелета, а у формі дрібних роздроблених карбідів, що досягається прискореним охолодженням (наприклад, при відливанні в кокіль). При литті в кокіль інколи можна обмежитися лише відпуском при 560-580°C. Враховуючи кращу рідкоплинність для литого інструменту рекомендуються сталі Р6МЗ, Р12ФЗ, Р6МЗФ. Відпал і гартування литого інструменту зі швидкорізальних сталей подібні кованим сталям. Інколи застосовують подвійний відпал – перший з температур 960-980°C із метою підвищення однорідності литої сталі, а другий – з 860-880°C.

Можна підвищити твердість і стійкість литих швидкорізальних сталей, застосовуючи модифікування її невеликими добавками (0,2-0,3%) бору, цирконію, титану. Останні два елементи підвищують в'язкість, подрібнюючи зерно сталі. Покращує технологічні властивості й рідкоплинність введенням до 1% міді та нікелю.

Подальша економія вольфраму і молібдену в литих швидкорізальних сталях досягається виробництвом литого біметалічного інструменту. При виготовленні, наприклад, великих фрез, можна, заформувавши центральну частину фрези з вуглецевої сталі, залити її для утворення обода із зубцями швидкорізальною сталлю або, навпаки, заформувавши пластинки зі швидкорізальної сталі, залити їх вуглецевою сталлю. У першому випадку внаслідок нижчої температури плавлення швидкорізальної сталі не відбувається її зварювання з вуглецевою сталлю; тому необхідно передбачати механічне кріплення (наприклад, за типом ластівчиного хвоста).

Можна виготовляти інструмент зі швидкорізальних сталей методом порошкової металургії. Це дає низку переваг, що полягають в отриманні більш дисперсних, рівномі-

рно розподілених карбідів, дрібного зерна, підвищенні експлуатаційної стійкості. Температура гартування такого інструменту не повинна перевищувати температури спікання ($\sim 1200^{\circ}\text{C}$). Тому метод порошкової металургії рекомендується застосовувати для вольфрамомолібденових сталей зі вмістом не більше 6%.

У ряді робіт вказується, що для інструменту, що виготовляється методом порошкової металургії, замість сталі Р6М5 можна застосовувати менш леговану вольфрамом сталь з добавкою 2-3% V.

Тверді металокерамічні сплави для інструменту застосовують при дуже високих швидкостях різання (80 м/хв. і вище) або при чорновому точінні, коли температура різальної кромки становить 700°C і вище. Вони є чистими карбідами вольфраму або з добавкою карбідів титану, танталу, молібдену. Ці сплави через високу температуру плавлення карбідів виготовляють методами порошкової металургії – спіканням порошків карбідів. Зв'язувальною речовиною служить кобальт (від 3 до 25%). З підвищенням вмісту кобальту збільшується в'язкість сплаву, але дещо знижується твердість. Тверді сплави мають високу твердість (до HRA 90 або близько HRC 73), причому така твердість зберігається аж до температури 1000°C . Незважаючи на дуже високі різальні властивості, застосування цих сплавів обмежується їх крихкістю, неможливістю їх механічної обробки і високою вартістю. Випускаються вони у вигляді пластин різного розміру і форми, що напаюються міддю на державки при 1200°C . Склади і властивості основних металокерамічних твердих сплавів, що виготовляються серійно, наведені в табл. 6.

Однокарбідні вольфрамкові тверді сплави застосовують для інструментів, що обробляють переважно крихкі матеріали: чавуни, бронзи, стекла, а вольфрамо-титанові сплави для більш в'язких матеріалів і важкооброблюваних сталей.

Одним із факторів підвищення продуктивності металокерамічних твердих сплавів є точне дотримання геометрії. Враховуючи високий опір цих сплавів стискуванню, застосовують негативні передні кути.

Таблиця 6 – Характеристика основних твердих сплавів
(виписка із ГОСТ 3882)

Марка сплаву	Склад, %				Густина, г/см ³	Твердість HRA, не менше	σ, МПа, не менше
	WC	NiC	TaC	Co			
BK3	97	-	-	3	15,0-15,3	89,5	1100
BK4	96	-	-	4	14,9-15,2	89,5	1400
BK6	94	-	-	6	14,6-15,0	88,5	1500
BK8	92	-	-	8	14,4-14,8	87,5	1600
BK10	90	-	-	10	14,2-14,6	87,0	1650
BK15	85	-	-	15	13,9-14,1	86,0	1800
BK20	80	-	-	20	13,4-13,7	84,0	1950
BK25	75	-	-	25	12,9-13,2	82,0	2000
T30K4	66	30	-	4	9,5-9,8	92,0	950
T15K6	79	15	-	6	11,1-11,6	90,0	1150
T14K8	78	14	-	8	11,2-11,6	89,5	1250
T5K10	85	5	-	10	12,4-13,1	88,5	1400
T5K12	83	5	-	12	13,1-13,5	87,0	1650
TT7K12	81	4	3	12	13,0-13,3	87,0	1650
TT8K6	84	8	2	6	12,8-13,7	90,5	1250
TT10K8	82	3	7	8	13,5-13,8	89,0	1300
TT20K9	71	8	12	12	12,0-13,0	89,0	1300

Для отримання високих швидкостей різання застосовують керамічні матеріали. З природних матеріалів використовують новокуліт, а зі штучних – керамічні матеріали на основі оксиду алюмінію. Пластинки з керамічних матеріалів кріплять на металевій державці за допомогою припою, різних цементів або механічним способом. Керамічні інструменти застосовують для чистового і напівчистового різання за відсутності ударних навантажень і вібрацій.

8.2. Термічна обробка штампового інструменту

За характером роботи штампи призначаються: 1) для деформації холодного металу (діропробивні, вирубні, згинальні, витяжні штампи і волочильні кільця); 2) для деформації гарячого металу (молотові штампи, пуансони і матриці формування, прошивні й обрізні штампи та ін.); 3) штампи для лиття під тиском (прес-форми).

Розігрівання робочої поверхні штампів при холодній деформації не перевищує 200-300°C, тоді як при гарячій деформації температура нагріву фігури штампу досягає 500-600°C. В особливо важких умовах працюють прес-форми, які стикаються з розплавленим металом й охолоджуваною водою.

Для успішної роботи штампів при гарячій деформації металу твердість їх поверхні має бути не нижче HB 300 (HRC 33).

Дрібні штампи виготовляють із вуглецевих сталей У8, У9 і У12. Завдяки нескрізному гартування в малих перерізах вуглецева сталь поєднує високу твердість поверхні (HRC 60-62) при в'язкій серцевині. В'язкість вуглецевих сталей можна підвищити добавкою 0,4-0,5% Cr і 0,2-0,3% V – сильного карбідотвірного елемента. Введення цих добавок сприяє подрібненню зерна вуглецевої сталі, хімічний склад штампів холодного штампування й режими їх термічної обробки наведені в табл. 7.

Сталі 9ХФ, 11ХФ, ХВ4 застосовують для виготовлення пуансонів.

Сталі 9Х1, ХГС і ХВСГ використовують для виготовлення матриць і пуансонів, призначених для холодної висадки за неважких умов роботи. Сталі 6ХС, 4ХВ2С, 5ХВ2С, 6ХВ2С застосовують для виготовлення ударного інструменту; типовою маркою сталі є ХВ2С з різним вмістом вуглецю. Сталі Х6Ф4М, 6Х6В3МФ і типу

8Х4В3М3Ф2, 8Х4В2С2МФ застосовують для виготовлення матриць і пуансонів холодної об'ємної деформації, що працюють при тисках 1800-2300 МПа, а також вирубних штампів складної конфігурації.

Таблиця 7 – Хімічний склад і режими кінцевої термічної обробки штампів

Марка сталі	Вміст				
	C	Si	Mn	Cr	W
11ХФ	1,05-1,15	0,15-0,35	0,40-0,7	0,4-0,7	-
ХВ4	1,25-1,45	0,15-0,35	0,15-0,4	0,4-0,7	3,5-4,3
9Х1	0,80-0,95	0,25-0,45	0,15-0,4	1,4-1,7	-
9ХС	0,85-0,95	1,20-1,60	0,30-0,6	0,95-1,25	-
ХГС	0,95-1,05	0,40-0,70	0,85-1,25	1,3-1,65	-
ХВСГ	0,95-1,05	0,65-1,00	0,60-0,9	0,6-1,1	0,5-0,8
Х6ВФ	1,05-1,15	0,15-0,35	0,15-0,4	5,5-6,5	1,0-1,5
Х6Ф4М	1,7-1,85	0,15-0,40	0,15-0,4	5,7-6,5	-
6Х6В3МФ	0,50-0,60	0,60-0,90	0,15-0,4	5,5-6,5	2,5-3,2
8Х4В3М3Ф2	0,75-0,85	0,15-0,40	0,15-0,4	3,5-4,5	2,5-3,2
8Х4В2С2МФ	0,80-0,90	1,60-2,00	0,25-0,5	4,2-4,9	1,8-2,3
Х12	2,0-2,2	0,15-0,35	0,15-0,4	11,5-13,0	-
Х12М	1,45-1,65	0,15-0,35	0,15-0,4	11,0-12,5	-
Х12Ф1	1,25-1,45	0,15-0,35	0,15-0,4	11,0-12,5	-
Х12ВМ	2,0-2,20	0,20-0,40	0,15-0,4	11,0-12,5	0,5-0,8
9ХВГ	0,85-0,95	0,15-0,35	0,90-1,2	0,5-0,8	0,5-0,8
6ХС	0,60-0,70	0,15-0,4	0,15-0,4	1,0-1,3	-
4ХВ2С	0,35-0,45	0,15-0,4	0,15-0,4	1,0-1,3	2,0-2,5
5ХВ2С	0,45-0,55	0,15-0,4	0,15-0,4	1,0-1,3	2,0-2,5
6ХВ2С	0,55-0,65	0,15-0,4	0,15-0,4	1,0-1,3	2,2-2,7
6Х3МФС	0,55-0,62	0,35-0,65	0,20-0,6	2,6-3,0	-
Примітка. Сталь ХВ4 загартовують у воді, решту – у маслі.					

Волоочильний інструмент (волоочильні дошки, кільця, вічка) використовують для деформації металу в холодному стані. Його виготовляють зі сталі марок Х12М, Х12Ф1, Х12ВМ, потім гартують з 1000-1050°С і відпускають при 220-250°С. Збільшення стійкості волоочильного інструменту в експлуатації досягається додатковим холодним наклепуванням вічка.

Штampi для гарячої деформації повинні мати теплостійкість, зносостійкість, опір зминанню, розпалостійкість й

крихкому руйнуванню. Молотові штампи, що працюють в умовах ударного навантаження, повинні мати підвищену в'язкість ($KCU \geq 0,4 \text{ МДж/м}^2$), яка досягається за рахунок деякого зниження твердості (до HRC 35-45). Штампи формування, прошивний та обрізний інструмент, прес-форми працюють на пресах при плавному навантаженні, але тривалому зіткненні з гарячим металом. Тому для них найбільш важливе збереження при відпуску твердості до HRC 45-50, а ударна в'язкість може бути обмежена $KCU \geq 0,2-0,3 \text{ МДж/м}^2$.

Штампи для гарячого штампування виготовляти з вуглецевих сталей недоцільно, оскільки їх твердість різко знижується при нагріванні вище 250-300°C.

Легування штампів, експлуатованих на пресах, що мають тривале зіткнення з гарячим металом, проводять з використанням карбідотвірних елементів, що підвищують стійкість проти відпуску (хромом, вольфрамом, молібденом, ванадієм), а з некарбідотвірних елементів – кремнієм. Сталі для молотових штампів, що піддаються ударним навантаженням, з метою підвищення в'язкості й прогартуваності легують нікелем, а для підвищення їх теплостійкості – невеликою кількістю молібдену або вольфраму. Комплексним легуванням карбідотвірними елементами можна значно підвищити в'язкість і теплостійкість, виключивши дефіцитний нікель.

Режими термічної обробки і хімічний склад сталей, що рекомендуються ГОСТ 5970 для штампів гарячого штампування, наведені в табл. 8.

Молотові штампи з масою падаючих частин до 3 т виготовляють зі сталі: 5ХНМ, 5ХНВ, 5ХНВС, а також із дешевших сталей – хромомарганцевих сталей 5ХГМ, 6ХВГ – їх заміників. Великогабаритні молотові штампи рекомендуються виготовляти зі сталей 5Х2НМФ, 30Х2Н2ВМФ,

Таблиця 8 – Хімічний склад (ГОСТ 5970-73) і режими остаточної термічної обробки штампів для гарячого штампування

Марка сталі	Хімічний склад сталі, %							
	C	Mn	Si	Cr	W	V	Mo	Ni
5ХНМ	0,50-0,60	0,50-0,8	0,15-0,35	0,5-0,8	-	-	0,15-0,3	1,4-1,8
5ХНВ	0,50-0,60	0,50-0,8	0,15-0,35	0,5-0,8	0,4-0,7	-	-	1,4-1,8
5ХНВС	0,50-0,60	0,30-0,6	0,60-0,90	1,3-1,6	0,4-0,7	-	-	0,8-1,2
5ХГМ	0,50-0,60	1,20-1,6	0,25-0,65	0,6-0,9	-	-	0,15-0,3	-
4Х-НМФС	0,35-0,42	0,15-0,4	0,70-1,00	1,3-1,6	0,3-0,5	0,35-0,5	0,7-0,9	1,2-1,6
5Х2НМФ	0,46-0,53	0,40-0,7	0,20-0,50	1,5-2,0	-	0,30-0,5	0,8-1,1	1,2-1,6
4ХМФС	0,37-0,45	0,50-0,8	0,50-0,80	1,5-1,8	-	0,30-0,5	0,9-1,2	-
4Х5МФС	0,32-0,40	0,15-0,4	0,80-1,20	4,5-5,5	-	0,30-0,5	1,2-1,5	-
3Х2В8Ф	0,30-0,40	0,15-0,4	0,15-0,40	2,2-2,7	7,5-8,5	0,20-0,5	-	-
4Х2В5МФ	0,30-0,40	0,15-0,4	0,15-0,35	2,0-3,0	3,5-4,2	0,30-0,6	0,40-0,6	-
5Х3В3МФС	0,45-0,52	0,30-0,6	0,50-0,80	2,5-3,2	3,0-3,6	1,50-1,8	0,80-1,1	Nb 0,05-0,15
4Х2В2ФС	0,42-0,05	0,30-0,6	0,30-1,60	2,0-2,2	1,8-2,4	0,60-0,9	0,80-1,1	-
4Х5В2ФС	0,35-0,45	0,15-0,4	0,80-1,20	4,5-5,5	1,6-2,0	0,60-0,9	-	-
4Х4ВМФС	0,37-0,44	0,20-0,5	0,60-1,00	3,2-4,0	0,8-1,2	0,60-0,9	1,2-01,5	-
4Х3ВМФС	0,40-0,48	0,30-0,6	0,20-0,40	2,8-3,5	0,6-1,0	0,60-0,9	0,40-0,6	-
3Х3М3Ф	0,27-0,34	0,30-0,6	0,20-0,40	2,8-3,3	-	0,40-0,6	2,5-3,0	-
4Х5МФС1	0,37-0,44	0,15-0,4	0,80-1,20	4,5-5,5	-	0,80-1,1	1,2-1,5	-
7Х3	0,65-0,75	0,15-0,4	0,15-0,35	3,2-3,8	-	-	-	-
8Х3	0,75-0,85	0,15-0,4	0,15-0,35	3,2-3,8	-	-	-	-
Примітка. Усі сталі загартовують у маслі								

Продовження таблиці 7

Марка сталі	Гартування		Відпуск, °C	
	t, °C	HRC	HRC 50-45	HRC 45-40
5XНМ	830-860	56-60	420-500	500-550
5XНВ	840-860	56-60	420-480	480-550
5XНВС	860-880	56-60	480-540	540-560
5XГМ	820-850	56-60	420-500	500-540
4X-НМФС	940-960	52-55	460-520	520-540
5X2НМФ	960-980	56-60	480-540	540-560
4ХМФС	920-930	55-59	500-550	550-600
4X5МФС	1000-1020	50-55	550-590	590-620
3X2В8Ф	1075-1125	48-52	590-620	620-640
4X2В5МФ	1060-1080	50-54	600-640	600-640
5X3В3МФС	1120-1140	53-56	610-650	650-680
4X2В2ФС	1080-1100	55-60	600-640	640-680
4X5В2ФС	1030-1050	52-56	570-600	600-620
4X4ВМФС	1050-1070	55-60	600-640	640-670
4X3ВМФС	1040-1060	52-56	580-620	620-650
3X3М3Ф	1030-1050	47-53	560-580	580-600
4X5МФСІ	1020-1040	50-56	570-600	600-630
7X3	850-880	54-60	460-490	490-530
8X3	850-880	55-61	520-560	560-600
Примітка. Усі сталі загартовують у маслі				

30X2H2ГМ1Ф1, а також із комплекснолегованих безнікелевих сталей 4ХМФС, 4Х5МФС, теплостійких до 550°C.

Для виготовлення прошивних, обрізних і висадочних штампів неглибокої прошивки і висадки використовують сталі 7Х3 і 8Х3 для важких умов роботи.

Пресовий інструмент виготовляють зі сталі 3Х2В8Ф (теплостійкістю до 600-650°C, HRC 45-50). Проте ця сталь містить до 8% дефіцитного вольфраму. Її замітники – сталі 4Х2В5МФ, 5Х3В3МФС, 4Х2В2МФС, 4Х3ВМФ, 4Х5В2ФС, 3Х3М3Ф. Для підвищення прогартовуваності в сталь вводять до 1,5% Mn (сталь 4Х3М2ВФГС із теплостійкістю до 650°C).

Інструмент, що працює в особливо важких температурно-силових умовах (високий ступінь деформації, напівгаряче витискування і т. п.), виготовляють зі сталей, що містять підвищену кількість карбідотвірних елементів.

У ряді випадків високолеговані штампові сталі використовують лише для вставок (сталі 4Х5В2ФС, 4Х5МФС, 4Х4ВМФС, 4Х3ВМФ).

Значну економію сталей з підвищенням експлуатаційних властивостей можна отримати, застосовуючи двошарові штампи з наплавленням ЕШП.

Ножі для гарячого різання металу виготовляють зі сталі 5ХНМ, 3Х2В8Ф, 3Х3М3Ф.

У важких умовах працюють прес-форми для лиття під тиском кольорових сплавів. З одного боку, вони піддаються дії рідкого металу, а з іншого – охолоджуваної води. Форми для лиття під тиском мідних сплавів виготовляють зі сталей 3Х2В8Ф, 3Х3М3Ф, 4Х4МВФС, а для лиття легких алюмінієвих сплавів – зі сталей 4Х5В2ФС, 4Х5МФ1С, 4Х5МФС.

Температура відпуску для молотових штампів залежить від розміру штампу і способу його виготовлення. Термічну обробку великих штампів рекомендується проводи-

ти на кубики, а потім нарізати фігуру; при цьому для можливості проведення механічної обробки твердість повинна бути не вище НВ 290-330. Дрібні штампи краще обробляти на твердість НВ 360-420. У цьому разі спочатку необхідно виготовити фігури штампа, а потім провести термічну обробку. Штампи середніх розмірів обробляють на НВ 330-360, нарізають фігуру штампа з деяким допуском, потім йде термічна обробка й остаточне доведення фігури штампа. Після відпуску всього штампа проводять додатковий відпуск хвостовика штампа при 650-700°C.

Масивні штампи нагрівають в печах з висувним подом, а дрібні – в камерних печах з розміщенням штампів на піддонах або в соляних ваннах. Тривалість витримки в печі при нагріванні під гартування становить орієнтовно 50-70 с, а в соляних ваннах – 15-20 с на 1 мм товщини; при відпуску час витримки – 2 год плюс 1 хв на 1 мм товщини штампа.

На стійкість штампів впливає розміщення волокна в заготовці; необхідно, аби напрям максимальних зусиль був перпендикулярний до волокна; тому фігуру штампа краще отримувати штампуванням; крім того, дотримання певних умов експлуатації, з яких найбільш суттєві періодична перевірка налаштування штампів за шаблонами, застосування охолодження і змащування робочої поверхні штампа (наприклад, охолодження стисненим повітрям, водоповітряною сумішшю, змащування підігрітим маслом із графітом і т. п.).

Підвищити стійкість штампів можна: 1) азотуванням на глибину 0,2-0,3 мм при температурі 560-580°C із витримкою 6-8 год на 0,1 мм шару з дисоціацією аміаку 40-60%. Для штампів, виготовлених зі сталей 5ХНМ, 3Х2В8Ф, 4Х5В2ФС, Х12М підвищує стійкість застосування перед азотуванням насичення поверхні штампа сумішшю 95% Cr+5% V при 1050°C протягом 5 год і гартування з норма-

льних температур у маслі. Азотування рекомендується триступеневе (520°C 6 год + 540°C, 6 год + 520°C, 6 год); 2) застосуванням сталей, виплавлених ЕШП; 3) електроіскровим зміцненням твердими сплавами (типу Т15К6 і Т30К4) з використанням імпульсних розрядів тривалістю 0,01 с при напрузі 125 В, силі струму 2,5-3,0 А і конденсаторах 100 мФ; 4) наплавленням форми штампів сормайтотом (30% Cr, 8% Ni, 4% Si) або твердими сплавами і мартенситно-старіючими сталями.

Для поверхневого зміцнення штампового і різального інструменту використовують лазерні установки. Гартування робочих кромek вирубних штампів зі сталей У8 і У10 на установці «Квант 16» сприяє підвищенню їх твердості й стійкості в експлуатації удвічі, а пуансонів зі сталі У10 в 1,5 рази. Вказується, що опромінення лазером робочих частин вирубних штампів зі сталі Х12 після звичайної термічної обробки додатково підвищує їх стійкість у два-три рази. Твердість і теплостійкість різального інструменту зі сталей Р18, Р6М5 та інших також підвищується. Наголошується, що інтервал густини енергії імпульсів лазерного випромінювання, які сприяють підвищенню експлуатаційної стійкості, порівняно вузький.

Особливо ефективно лазерне зміцнення для підвищення зносостійкості штампів, використовуваних на швидкісних пресах-автоматах.

Литі штампи рекомендується відливати з хромо-нікелевих сталей з дещо зниженим вмістом вуглецю (типу 40ХНМ, 45ХНВ, 45ХНМФ). Вони повинні мати хорошу рідкоплинність і малу схильність до тріщиноутворення. Особлива увага при відливанні штампів має бути приділена отриманню щільних виливків з дрібною кристалічною структурою. До обрізання додатку литі штампи піддають високому відпуску при 650-670°C з витримкою 3-4 год і повільному охолодженню в печі до 300°C для зняття на-

пруги. Після обрізання додатку і зачищення поверхні їх відпалюють при 860°C з повільним охолодженням у печі на твердість не вище HB 240. Остаточна термічна обробка – гартування з $880-900^{\circ}\text{C}$ у маслі й високий відпуск. Температура відпуску, а отже і твердість штамів, як і в кованих, залежить від їх розмірів. Для дрібних штамів вона дорівнює 450-500 (HB 388-444), для середніх – 500-550 (HB 363-380), а великих – $550-600^{\circ}\text{C}$ (HB 321-363).

Після проведення загального відпуску хвостовики штамів піддають додатковому відпуску при $650-700^{\circ}\text{C}$.

Стійкість литих штамів підвищується при виготовленні їх зі сталі, виплавленої ЕШП. Значна економія металу досягається при виготовленні двошарових штамів із використанням ЕШП (наприклад ковальські штампи, в яких 25-40 % зі сталі 45ХНМ і 75-60 % зі сталі 45).

Чавунні штампи порівняно зі сталевими мають ряд переваг: вони дешевші, їх легко обробляти різанням, вони стійкі до вібрацій, стійкі в умовах сухого тертя внаслідок змащувальних властивостей графіту чавуну. Штампи виготовляють із хромонікелевих і модифікованих сірих чавунів; хороші результати показав чавун з кулястим графітом. Чавунні штампи використовують при холодному глибокому витягуванні листового металу.

Штампи із графітізованої сталі поєднують високу твердість і міцність сталі з хорошою оброблюваністю, вібраційною стійкістю і мастильними властивостями графіту. Для штамів використовують високовуглецеву сталь з 1,4-1,45% С, частина якого графітізується при 900°C протягом 20 год. Процес графітізації можна прискорити попередньою нормалізацією з 950°C . Остаточна термічна обробка полягає в гартуванні з $820-850^{\circ}\text{C}$ і відпуску, який для штамів, призначених для холодної деформації, проводять при $160-200^{\circ}\text{C}$ (твердість HRC 56-60), а для гарячої деформації при $550-600^{\circ}\text{C}$ (твердість HB 300-320). При особливих ви-

могах сталь легують 0,2-0,4% Мо. За даними фірми «Timken», стійкість пуансонів холодної витяжки для обойм підшипників підвищується в 2-3 рази порівняно з обоймами зі сталі ШХ15.

8.3. Термічна обробка валків

Валки прокатних станів холодної й гарячої прокатки є змінним інструментом; їх термічна обробка проводиться на заводах важкого машинобудування.

Основні вимоги, що ставляться до матеріалу бочки валків холодної прокатки: висока твердість (90 од. Шора), зносостійкість, контактна міцність при малій чутливості до ударних навантажень і теплового розтріскування. Шийки валків повинні мати високу конструктивну міцність при твердості 40-45 од. за Шором. Глибина активного шару бочки (з твердістю вище 85 од. Шора) має бути не менше 3% від радіуса.

Робочі валки станів холодної прокатки виготовляють зі сталі зі вмістом близько 2% Сг (9Х2, 9Х2СФ, 9Х2МФ, 9Х2В та ін.).

Попередня термічна їх обробка – відпал поковок при 780-800°C (8-12 год) і повільне охолодження зі швидкістю 20°C/год. Такий режим забезпечує отримання структури зернистого перліту. Твердість не повинна перевищувати НВ 220. При значному вмісті в металі водню (вище 3-4 см³ на 100 г металу) необхідно відразу після кування до відпалу застосовувати протифлокенну обробку, як це робиться для великих поковок.

Після відпалу поковки проходять обдирання, свердління осевого отвору і піддаються поліпшенню з метою підготовки структури металу до подальшого гартування. Температуру нагрівання під гартування при поліпшенні беруть 870-890°C (вище Ас₁ на 90-120°C), щоб можна було

повніше розчинити карбіди. Після гартування в маслі застосовується високий відпуск при $700-720^{\circ}\text{C}$, який сприяє рівномірному виділенню карбідів і прискоренню їх коагуляції.

Після поліпшення валки проходять токарну обробку з припуском $1,0-1,5$ мм на сторону, потім їх гартують у воді з $800-820^{\circ}\text{C}$. При цьому в поверхневих шарах отримується структура мартенситу з рівномірним розподілом карбідів, що раніше виділилися. Для підвищення прогартовуваності валків їх додатково піддають струминному охолодженню у спеціальному пристосуванні, а для зменшення напруження у валках діаметром більше 500 мм проводять охолодження внутрішнього каналу. Шийки валків для оберігання від гарту ізолюють. Схема збирання валка для гартування і струминне пристосування показані на рис. 84. Тривалість охолодження валків має бути достатньою, аби поверхня бочки набула температури $40-60^{\circ}\text{C}$. Відпуск валків після гартування проводять при $130-140^{\circ}\text{C}$ з витримкою 1 год на 1 см діаметра бочки валка. Після відпуску і шліфування валки піддають додатковому відпуску при температурі на $5-10^{\circ}\text{C}$ нижче за температуру першого відпуску.

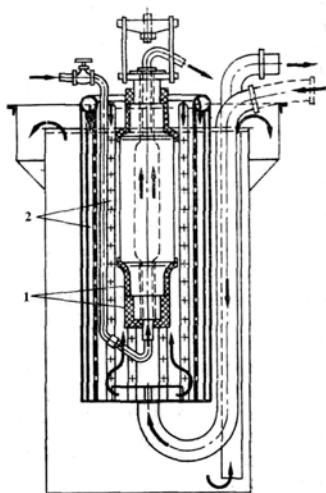


Рисунок 84 – Збирання 1 валка холодної прокатки під гартування, поміщене в бак із струминним пристосуванням 2

Як остаточна термічна обробка застосовують поверхневе гартування бочки валків з безперервно-послідовним нагріванням СВЧ або СВЧ із спреєрним охолодженням. Для зменшення напруження на ряді заводів спочатку здійснюють прогрівання СВЧ усієї поверхні валка за декілька проходів індуктора, після чого проводять спреєрне охолодження нагрітої поверхні.

Як рекомендація щодо скорочення тривалості попередньої обробки вказується на можливість поєднання її з куванням. Після закінчення кування поковки охолоджують у маслі й потім піддають високому відпуску. Крім того, пропонується підвищити температуру відпуску до 160°C зі скороченням витримки до 15-20 год.

Для виробництва валків холодної прокатки двадцяти-валкових станів рекомендують застосовувати сталь Х9ВМФШ, яка має високу теплостійкість, зносостійкість, контактну міцність, утомну витривалість і наскрізне загартування до діаметра 160 мм. Остаточною термічною обробкою є загартування з температури близько 1000°C у маслі з подальшою видачею на повітря і низький відпуск при 160-180°C протягом 16-20 год. Можливе застосування гартування з підвищеної температури (1100°C) у маслі й відпуск на вторинну твердість при температурах 560-580°C з витримкою 4-5 год.

Опорні валки виготовляють зі сталей 9ХФ і 75ХМ. Діаметр бочки валків важконавантажених станів холодної прокатки становить 1,0-2,0 м.

Після кування опорні валки піддаються ізотермічному відпалу. Доцільно відпал поєднувати з охолодженням після кування. Для цього поверхню валка попередньо переохолоджують до 400-500°C, а потім проводять ізотермічну витримку при 680-700°C. Остаточна термічна обробка полягає в нормалізації з 860-900°C з високим відпуском при 600-650°C. Потім проводять гартування бочки з безперер-

вно-послідовним нагріванням СВЧ і відпуском на необхідну твердість (40-45 од. Шора).

Валки станів гарячої прокатки виготовляють зі сталей типу 55, 55Х, 60ХГ, 75ХМ від 50ХН до 60ХН. Валки гартують з 830-850°C, потім піддають високому відпуску при 600-650°C і наплавленню робочої поверхні. Для наплавлення застосовують дрiт зі сталей 30ХГС, ПП-3Х2В8, ПП-25Х5ФМС та ін.

На станах гарячої прокатки успішно експлуатують литі валки із заєвтектоїдної сталі 150ХНМ, а на великосортних станах з вуглецевих сталей У10 і У12. Валки піддають подвійній нормалізації з 1050 і 850°C і відпуску при 550-600°C.

З метою підвищення стійкості прокатних валків і їх відновлення застосовують наплавлення. Валки обтискних, сортопрокатних і листових станів наплавляють порошковим дротом або стрічкою із отриманням у поверхневому шарі складів, відповідних сталям 3Х2В8Ф, 5Х4В3Ф, 3Х3В2М2ФС та ін. Новим напрямом є застосування для наплавлення низьковуглецевих безвольфрамowych мартенситних сталей типу 15Х5МФ, 20Х5МФС, 20Х7М2Ф, які після наплавлення добре обробляються різанням, а при подальшому відпуску (560°C, 12-15 год) дають високу зносостійкість. Розміри валків відновлюють наплавленням сталей типу 30ХГСА.

У разі гарячої деформації металу при нагріванні валків вище 700°C (наприклад, валків пільгер-станів) замість широковикористовуваної сталі 08Х21Н10Г6 успішно застосовують економнолеговані низьковуглецеві аустенітні хромомарганцеві сталі з добавкою азоту і карбідотвірних елементів (наприклад, сталь 10Х13Г12АФ або сталь з великим числом карбідотвірних елементів).

8.4. Термічна обробка калібрів і вимірювального інструменту

До калібрів і вимірювального інструменту ставляться особливі вимоги: мала зношуваність у роботі й незмінність розмірів. Тому сталь для калібрів повинна забезпечити високу поверхневу твердість (для гладких калібрів HRC 58-64, для різбових HRC 55-60); мала і закономірна зміна розмірів інструментів при термічній обробці, яке піддавалося б попередньому обліку; відсутність старіння під час експлуатації.

У сталі для калібрів високої точності неметалічних включень допускається не більше за бал 2.

Високу поверхневу твердість і малу деформацію можна отримати застосуванням хіміко-термічної обробки (цементації, азотування, хромування).

Принцип отримання таких сталей зводиться до збереження в структурі загартованої сталі разом із мартенситом залишкового аустеніту. Комбінуючи кількість мартенситу, що має найбільший питомий об'єм, з певною кількістю залишкового аустеніту, що має найменший питомий об'єм, можна отримати питомий об'єм загартованої сталі, що дорівнює об'єму вихідної відпаленої сталі, а отже, зберегти після гартування незмінними розміри інструменту.

Зменшення деформації сталі після термічної обробки можна досягти гартуванням СВЧ і хіміко-термічною обробкою, оскільки структура в цих випадках змінюється лише в невеликому за об'ємом поверхневому шарі.

Для маловідповідального інструменту (шаблонів, скоб, гладких пробок) застосовують цементацію з подальшим гартуванням і низьким відпуском. Цементацію проводять у шахтних печах з застосуванням як карбюризатора природного газу, бензолу або гасу протягом 5-7 год при 930-940°C (глибина шару – 0,6-1,0 мм). Витрата гасу становить

60-80 крапель за хв. Рідинну цементацию проводять у розплаві солей (35% NaCN або KCN і 65% Na₂CO₃) протягом 1-2 год при 880-900°C (глибина шару – 0,4-0,6 мм). На ряді заводів для рідинної цементации застосовують розплав 90% Na₂CO₃ і 10% порошку дрібнотовченого карборунду (SiC). При 900-920°C можна отримати вміст вуглецю в поверхневому шарі до 0,9%.

Газове ціанування проводять із застосуванням 60-80% природного газу і 40-20% аміаку за наявності алюмінієвої стружки. Температура процесу – 560°C, витримка – 1-2 год (глибина шару – 0,04-0,08 мм).

Калібри піддають електролітичному хромуванню «в розмір». Шар хрому має високу твердість і зносостійкість, малий коефіцієнт тертя і значну корозійну стійкість у вологій атмосфері, що дуже істотно для калібрів. Для досягнення зносостійкості достатній шар хрому товщиною 2-3 мкм. З урахуванням подальшого шліфування шар збільшується до 0,1 мм. Кращі результати хромування гладких калібрів досягаються при складі електроліту – 250 г Cr₂O₃ і 25 г H₂SO₄ на літр води (густина струму – 45 А/дм², температура – 55°C). При такому режимі швидкість нарощування хрому дорівнює 1 мкм на діаметр за 1,5 хв., необхідна товщина шару хрому – близько 3 мкм.

Для різбових пробок і кілець склад електроліту хромування – 150 г Cr₂O₃ і 1,5 г H₂SO₄ на літр води (густина струму – 50 А/дм², температура – 60°C). Краще хромуються вуглецеві сталі (У10, У8) і низьколеговані. Стійкість хромованого інструменту в 2-3 рази вища стійкості нехромованого.

Для калібрів застосовують сталі, що малодеформуються типу ХВГ і типу Х12, Х12М, Х12Ф1, Х12ВМ. Сталі ХВГ гартують з 820-840°C у маслі і відпускають при 160-180°C протягом 1 год. Зменшення деформації може бути досягнуте гартуванням у гарячому середовищі з темпера-

турою 230-250°C протягом 10-15 хв і подальшому охолодженню на повітрі. Для стабілізації структури і розмірів корисно після гартування застосовувати обробку холодом при температурах -10°C, а після шліфування старіння – при 110-120°C протягом 10-16 год.

При використанні для калібрів високохромистих сталей (X12, X12M, X12Ф) застосовують два методи термічної обробки. Знижену температуру гартування (950-1000°C) на високу твердість і низький відпуск при 180-200°C або підвищену температуру гартування і високий відпуск. В останньому випадку можна отримати дуже точні розміри тепловим доведенням. Сталі гартують з 1050-1100°C з тим, щоб отримати в структурі велику кількість залишкового аустеніту (50-60 %), що обумовлює зменшення розмірів калібру. Подальшими багаторазовими відпусками при температурах 500-520°C з витримкою 0,5-1,0 год і охолодженням на повітрі розміри доводять до потрібних. Так, у зразку діаметром 4 мм довжиною 60 мм зі сталі X12M, загартованому з 1050°C, відпущеному при 500°C при 40% залишкового аустеніту, зміни розмірів не спостерігається.

8.5. Устаткування термічних відділень і його розміщення

Основним устаткуванням термічних відділень при інструментальних цехах є камерні електричні печі типу СНО і СНЗ і полуменеві печі типу ТНО різних розмірів. На високі температури (1300°C і вище) електричні печі застосовуються з неметалічними нагрівачами (корундовими або з дисиліциду молібдену). Важкі штампи нагрівають у печах типу ТДО і СДО з висувним подом.

Нагрівання під гартування здійснюють в електродних соляних ваннах (СВС), а відпуск на низькі температури

проводять в електричних тигельних соляних (СВГ) і масляних (СВМ) ваннах. У разі відпуску до 600-700°C застосовують електричні шахтні печі (СШО). Газову цементацію проводять в електричних шахтних ретортах муфельних (СШЦМ) або безмуфельних (СШЦ) печах. Є універсальні камерні механізовані агрегати, які сполучені з піччю герметизованим тамбуром з гартівним баком (СНЗМА і ТНЗМА), - це дозволяє використовувати їх для газової цементації, нітроцементації та нагрівання в контрольованій атмосфері. Високий відпуск хвостовиків штампів проводять у ваннах або на плитах. Для напаявання різців застосовують установки СВЧ, а для складеного інструменту контактні зварювальні машини.

Кількість устаткування і його розміщення можуть бути найрізноманітнішими залежно від вигляду оброблюваного інструменту й продуктивності відділення. Печі для відпалу і гартування і ванни розміщують в один або два ряди уздовж стін цеху. Камерні печі обслуговують пересувним завантажувальним візком. Перед печами поміщаються гартівні баки і селітрові ванни для ступеневого гартування. Відпускні шахтні печі установлюють на продовженні ряду гартівних печей або в іншому ряду, паралельно печам.

На рис. 85 наведені приклади найбільш характерних вузлів групового розміщення устаткування для термічної обробки окремих видів інструменту – за принципом замкнутого циклу.

Печі для термічної обробки штампів (рис. 85 а) розміщують уздовж стіни цеху в один ряд. Великі штампи нагрівають у печах 1 з висувним подом і гартують за допомогою кран-балки в баках 2, розташованих між печами. Штампи середніх розмірів нагрівають у звичайних камерних печах 3; полегшення завантаження і розвантаження печей 3 досягається за допомогою завантажувального столу 8, що переміщається уздовж фронту печей. Гартування

штампів проводять у баках 7, що знаходяться навпроти гартівних печей. Дуже дрібні штампи нагрівають у соляній ванні 5. Ця сама ванна і плита 4 служать для відпуску хвостовиків штампів. Низький відпуск штампів проводиться в соляних або масляних ваннах 6. Універсальні камерні механізовані агрегати типу ТНЗМА розміщують в один ряд із камерними відпусковими печами. Їх обслуговують механізованим завантажувальним столом, що переміщається уздовж печей. Ділянка для гартування і відпуску швидкорізальної сталі показана на рис. 85 б. Гартування проводять з попереднім підігріванням у печі 1 або електродній ванні 3 і остаточним нагріванням до 1300°C відповідно в печі 2 з неметалічними нагрівачами або в електродній ванні 4. Для ступеневого гартування передбачена селітрова ванна 8. Остаточне охолодження здійснюють у здвоєних баках 7. За необхідності можуть бути використані підігрівальні печі 1 і соляна ванна 2 для гартування низьколегованих сталей. Інструмент із гартівних баків доставляється тельфером або кран-балкою до камерної мийної машини 5 і далі до шахтних відпускових печей 6. Відпускові печі можна розміщувати і навпроти гартівних баків.

У деяких відділеннях для термічної обробки швидкорізальних сталей застосовують чотиритигельну електродну ванну 1 (рис. 85 в). У першій ванні інструмент підігрівается до 600°C, у другій – до 900°C, третя ванна служить для остаточного нагрівання під гартування до 1300°C, а четверта – для ступеневого гартування. Решта устаткування аналогічна попередньому. Соляні ванни застосовувати для багатократних відпусків неекономічно, оскільки витримка при відпуску становить не менше 1 год по 2 або 3 рази, а час нагрівання під гартування при остаточному нагріванні декілька хвилин.

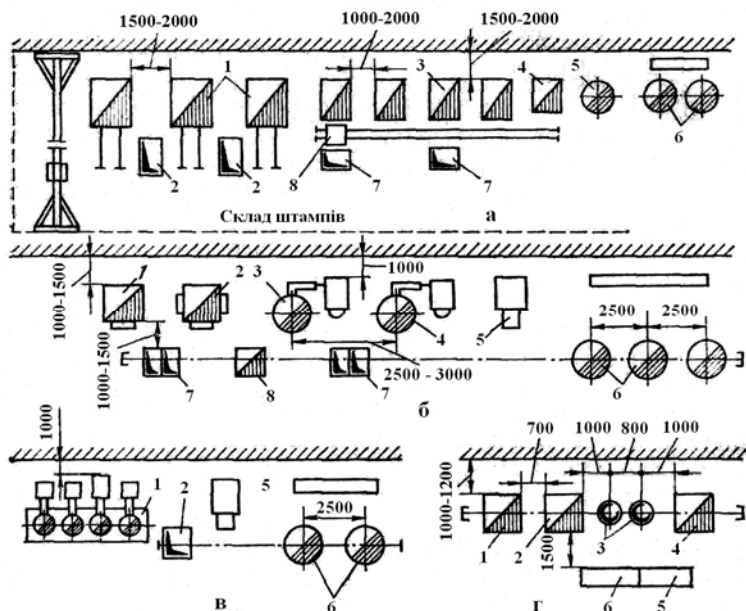


Рисунок 85 – Плани окремих ділянок для термічної обробки інструменту: а – штампів, б – швидкорізальної сталі (перший варіант); в – швидкорізальної сталі (другий варіант); г – протяжок

Типове розміщення устаткування для термічної обробки протяжок наведене на рис. 85 г. Протяжки зі швидкорізальної сталі підігрівають у шахтній печі 1, остаточне нагрівання здійснюється в шахтній печі 2, гартують їх у баках 3, а відпускають у шахтній печі 4. Після відпуску протяжки проходять правку на пристрої 5 і контроль на верстаку 6.

На ряді заводів для остаточного нагрівання замість шахтної печі використовують електродну ванну. Проте при великій глибині ванни електроди для досягнення рівномірного нагрівання необхідно розміщувати в декілька рядів по вертикалі.

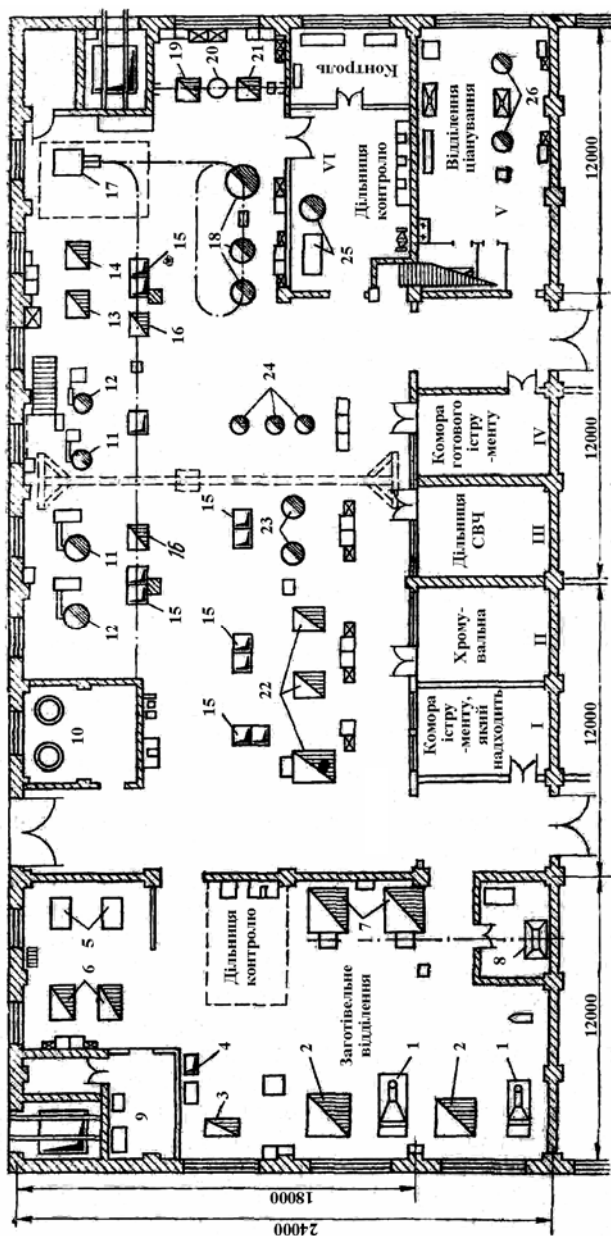


Рисунок 86 – Плани універсального термічного відділення для обробки інструменту:
 I – комора інструменту, який надходить; II – хромування; III – ділянка СВЧ; IV – комора
 готового інструменту; V – відділення цінування; VI – ділянка контролю

Приблизне планування універсального відділення для термічної обробки різального інструменту (різців, свердел, фрез), калібрів і протяжок, а також невеликого розміру штампів і пристосувань наведене на рис. 86. Відділення розміщується в прольоті 18 м, що примикає до інструментального цеху.

Заготівельні операції (кування, напаявання, наварювання) і попередня термічна обробка виділені в спеціальну ділянку, яка містить два кувальних молоти 1 з нагрівальними печами 2, щілинною піччю 3 для наварювання різців з їх подальшим гартуванням у баку 4, два контактні зварювальні апарати 5 з печами 6 для проведення ізотермічного відпалу заготовок відразу після зварювання і двох камерних печей 7 для відпалу поковок. Камерні печі 7 у разі потреби можуть бути використані для цементації у твердому карбюризаторі, у зв'язку з чим є окрема кімната зі спеціальною шафою 8 для зарядки цементаційних ящиків. Ящики до печей подають тельфери. На ділянці передбачена кабіна 9 для дугового наплавлення і наварювання різального інструменту й конфігурації штампів. Із заготівельного відділення інструмент після дробоочищення в апаратах 10 прямує для обробки в механічний цех.

Остаточна термічна обробка інструменту зі швидкорізальної сталі виділена в окрему ділянку. Для нагрівання під гартування передбачені дві електродні ванни 11 і камерна високотемпературна піч 13 із силітовими стержнями або нагрівачами з дисиліциду молібдену. Поряд з гартівними ваннами і печами відповідно розміщуються підігрівальні ванни 12 і камерна піч 14. Проти гартівних ванн і печей знаходяться здвоєні гартівні баки 15 і селітрові ванни 16 для здійснення ступеневого гартування. Над гартівними баками проходить електротельфер, який доставляє загартований інструмент до мийної машини 17 і далі до трьох відпускних шахтних печей 18.

Термічну обробку протяжок здійснюють у шахтних печах, нагрівання для гартування в печі – 19, охолодження – в баку 20 і відпуск – у шахтній печі 21. Печі й баки обслуговуються електроталлю.

Гартування і відпуск штамів здійснюються з нагріванням їх у трьох камерних печах 22. Для відпуску хвостовиків штамів передбачені соляні ванни 23, які також використовують для нагрівання під гартування інструменту з вуглецевої і низьколегованої сталі. Низький відпуск інструменту проводять у масляних ваннах 24. Для газової цементації, нітроцементації, азотування передбачені дві шахтні печі 26. Всі електричні печі та ванни мають трансформатори і щити керування.

Якість інструменту контролюють на окремій ділянці, розташованій поряд із відпускними печами. Точний інструмент контролюють у спеціальній кімнаті. На контрольній ділянці знаходиться установка 25 для обробки інструменту холодом. Після контролю інструмент через проміжну комору прямує для доведення і заточування на механічну ділянку інструментального цеху.

Для підвищення стійкості інструменту є ділянка ціанування з двома тигельними ваннами 26.

У термічному відділенні передбачається ділянка СВЧ для нагрівання під гартування і наварювання інструменту з ламповим генератором потужністю 100 кВт і невелика хромувальна.

При масовому виробництві інструменту вдаються до організації потокових ліній. У цьому разі для гартування різального інструменту застосовують ступеневе гартування.

9. МЕТОДИКА ПРОЕКТУВАННЯ ТЕРМІЧНИХ ЦЕХІВ ТА ДІЛЬНИЦЬ

9.1. Розрахунок потрібної кількості основного, додаткового і допоміжного обладнань

Розрахунку підлягає таке обладнання: нагрівальне обладнання (печі й установки швидкісного нагрівання); охолоджувальні пристрої (баки, преси для загартування, камери охолодження, установки для обробки холодом); додаткове обладнання (баки і машини для миття, камери для очищення і наклепу, ванни для травлення, преси для правки та ін.); допоміжне обладнання (установки для охолодження гартівного масла та інших рідин, установки для приготування газових контрольованих атмосфер та ін.). Решту обладнання, як правило, беруть без розрахунку (у комплекті).

Початковими даними для розрахунку необхідної кількості основного і додаткового обладнання служать річне завдання з операцій термічної обробки, обраний тип обладнання і встановлений режим його роботи, а для допоміжного обладнання також і питомі норми витрати окремих допоміжних матеріалів. Необхідна кількість одиниць обладнання даного типу (H) розраховується за загальною формулою

$$H = \sum_{i=1}^m \Phi_i : \Phi_e, \quad (9.1)$$

де Φ_i - необхідний фонд ефективного часу роботи обладнання даного виду для обробки, передбаченої програмою кількості продукції i -го виду, пече-годин (агрегато-годин); m - кількість видів продукції, оброблюваної на даному обладнанні; Φ_e - річний фонд ефективного часу роботи одиниці обладнання, год.

Величина Φ_i визначається з виразу

$$\Phi i = Qi : Pi, \quad (9.2)$$

де Qi - річне завдання з продукції i -го виду; Pi - розрахункова норма годинної продуктивності одиниці обладнання даного виду при обробці продукції i -го виду. При розрахунку обладнання садочного типу можна використовувати вираз

$$\Phi i = (Qi : Q_{ci}) T_{ci}, \quad (9.3)$$

де Q_{ci} і T_{ci} , - відповідно маса садіння і нормований час обробки одного садіння продукції i -го виду.

Розрахунок годинної продуктивності одиниці обладнання. Продуктивність одиниці обладнання за ефективну годину роботи рекомендується обчислювати за наведеними формулами.

Для обладнання періодичної дії

$$P = Q_c : T_c, \quad (9.4)$$

де Q_c - маса садіння; T_c - нормований час обробки одного садіння.

Маса садіння розраховується при проектуванні технологічного процесу, виходячи з технічних характеристик обраного обладнання, способу укладання виробів і маси одного виробу.

Нормований час обробки одного садіння визначається з виразу

$$T_c = T_o + T_d, \quad (9.5)$$

де T_o і T_d - відповідно норма основного (технологічного) і допоміжного часу, що не перекривається на одне садіння.

Допоміжний час складається з витрат часу на підготовку виробів і комплектування садок, транспортування виробів або пристроїв із виробами до печі, завантаження виробів у піч, вивантаження і передачу їх на охолодження і т.п. У нормованому часі обробки одного садіння враховують тільки витрати допоміжного часу, що не перекривається, тобто такі витрати, які не можуть бути перекриті основним часом. Норму допоміжного часу потрібно визнача-

ти за нормативами часу на термічну обробку, а за відсутності таких - за заводськими даними або шляхом проведення хронометражу безпосередньо на робочому місці.

Приклад. Розрахувати норму годинної продуктивності камерної печі при відпалі крекінгових труб.

Перед завантаженням у піч труби за допомогою електрокрана укладаються на бугелі в чотири ряди по 10 шт. у ряд. Маса однієї труби – 0,07 т. У піч завантажуються 8 бугелів. Згідно з розрахунком час нагрівання і витримки однієї садки – 840 хв. Нормативна тривалість допоміжних прийомів при обробці одного садіння за заводськими даними становить, хв: укладання труб на бугель за допомогою електромостового крана – 15; завантаження одного бугеля в піч напільною машиною – 1,5; вивантаження одного бугеля з печі напільною машиною – 1,6; розбирання одного бугеля за допомогою електромостового крана 13.

Укладання труб на бугель і розвантаження відпалених труб може виконуватися під час відпалу інших садок. Час виконання цих прийомів дорівнює $(15+13) \cdot 8 = 224$ хв, тобто значно менше, ніж час нагрівання і витримки. Отже, він може бути повністю перекрите основним часом. Тоді нормований час обробки одного садіння труб $840+(1,5+1,6) \cdot 8 = 864,8$ хв. Норма продуктивності печі на ефективну годину роботи буде дорівнювати

$$P = (60 : 864,8) \cdot 8 \cdot 40 \cdot 0,07 = 1,55 \text{ т.}$$

Для обладнання безперервної і пульсуючої дії (конвеєрних, штовхальних, роликів, карусельних печей, з крокуючим подом та ін.)

$$P = Q_n : T_o, \quad (9.6)$$

де Q_n - маса виробів, що одночасно знаходяться у робочому просторі печі; T_o - основний час обробки (час нагрівання і витримки).

Величина Q_n при обробці виробів на пристосуваннях обчислюється за формулою

$$Q_n = \frac{L}{l} qn, \quad (9.7)$$

де L - довжина робочого простору печі або використовуваної частини конвеєра; l - крок конвеєра (відстань між центрами двох пристроїв); n - кількість виробів на одному пристрої; q - маса одного виробу.

При поштучному завантаженні виробів на рухомий під або підвищенні їх на гачки підвісного конвеєра n береться таким, що дорівнює одиниці.

У разі обробки виробів без пристроїв величина Q_n визначається за формулою

$$Q_n = q_m L, \quad (9.8)$$

де q_m - маса виробів на 1 м робочого простору печі.

Приклад. Розрахунок норми годинної продуктивності роликової печі при обробці електрозварюваних труб.

Довжина поду печі – 19 м, ширина – 1,2 м. Діаметр оброблюваних труб – 57 мм, маса 1 м – 4 кг. Час нагрівання і витримки з розрахунку – 27 хв, або 0,45 год.

По ширині поду може бути укладена $1,2:0,057=21$ труба. Отже, маса труб на 1 м поду печі становитиме $21 \cdot 4 = 84$ кг, або 0,084 т. Тоді продуктивність печі на ефективну годину дорівнюватиме $(19 \cdot 0,084) : 0,45 = 3,55$ т.

Для генераторних установок при обробці струмами високої частоти

$$P = 60 \cdot q : t_{шт \cdot к}, \quad (9.9)$$

де 60 - кількість хвилин у годині; q - маса гартованої деталі, кг;

$t_{шт \cdot к}$ - норма штучно-калькуляційного часу на загартування у хвиликах.

Норма штучно-калькуляційного часу визначається з виразів:

$$t_{шт \cdot к} = t_{шт} + T_{п-з} : N; \quad (9.10)$$

$$t_{шт} = (t_o + t_b) \cdot (1 + K/100), \quad (9.11)$$

де $t_{шт}$ - норма штучного часу на загартування; $T_{п-з}$ - норма підготовчо-завершального часу на всю партію оброблюваних виробів; N - кількість виробів в оброблюваній партії; t_o - норма основного часу (часу індукційного нагрівання й охолодження одного виробу); t_b - норма допоміжного часу (часу установки і зняття виробів); K - коефіцієнт, що враховує необхідний час на технічне й організаційне обслуговування робочого місця, а також на відпочинок і особисті потреби робітника, у відсотках до оперативного часу (суми основного і допоміжного часу).

Норма основного часу при одночасному і послідовному нагріванні визначається за формулою

$$t_o = (t_{o-н} + t_{ox}) \cdot n, \quad (9.12)$$

де $t_{o-н}$ - час одночасного нагрівання; t_{ox} - час охолодження; n - число нагрівів при обробці одного виробу. При одночасному нагріванні $n = 1$. При послідовному нагріванні число нагрівів залежить від розмірів виробу і гартованої поверхні. Наприклад, при загартуванні шестирень великого модуля кількість нагрівів залежить від кількості гартованих зубів.

При охолодженні виробів шляхом занурення в охолоджувальне середовище у формулі (9.12) час охолодження береться таким, що дорівнює нулю. При послідовному нагріванні, коли охолодження після першого нагрівання відбувається одночасно з другим нагріванням, формула (9.12) має вигляд

$$t_o = (t_{o-н} \cdot n + t_{ox}), \quad (9.13)$$

де t_{ox} - час охолодження останньої ділянки виробу.

Норма основного часу при безперервно-послідовному нагріванні може визначатися за формулою

$$t_o = \frac{l_n}{v} + t_{ox}, \quad (9.14)$$

де l_n - довжина гартованої поверхні; V - швидкість пересування індуктора (виробу); $t_{ох}$ - час охолодження останньої ділянки, що не перекривається часом нагрівання.

Час індукційного нагрівання залежить від температури нагрівання, діаметра виробу, глибини гартованого шару, частоти струму, питомої потужності та інших факторів і визначається під час розроблення технологічного процесу.

Норми допоміжного часу, а також нормативні значення коефіцієнтів K визначаються за збірниками нормативів часу на термічну обробку струмами високої частоти, а за відсутності таких - за заводськими даними або шляхом проведення фотохронометражних спостережень безпосередньо на робочому місці терміста.

Приклад. Розрахунок норми продуктивності генераторної установки при безперервно-послідовному нагріванні виробів з циліндровою поверхнею.

Маса одного виробу - 0,6 кг. Довжина гартованої поверхні - 130 мм. Спосіб установки в центрах – вручну. Середній розмір оброблюваної партії виробів - 50 шт.

Згідно з розрахунком швидкість пересування деталі дорівнює 650 мм/хв. Тоді час нагрівання становитиме $130 : 650 = 0,2$ хв. Беремо час охолодження таким, що дорівнює часу нагрівання. Відповідно до формули (9.14) норма основного часу дорівнюватиме

$$t_o = \frac{130}{650} + 0,2 = 0,4 \text{ хв.}$$

За загальномашинобудівними нор-

мативами часу на термообробку струмами високої частоти знаходимо $T_{п-з} = 15,5$ хв; $t_b = 0,17$ хв; $K = 8\%$.

Відповідно до формул (9.16-9.17)
 $t_{шт} = (0,4 + 0,17) \times [1 + (8 : 100)] = 0,62$ хв.;
 $t_{шт-к} = 0,62 + 15,5 : 50 = 0,93$ хв. За формулою (9.9) визначаємо норму продуктивності генераторної установки на ефективну годину роботи $P = (60 \times 0,6) : 0,93 = 39$ кг.

Годинна продуктивність охолоджувального обладнання розраховується за тією самою методикою, що і продуктивність нагрівальних пристроїв. Для основних охолоджувальних пристроїв повинні виконуватися перевірочні розрахунки нагрівання охолодженої рідини при зануренні гартованих виробів за формулою

$$\Delta t = \frac{Q_m \cdot C_m \cdot (t_1 - t_2)}{V_{жс} \cdot \gamma \cdot C_{жс}}, \quad (9.15)$$

де Δt - підвищення температури рідини при зануренні в неї розрахункової кількості нагрітого металу (допускається до 20°C для води і до 60°C для масла); Q_m - розрахункова кількість охолоджуваного металу, кг; t_1 - температура нагрітого металу при зануренні в рідину; t_2 - температура металу при витяганні з охолодженої рідини (береться, як правило, 100 або 150°C); C_m - середня теплоємність металу в інтервалі температур t_1 , і t_2 , Дж/(кг·K); V_p - об'єм охолодженої рідини, м³; γ - густина охолодженої рідини, кг/м³; C_p - теплоємність охолодженої рідини, Дж/(кг·K).

При розрахунку величини Δt має бути враховане природне охолодження: для пристроїв, розміщених нижче за підлогу, воно береться таким, що дорівнює 1-2°C/год; для пристроїв, розміщених на підлозі, - 3-4°C/год.

Якщо величина Δt перевищує допустимі норми, вибраний агрегат повинен бути замінений потужнішим або необхідно передбачити спеціальне охолодження гартівної рідини.

Годинна продуктивність додаткового обладнання розраховується за формулами, аналогічними до формул (9.9-9.11). У цьому випадку: q - маса одночасно оброблюваних виробів (при поштучній обробці - маса одного виробу); t_0 і t_d - відповідно норми основного і допоміжного часу на всю кількість одночасно оброблюваних виробів. Значення ве-

личин, що входять у формули (9.9-9.11), визначаються за нормативами або на підставі заводських даних.

Приклад. Розрахувати годинну продуктивність правильного преса зусиллям 100 т.

Довжина стрижнкової деталі - 600 мм, маса - 5 кг, операція - правка після гарту і високого відпуску, допустима величина викривлення після правки - до 0,5 мм. Середнє число деталей в оброблюваній партії -100, кількість місць деталі, що перевіряються, - 4.

Згідно з нормативами основний час на правку однієї деталі становить 0,34 хв, допоміжний - 0,48 хв, підготовчий завершальний час на оброблювану партію – 6 хв, час обслуговування робочого місця - 3% оперативного часу, час на відпочинок і особисті потреби - 6% оперативного часу.

Відповідно до встановлених нормативів оперативний час на правку однієї деталі буде дорівнювати $t_o + t_b = 0,34 + 0,48 = 0,82$ хв, а коефіцієнт K , що враховує необхідні витрати часу на обслуговування робочого місця, відпочинок і особисті потреби, становитиме $3 + 6 = 9\%$ оперативного часу. За формулою (9.11) знаходимо штучний час $t_{шт} = 0,82 \cdot (1 + 9 : 100) = 0,894$ хв. За формулою (9.10) знаходимо норму штучно-калькуляційного часу $t_{шт-к} = 0,894 + 6:100 = 0,954$ хв. Тоді продуктивність преса на ефективну годину роботи буде дорівнювати $P = 60 \times (5 : 0,954) = 314$ кг, або 0,314 т.

Годинна продуктивність допоміжного обладнання може братися за каталогами або заводськими даними.

Розрахунок ефективного фонду часу роботи обладнання. Ефективний річний фонд часу роботи одиниці обладнання (Φ_e) визначається як різниця між номінальним фондом (Φ_n) і проєктованими витратами часу на ремонт, налагодження і переналагодження обладнання протягом року:

$$\Phi_e = \Phi_n \left(1 - \frac{K_p}{100}\right), \quad (9.16)$$

де K_p - нормативні витрати часу на ремонт, налагодження і переналагодження обладнання у відсотках до номінального фонду.

Номінальний фонд часу залежить від числа календарних і неробочих діб у році, змінності роботи і тривалості зміни:

$$\Phi_n = [(D_k - D_v) \cdot P_d - D_{пв} \cdot \Delta P_c] \cdot C, \quad (9.17)$$

де D_k - число календарних діб у році; D_v - число неробочих днів у році (вихідних і святкових); P_d - тривалість робочої зміни, год; $D_{пв}$ - число передвихідних і передсвяткових днів зі скороченою тривалістю робочої зміни; ΔP_c - час, на який скорочується звичайна тривалість робочої зміни в передвихідні й передсвяткові дні, год; C - число робочих змін, діб.

Під час роботи обладнання за безперервним графіком номінальний фонд часу дорівнює календарному.

Вибір режиму роботи проектного обладнання повинен бути всебічно обґрунтований. Він залежить від загального режиму роботи підприємства, типу виробництва у проектованому цеху, типу обладнання, тривалості технологічних операцій термічної обробки та інших факторів. З погляду поліпшення використання обладнання в часі й зниження потреби в ньому найбільш доцільний безперервний режим роботи (без зупинок на вихідні й святкові дні або із зупинкою тільки на святкові дні). На ділянках цеху з нагрівальним обладнанням, що не вимагає великих витрат часу на розігрівання, можна обрати переривчастий тризмінний або двозмінний режим роботи (залежно від режиму змінності основних цехів підприємства). Робота в одну зміну у всіх випадках з економічної точки зору не може бути виправдана.

Для орієнтовних розрахунків можуть бути використані дані, наведені в табл. 9.1.

Таблиця 9.1 - Ефективний річний фонд часу роботи термічного обладнання

Тривалість циклу обробки виробів і вид обладнання	Номінальний фонд, год	Простої, %	Ефективний фонд, год	Номінальний фонд, год	Простої, %	Ефективний фонд, год
	при 2 змінах			при 3 змінах		
При тривалому циклі обробки виробів	-	-	-	8568	10	7710
При короткому циклі обробки виробів на обладнанні: механізованому немеханізованому	4140	6	3890	6490	10	5840
	4140	4	3975	6210	6	5840
При обробці виробів в електричних печах елеваторного типу	4140	5	3935	6210	8	5715
При безперервному режимі роботи обладнання	-	-	-	8760	11	7800

Якщо розрахована за формулою (9.1) кількість одиниць обладнання виявиться дробовим числом, то його округляють до більшого цілого числа. Після цього визначають проектний коефіцієнт екстенсивного навантаження обладнання за формулою

$$K_{ек} = N_p : N, \quad (9.18)$$

де $K_{ек}$ - коефіцієнт екстенсивного навантаження обладнання; N_p - розрахункова кількість одиниць обладнання; N - взята після округлення кількість одиниць обладнання.

Значення коефіцієнта екстенсивного навантаження не повинні бути значно нижчі за одиницю, оскільки низький

її коефіцієнт свідчить про незадовільне використання обладнання в часі. Рекомендується керуватися такими мінімально допустимими значеннями $K_{ек}$: при переривчастому режимі роботи - 0,93; при безперервному режимі - 0,85. Якщо величина $K_{ек}$ не задовольняє наведені обмеження, то необхідно вибрати устаткування іншого або того самого типу, але з іншими технічними характеристиками. Проте необхідно пам'ятати, що підвищення коефіцієнта екстенсивного навантаження за рахунок підбору застарілого малопродуктивного обладнання неприпустимо, оскільки при цьому істотно погіршуються економічні показники виробництва.

Усі розрахунки визначення потрібної кількості обладнання рекомендується складати у вигляді таблиці (табл. 9.2).

Особливості розрахунку потрібної кількості обладнання в потоковому виробництві. Під час проектування поточних ліній потрібна кількість одиниць обладнання з кожної операції процесу розраховують, виходячи з єдиного ритму роботи поточної лінії, за формулою

$$H = t_{шт} : r \quad (9.19)$$

або

$$H = 1 : (r \cdot p). \quad (9.20)$$

Тут $t_{шт}$ - норма штучного часу в пече-годинах (агрегаторо-машино-годинах) на обробку одиниці виробу на i -й операції; r - ритм роботи поточної лінії; p - продуктивність одиниці обладнання на i -й операції на ефективну годину роботи.

Ритм роботи однопредметної потокової лінії розраховується за формулою

$$r = \Phi_{е.л} : Q, \quad (9.21)$$

де $\Phi_{е.л}$ - ефективний фонд часу поточної лінії, год;

Q - річний обсяг обробки продукції даного виду, одиниць.

При розрахунку ефективного фонду роботи лінії необхідно враховувати, що ремонт обладнання може здійснюватися з простоями і без простоїв усієї лінії. Ремонт обладнання окремих видів може виконуватися без зупинки лінії у тому разі, коли передбачається створення необхідних заділів за відповідними видами обладнання. Якщо на ремонт зупиняється вся лінія, то її простої (у зв'язку з ремонтом) визначаються за простоями того обладнання, тривалість ремонту якого максимальна.

Ритм роботи багатопредметної змінно-потокової лінії розраховується за кожним видом виробів. Потрібна кількість обладнання за кожною операцією на такій лінії береться за тим виробом, за яким розрахункова кількість обладнання максимальна.

Результати розрахунків потрібної кількості обладнання всіх видів зводяться до єдиної відомості за зразковою формою, наведеною в табл. 9.3. Колонки 2, 9 і 10 цієї таблиці заповнюються після розроблення відповідних розділів.

У печах конвеєрних, барабанних, з пульсуючим подом вироби хаотично розміщують на засобах пересування, в цих випадках не існує поняття пристосування.

Після розрахунків за відомостями T_3 визначають кількість печей $P_p = T_3/\Phi_d$, взятую кількість печей $P_{пр}$ та коефіцієнт навантаження $K_3 = P_p/P_{пр}$. Рекомендовані коефіцієнти завантаження для печей безперервної дії $K_3 = 0,90-0,94$.

Розрахунки кількості установок для позапічного нагрівання. У промисловості для нагрівання виробів використовують установки нагрівання прямим пропусканням струму, нагрівання СВЧ, кондуктивного нагрівання.

Таблиця 9.2 - Розрахунок необхідної кількості обладнання

Найменування обладнання	Потужність, кВт	Операція	Найменування виробів або групи виробів	Річне завдання, т	Продуктивність одиниці обладнання, т/год.	Потрібна кількість годин роботи (5 : 6)	Фонд ефективного часу роботи одиниці обладнання, год.	Потрібна кількість обладнання, од.		Коефіцієнт завантаження обладнання (9:10x100)
								розрахункова (7 : 8)	прийнята	
Конвеєрна піч СКО.06.30.01/9. Електропіч індукційна гартівна	160	Загартування	Шестірні.	1250	0,25	5000	-	0,856	-	-
	200	Загартування шийок валів	Вали.	2000	0,35	5714	-	0,979	-	-
			Всього.	3230	-	10714	5840	1,835	2	91,8
			Вали	3000	0,55	5455	5840	0,934	1	93,4

Таблиця 9.3 – Приблизна форма зведеної відомості обладнання

Номер порядковий	Номер позиції на плані	Найменування і призначення	Тип або номер креслення	Коротка характеристика	Кількість	Потужність, кВт		Вартість, грн.	
						одиниці	загальна	одиниці	загальна
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Попередньо визначається загальна тривалість обробки $\tau_{\text{заг}}$ виробу. Наприклад, при нагріванні виробів СВЧ використовують загальномашинобудівні нормативи на термообробку [14]. Необхідна кількість установок Y_p :

$$Y_p = T_3 / \Phi_d; \quad (9.22)$$

$$T_3 = \sum_{i=1}^n T_i;$$

$$T_i = \tau_{\text{шт}_i} \cdot N_{pi} / 60 ,$$

де $\tau_{\text{шт}_i}$ – нормативний час обробки одного виробу, хв;

N_{pi} – річна програма, шт.

Визначення кількості установок для приготування атмосфери. Після вибору основного обладнання і типу атмосфер за допомогою довідників, каталогів визначають витрати атмосфер у кожній печі, а потім загальні витрати конкретних атмосфер (ендогазу, екзогазу, аргону, азоту) у відділенні (цеху):

$$B_3 = \sum_{i=1}^n (n_i \cdot B_i) , \quad (9.23)$$

де B_3 – загальні витрати атмосфер, $\text{м}^3/\text{год}$;

n_i - кількість печей (обладнання) з однаковими витратами атмосфери, шт.; B_i – витрати атмосфери в печі (обладнанні), $\text{м}^3/\text{год}$.

Розрахункова кількість установок Y_p для приготування атмосфери

$$Y_p = B_3/Q, \quad (9.24)$$

де Q – продуктивність однієї установки, $\text{м}^3/\text{год}$. Визначається за допомогою [15].

Після визначення кількості печей, обладнання, засобів механізації, обладнання для контролю, допоміжного обладнання для обробки річної програми складається зведена відомість для усіх видів обладнання (табл. 9.4).

Таблиця 9.4 – Зведена відомість обладнання

Назва та індекс обладнання	Назва технологічної операції	Річний випуск виробів на даному обладнанні, кг (шт.)	Середня продуктивність Q_c , кг/год (шт/год)	Кількість обладнання, шт.		Коефіцієнт завантаження K_z
				P_p	$P_{пр}$	

9.2. Розроблення плану дільниці (відділення, цеху) та вантажопотоків

Під час проектування дільниці (відділення, цеху) розраховують площу для розміщення обладнання, допоміжних служб, проходів, проїздів.

Термічні цехи у своєму складі мають виробничі дільниці, допоміжні відділення (склади або дільниці деталей, що надходять на термообробку, склади готової продукції, допоміжних матеріалів, пристосувань, трансформаторні підстанції та ін.), а також службові й побутові приміщення. Склад площ змінюється залежно від розміру і структури цеху, характеру технологічних процесів та інших особливостей [16].

Розроблення плану цеху (відділення, дільниці) враховує вибір найраціональнішого його компоновання на генеральному плані заводу, визначення геометричних розмірів

будівлі й подальшу деталізацію з нанесенням будівельних елементів, обладнання, транспортних засобів і комунікацій.

Для розміщення термічних цехів зі шкідливими газовиділеннями і значними надлишками теплоти (більше 80 кДж/(м³·год.)), як правило, повинні використовуватись одноповерхові будівлі прямокутної форми, що забезпечують найефективніше видалення шкідливих виділень природним шляхом (аерацією).

За необхідності розміщення термічного цеху в багатоповерховій будівлі (допустиме тільки як виняток з правил техніки безпеки) термічний цех повинен бути розташований на верхньому поверсі достатньої висоти.

У деяких випадках великі термічні цехи зі складними комунікаціями або при високому рівні ґрунтових вод переважно розміщують у двоповерховій будівлі, що дозволяє істотно поліпшити умови праці. При цьому основні виробничі ділянки (пічний зал та ін.) розміщуються на верхньому – основному поверсі. На нижньому (технічному, допоміжному) або підвальному поверсі розміщують допоміжні служби, цехові склади, вентиляційні установки, трансформаторні підстанції, комунікації трубопроводів, енергетичне обладнання, а також провисаюче обладнання (баки тощо) і його фундаменти.

Під час компонування термічного цеху в загальному корпусі з іншими цехами-виробниками (наприклад, механічним, ковальським) термічний цех потрібно розміщувати найпротяжнішою стороною вздовж зовнішньої стіни корпусу для поліпшення аерації. При цьому згідно з будівельними нормами не менше 60% площі стін будівлі повинні бути вільними від забудови допоміжними й побутовими приміщеннями.

Усі елементи будівлі термічного цеху відносять до категорії Г за ознакою пожежонебезпечності й повинні виготовлятися з невогнетривких матеріалів, що відповідають І і ІІ ступеням вогнестійкості.

Будівля komponується з одного або кількох прольотів, геометричні розміри яких (ширина, довжина, висота) потрібно за можливості брати однаковими.

Ширина прольотів дорівнює 12, 18, 24, 30 і 36 м, встановлюється залежно від схеми розміщення обладнання (див. нижче) та необхідної ширини проїздів за вимогами техніки безпеки.

Доцільно застосовувати такі сітки колон: 12х18 і 12х24 м - для безкранових будівель; 12х24 і 12х30 м - для будівель, обладнаних кранами.

Прольоти шириною 6, 9 і 12 м і малий крок колон необхідно застосовувати тільки для термічних підрозділів, у яких обробляються дрібногабаритні вироби (деталі приладів і т. п.). Висота прольотів цеху до низу конструкції покриття береться залежно від умов роботи, а саме: кількості теплових та інших шкідливих виділень; висоти встановлюваного устаткування з урахуванням його ремонту; наявності довгомірних виробів, оброблюваних у підвішеному стані; необхідності установки кранів.

Необхідно зазначити, що застосування мостових кранів у термічних цехах допускається тільки для технологічних цілей - переміщення особливо важких вантажів, оброблюваних виробів. При цьому використовується великогабаритне устаткування: печі з подом викочування, шахтні та ін., що використовуються на підприємствах важкого, транспортного і суднобудівного машинобудування і в металургії.

Для монтажу і ремонту устаткування рекомендується використовувати підвісне устаткування (кран-балки, монорельси) або транспортні пристрої, що переміщаються по підлозі (кара, навантажувачі та ін.). Для транспортування виробів потрібно застосовувати різні види безперервно діючих пристроїв: конвеєри, рольганги і т.п.

9.2.1. Специфічні елементи будівель

Покриття. Для термічних цехів, що характеризуються значними надлишками теплоти і не вимагають утеплення

покриття, його потрібно проектувати з азбестоцементних хвилястих листів посиленого профілю.

Ліхтарі. Конструкція ліхтарів застосовується залежно від кількості тепловиділень, а саме: аераційні ліхтарі типу КТІС - для цехів з великими тепловиділеннями (більше 80 кДж/(м³·год)), світлоаераційні ліхтарі П-подібного профілю - для відділень і дільниць з невеликими тепловиділеннями.

Підвали і тунелі. Термічні цехи характеризуються великою кількістю інженерних комунікацій (трубопроводи масла, води, розчинів, пари, повітря, вентиляції, електроенергії, газів та ін.), установка і монтаж яких утрудняє нормальне проведення технологічного процесу і не задовольняє вимоги промислової естетики.

Питання раціонального розміщення комунікацій, допоміжного устаткування і складських приміщень може бути вирішене шляхом спорудження: тунелів (каналів) - для укладання невеликого числа трубопроводів; підвалу або технологічного поверху - для розміщення трубопроводів, устаткування з фундаментами та інших пристроїв; міжпрольотної вставки шириною 3-6 м з можливим розміщенням трубопроводів і устаткування в 2-3 яруси, а саме: на першому ярусі, в підземному прохідному тунелі або каналі, розміщуються трубопроводи; на другому ярусі, зробленому у вигляді естакади, на висоті 3-4 м розміщується допоміжне устаткування (наприклад, газопідготовчі установки, трансформатори, димососні й вентиляційні пристрої); під естакадою може бути підвішений конвеєр для транспортування деталей.

Підлоги термічних цехів повинні бути вогнетривкими, неслизькими і легко чиститися від забруднень. Підлоги в проїздах, проходах, на ділянках складування вантажів повинні мати тверде і міцне покриття. На ділянках травлення, рідинного ціанування, промивки і т.п. покриття підлоги повинне бути водонепроникним, тобто не вбирати зазна-

чені речовини і мати ухил не менше 0,005 для стоку і відведення води.

9.2.2. Визначення площі цеху. Площа цеху за призначенням ділиться на виробничу, допоміжну і конторсько-побутову.

До виробничої площі відносять площі, займані ділянками основного виробництва, на яких проводиться обробка виробів. Крім пічного залу, до неї входять: майданчики для зберігання виробів до і після термообробки; контрольні пункти, розміщені в загальному потоці з устаткуванням, а також проїзди для внутрішньоцехового транспортування вантажів і проходи для пересування працівників.

До складу допоміжних площ входять площі, займані: коморами зберігання деталей (надходження і видача), розміщеними в приміщеннях відособлено від вантажопотоку; коморами допоміжних матеріалів і технологічного оснащення (пристосувань та ін.); майстернями механіка й енергетики з ремонту устаткування, апаратури й оснащення; експрес-лабораторією з аналізу матеріалів і технологічних параметрів (газових середовищ та ін.); установками для приготування газових контрольованих атмосфер; установками для охолодження гартівних рідин (масла, розчини); енергетичним і сантехнічним устаткуванням (перетворювачі струму і частоти, повітродувки, вентилятори та ін.); станціями КВП і автоматики; трансформаторними підстанціями та ін.

До конторсько-побутової площі відносять: приміщення контор цеху; роздільні (для чоловіків і жінок) вбиральні, вмивальні, душові, туалетні кімнати і кімнати відпочинку та інші площі. Визначення геометричних розмірів цеху з урахуванням використання уніфікованих типових секцій і прольотів зводиться до такого. Підраховують необхідну площу проектного цеху за укрупненими показниками. Прикладами таких показників, використовуваних у подібних наближених розрахунках, можуть служити: питомий

річний випуск продукції, що припадає на 1 м² загальної площі цеху (табл. 9.5); виробнича площа цеху.

Таблиця 9.5 – Норми випуску продукції з 1 м² загальної площі цеху

Найменування і характеристика оброблюваних виробів	Кратність нагрівання	Випуск продукції ¹ , т/м ²
Заготовки (наприклад, поковки, відливки і напівфабрикати)	1-2	5-12
Чистові деталі машин	2-3	3-6,5
Те саме з переважанням цементації та інших видів ХТО	2-3,5	2-3,5
Те саме з переважанням швидкісного нагрівання (СВЧ та ін.)	1-2	10-15
Інструмент, прилади, паливна апаратура	2,5-5	0,8-1,2

¹ Більші значення стосуються до цехів з масовим виробництвом, що припадає на один нагрівальний пристрій (табл. 9.6); кількість металу та інших матеріалів, що припадають на одиницю загальної площі цехового складу, що допускається (табл. 9.7); площі допоміжних служб і ділянок (табл. 9.8)

Таблиця 9.6 - Норми виробничої площі на один нагрівальний пристрій

Тип нагрівального пристрою	Питома площа на одиницю устаткування, м ²
Печі садні періодичної дії (камерні, шахтні, печіванні і т. п.)	40* - 80
Печі механізовані в агрегатах безперервної і пульсуючої дії (конвеєрні, штовхальні та ін.)	80 - 150**
Установки швидкісного нагрівання (СВЧ, електролітні, газополуменеві і т. п.)	30 – 50

* Менші значення стосуються малогабаритного устаткування.
 ** Дані наведені тільки на одну операцію нагрівання

Допоміжна площа визначається також за укрупненими показниками (див. табл. 9.8), а для попередніх розрахунків береться у розмірі 25-35 % виробничої площі.

Виробничу площу рекомендується також розраховувати шляхом підсумовування площі для кожного виду вибраного устаткування:

$$S_{\text{кор}} = \sum_1^n S_i,$$

де $S_{\text{кор}}$ - корисна потрібна площа; S_i - площа для даного виду устаткування.

Загальна площа визначається підсумовуванням виробничої і допоміжної площ із подальшим зіставленням розрахункових даних, одержаних за обома джерелами.

Потрібні площі складських приміщень визначаються із співвідношення

$$\Pi = \frac{(\text{добова програма}) \cdot (\text{норма зберігання})}{(\text{допустиме навантаження}) \cdot (\text{коефіцієнт використання})}$$

де Π - потрібна площа, м^2 ; добова програма - частина від поділу річної програми в тоннах на кількість робочих днів у році; норма зберігання, допустиме навантаження (вантажонапруженість) і коефіцієнт використання площі беруться за даними табл. 9.7.

Після визначення і підсумовування площ підбирають кількість прольотів і їх розміри. За умов аерації кількість подовжніх прольотів, як правило, обмежується двома-трьома. Довжина цеху (прольотів) вираховується як частина від поділу розрахункової площі цеху на його ширину з округленням до більшої величини, кратної 12 м (крок колон).

План цеху викреслюється в масштабі 1:50, 1:100 або 1:200, зображається також його вигляд зверху в розрізі на рівні 1 м нижче за підкранові шляхи. Крани наносять на план схематично, пунктиром.

Таблиця 9.7 - Норми складських приміщень

Назва і призначення складу	Характеристика виробів	Спосіб зберігання	Висота зберігання, м	Норма запасу зберігання в календарних днях		Норма вантажонапруженості корисної площі, т/м ³			Коефіцієнт використання площі	
				Тип виробництва						
				Дрібно-носерійне	Серійне	Велико-серійне і масове	Дрібно-серійне і серійне	Велико-серійне і масове		
Склад і складські майданчики для деталей до і після термообробки	Великі деталі	Поштучно на підлозі	0,7-1,0	6-8	4-6	3-4	1,2-1,5	-	0,25-0,4	
	Середні й дрібні деталі	На підлозі в спецтарі	3,0-4,0	6	3-4	3-4	-	4,0	0.25-0,4	
		У комірчастих стелажах із застосуванням штабелерів	До 2	6	3-4	3-4	0,7-1,0	-	0,35-0,4	
Комора оснащення (інструмент і пристосування)	Піддони, кліщі, індуктори та ін.	У напільних і настінних стелажах	До 2	-	-	-	0,4-0,5	0,4-0,5	0,3-0,35	
Комора допоміжних матеріалів	Солі, мастила, та ін.	У стелажах і спеціальній тарі	До 2	6	6	6	0,5-0,6	0,5-0,6	0,3-0,35	

Таблиця 9.8 - Норма площі допоміжних служб

Назва допоміжних площ	Розрахункові дані
Служби механіки та енергетики	
Ремонтна майстерня механіка	20 м ² /верстат + 40% (для слюсарів)
Ремонтна майстерня енергетика	20-25 м ² /100 одиниць технологічного обладнання
Приміщення чергових сантехніків	15-20 м ² /100 одиниць технологічного обладнання
Комора запчастин устаткування	15% площі майстерень
Комора допоміжних матеріалів	Те саме
Сатураторна	12 м ² /сатуратор
Санвузли внутрішньоцехові	18 м ² /санвузол

Розріз цеху викреслюється на окремому аркуші в масштабі, як правило, 1:50. Устаткування, що потрапляє в розріз, зображується розрізаним, а інше – зовнішнім виглядом у вертикальній площині з розмірами. Показуються також розміри, що стосуються підйомно-транспортного устаткування. На кресленні необхідно більш повно показувати підземне і наземне господарство цеху, систему освітлення та аерації цеху, розміщення транспортних пристроїв і т.д. – у вертикальній площині.

У відділенні (цеху) необхідно передбачити не менше двох виходів.

Подовжні та поперечні осі колон, ширина прольотів та інші розміри на плані позначаються згідно з ГОСТом 23837.

Обладнання на плані розміщують із урахуванням забезпечення поточності виробництва. Правильність плану розміщення обладнання та організації роботи у відділенні (цеху) перевіряється за вантажопотоком виробів. Бажано

не допускати перетинання шляхів руху виробів, необхідно враховувати, звідки потрапляють вироби і куди вони направляються після термічної обробки. Вантажопотоки проєктуються таким чином, щоб вони не перетинали призначені для руху працівників проходи. У ПЗ вантажопотоки описуються за окремими видами термообробки виробів (термополіпшення, гартування з подальшим старінням, ХТО тощо). Пояснюється вид обробки виробів на кожному обладнанні з обов'язковим посиланням на позиції обладнання на плані відділення (цеху).

Для виконання підйомно-транспортних операцій, завантаження та розвантаження обладнання, ремонтів обладнання використовують мостові крани, кран-балки, консольні кран-балки, монорельсові доріжки, конвеєри, транспортні візки, електрокари, завантажувальні машини. Мостові крани використовують для транспортування виробів та садок великої маси, наприклад, сталі в рулонах, великогабаритних садок і т. п.

Складські місця - це майданчики на плані, їх позначають штриховими лініями з позначенням у центрі МС (місце для складання), їх у специфікацію у плані не вносять.

На плані відділення (цеху) необхідно передбачити приміщення для майстра, пірометриста, бюро технічного контролю (БТК), механіка, енергетика, а також туалети.

Обладнання та технологічні процеси, в ході яких використовують технологічні речовини, що забруднюють атмосферу, необхідно розмішувати в окремих ізольованих приміщеннях. Це, наприклад, дільниці для азотування, для гідроабразивного очищення, дробоструминного наклепу, обробки з використанням печей-ванн. Для забезпечення високої якості технологічних процесів розміщують в ізольованих приміщеннях обладнання для вакуумної термообробки, плазмодугового напилення і т. ін.

Площі для конторсько-побутових приміщень і їх розміщення. Конторські приміщення складаються з робочих кімнат та індивідуальних кабінетів керівних працівників цеху. Склад кімнат і кількість працюючих у них визначаються штатним розписом.

Площі побутових приміщень (окрім вбиралень) розраховуються відповідно до санітарних норм на повний обліковий склад працюючих у найбільшій зміні. Крім того, на виробничих площах цеху повинно бути передбачене розміщення умивальників, санвузлів і кімнат відпочинку.

При ділянках рідинного ціанування і свинцевих ванн повинні бути такі, що сполучаються з ними, й ізольовані від інших приміщень, спеціальні побутові служби - пропускники, що відповідають групі III виробничих процесів. До складу пропускника входять: гардероб із приміщенням для знешкодження робочого одягу і взуття, умивальник, душова, санвузол.

У будівельній практиці передбачаються три об'ємно-планувальні рішення розміщення конторсько-побутових приміщень.

1. У прибудові, що примикає до виробничої будівлі. Прибудова, як правило, має 2-3 поверхи по 3,3 м (від підлоги і до підлоги). Ширина прибудови 12 або 18 м з кроком опор 6 м. Довжина прибудови, як правило, береться менше ширини цеху.

2. У середині цеху на вільних площах і невикористовуваних кутових місцях, якщо цьому не перешкоджає характер умов у цеху, наприклад, температура, виробничі виділення, шум. Висота приміщень у даному випадку береться не менше 2,2 м від підлоги до низу виступаючих конструкцій.

3. У будівлі, окремо розміщеній і сполученій з виробничим корпусом за допомогою наземних або підземних переходів.

9.2.3 Загальне компонування і вантажопотік цеху

Загальне компонування плану цеху передбачає: встановлення місцезнаходження точок надходження і видачі готової продукції, а також розміщення в цеху пожежних проїздів і головних проходів; установа місцезнаходження виробничих ділянок у порядку послідовності розробленого технологічного процесу.

Компонувальна схема може передбачати два варіанти розміщення точок надходження і видачі продукції по довжині цеху: в одному місці, біля однієї з торцевих стін - для цеху з відносно невеликою довжиною, в різних кінцях цеху - для цеху значної довжини. У цьому разі ділянка видачі готової продукції розміщується біля торцевої стіни, що пояснюється необхідністю відособлення завершальної операції чищення (травлення, обробка дробом і т. п.) зі шкідливими пилевиділеннями.

При встановленні схеми взаємного розміщення виробничих і допоміжних ділянок потрібно урахувати таке: пічні ділянки повинні розміщуватися, як правило, уздовж зовнішніх стін; ділянки з токсичним, вибухонебезпечним і шумовим устаткуванням потрібно розміщувати у відособлених приміщеннях, ізольованих від пічного залу. До такого устаткування належать: ванни для рідинного ціанування, ванни для кислотного травлення, камери сухого піскоочищення, установки для приготування твердого карбюратора, повітродувки високого тиску та ін.; проїзди і проходи бажано розміщувати по периметру з обов'язковим розміщенням воріт і дверей біля зовнішніх стін.

Рекомендації з визначених розмірів проїздів і проходів подані в табл. 9.9.

Таблиця 9.9 - Нормативи ширини проїздів і проходів

Назва і призначення проїзду (проходу)	Напрямок руху	Ширина для виробництва, м	
		масового і великосерійного	одиночного і дрібносерійного
Транспортний проїзд для карів і навантажувачів шириною до 1,5 м і вантажопідйомністю до 5 т	Односторонній	2,0-2,5	2,5-3,5
	Двосторонній	5,0	5,0
Допоміжний проїзд для ручних візків, прохід працюючих	Односторонній	1,2-1,5	1,2- 1,5
	Двосторонній	1,6-2,0	1,6-2,0
Проїзд із залізничними коліями	Колія широка	6,0	6,0
	Колія вузька	2,5-3,0	2,5-3,0

Планування устаткування. В основу розстановки устаткування на плані й розрізах цеху повинні бути встановлені: намічена компоновальна схема технологічного вантажопотоку, що не допускає перетину шляхів руху оброблюваних виробів (виняток може бути допущений для цехів індивідуального і дрібносерійного виробництва із груповим розміщенням устаткування, але при цьому загальний вантажопотік повинен здійснюватися в одному напрямку); можливість обслуговування і ремонту обладнання; організація міжопераційного транспорту оброблюваних виробів та ін.

У процесі розроблення технологічного планування здійснюється: уточнення раніше прийнятої компоновальної схеми цеху і розміщення її виробничих відділень і допоміжних приміщень; нанесення на план устаткування складських місць, проїздів і проходів; ув'язка і нанесення засобів внутрішньоцехового міжопераційного транспорту.

Умовні позначення, прийняті на технологічних плануваннях, подані в додатку 3 [13]. Приблизні нормативи розстановки устаткування подані в табл. 9.10.

9.3. Розрахунок потрібної кількості паливно-енергетичних ресурсів і допоміжних матеріалів

При термічній обробці виробів споживається велика кількість палива, електроенергії та інших енергетичних ресурсів. Тому всебічне обґрунтування потреби в паливно-енергетичних ресурсах є важливим розділом дипломного проекту (роботи).

Розрахунок потреби в технологічному паливі. Загальна річна потреба в паливі на технологічні потреби може бути визначена за формулою

$$E_T = \sum_{n=1}^N R_{np} \cdot \Phi_n, \quad (9.25)$$

де E_T - загальна річна потреба в технологічному паливі, тис.м³, або т; R_{np} - середня витрата палива за 1 год роботи устаткування n-го типу, тис.м³, або т; Φ_n - потрібна кількість годин роботи устаткування n-го типу для виконання річної виробничої програми; N - кількість типів устаткування.

Якщо проектом передбачається використання палива кількох видів, то загальна потреба в паливі повинна бути виражена в умовних тоннах. Для цього кожен доданок формули (9.4) ділиться на відповідний еквівалент питомої теплоти згорання натурального палива.

Середньогодинна витрата палива для кожного типу устаткування береться за паспортними або заводськими даними, а потрібна кількість годин роботи устаткування - з табл. 9.2.

Таблиця 9.10 - Норми відстаней між устаткуванням і будівельними конструкціями

Найменування устаткування	Характеристика устаткування		Висота будівлі, м	Мінімальна відстань, м*		
	Показник	Величина		між устаткуванням і стінами або колонами	на просвіт	між печами і баками
Печі періодичної дії						
Печі камерні	Площа поду, м ²	0,1-1,0	7,2-8,4	1,5	1,2-1,6	1,0-1,5
Те саме, з візком	Те саме	1,1-1,8	8,4	2,5-3,0	2,5-3,0	1,5-2,0
Те саме, з висувним подом	-»-	2,0-5,0	10,8	2,5-3,0	12,0	3,0-3,5
	-»-	5,5-10,0	12,6	2,5-3,0	Між осями	
	-»-	10,0-90,0	14,4	3,0-4,0		3,0- -3,5
Те саме, з прибудованим баком для гарту	-»-	0,2-1,0	7,2-8,4	1,5	1,2-1,6	-
		1,4-2,2	8,4	2,5-3,0	1,6-2,0	-
Печі шахтні	Діаметр, м	0,4-1,5	84**	2,5-4,0	2,0-3,0	1,5-2,0
Ванни з розплавами	Об'єм тигля	0,2-0,6	7,2-8,4	1,0-1,5	1,2-1,5	1,0-1,2
Печі контейнерні двостендові	Площа поду, м ²	1,8-5,8	8,4	2,0-2,5	1,5	-
Печі й агрегати безперервної і пульсуючої дії						
Печі барабанні	Діаметр, м	0,2-0,6	7,2-8,4	2,5-3,0	3,5-4,0	-
конвеєрні	Ширина стрічки, м	0,4-1,2	7,2-8,4	2,5-3,0	3,5-4,0	-
штовхальні	Ширина піддону, м	0,4-1,6	8,4-10,8	1,8-2,2	3,0-4,0	-
Агрегати прямоструминні	-	-	8,4	1,8-2,2	4,0-6,0	-

Продовження табл. 9.10

Найменування устаткування	Характеристика устаткування		Висота будівлі, м	Мінімальна відстань, м*		
	Показник	Величина		між устаткуванням і стінами або колонами	на просвіт	між печами і баками
Те саме, з обертанням притосувань	Ряди піддонів	1,0-4,0	10,8-12,6	2,5-3,0	6,0-8,0	-
Те саме, в П-подібному виконанні	Те саме	1,0-2,0	10,8-12,6	2,5-3,0	7,5-12,0 Між осями агрегатів	
Допоміжне устаткування						
Генератори СВЧ, лампові	Потужність, кВт	30-160	0,3-0,8	1,7-2,0	0,7-0,5	
Те саме, машинні	Те саме	30-250	1,0	0,5-0,7	-	
Те саме	-»-	250-500	7,2	-	-	
Установки газопідготовчі	Продуктивність, м ³ /год	8-125	7,2-8,4		1,5-2,0	
*Більші значення стосуються великогабаритного устаткування.						
**Висота будівлі ув'язується з довжиною виробів і устаткуванням, на якому вироби обробляються у підвішеному стані						

Середньогодинна витрата палива для устаткування, за яким у проекті запропоновані оригінальні рішення, визначається на підставі теплових розрахунків, виконуваних у теплотехнічній частині проекту.

Розрахунок потреби в паливі рекомендується виконувати за формою, наведеною в табл. 9.11.

Таблиця 9.11 - Розрахунок потреби в технологічному паливі

Найменування обладнання	Потрібна кількість годин роботи	Вид палива	Одиниця вимірювання	Середньогодинна витрата палива	Загальні витрати в натуральних одиницях	Калорійний еквівалент	Загальні витрати в умовних тоннах (6:7)
1	2	3	4	5	6	7	8
Разом							

9.3.1. Розрахунок потреби в електроенергії

Загальна річна потреба як у технологічній, так і в силовій електроенергії визначається за формулою

$$E_e = \sum_{n=1}^n R_{ne} \cdot \Phi_n, \quad (9.26)$$

де E_e - загальна річна потреба в технологічній (силовій) електроенергії, кВт-год.; R_{ne} - середня витрата технологічної (силової) електроенергії на 1 год роботи устаткування n-го типу.

Середньогодинні витрати технологічної електроенергії для устаткування кожного типу можна визначити за формулою

$$R_{ne} = N_b \cdot K_N \cdot K_w, \quad (9.27)$$

де N_b - встановлена потужність електропечі, кВт; K_N - коефіцієнт використання печі за потужністю; K_w - коефіцієнт, що враховує втрати електроенергії в мережі підприємства.

Установлена потужність електропечі береться за її паспорт, каталогом або прейскурантом оптових цін на електропечі. Коефіцієнт K_N береться таким, що дорівнює 0,6-0,7; коефіцієнт $K_w = 1,05$.

Середньогодинна витрата силової електроенергії визначається за формулою

$$Rne = \frac{N_B \cdot K_N \cdot K_r \cdot K_{od} \cdot K_w}{\eta_m}, \quad (9.28)$$

де N_B - сумарна встановлена потужність електродвигунів одиниці устаткування кожного типу, кВт; K_r - середній коефіцієнт завантаження електродвигунів за часом; K_{od} - середній коефіцієнт одночасності роботи електродвигунів; η_m - середній к. к. д. електродвигунів.

Сумарна встановлена потужність електродвигунів визначається за каталогами на устаткування або за прейскурантами. Середні значення коефіцієнтів K_N , K_r , K_{od} і η_m (за даними машинобудівних підприємств) наведені в табл. 9.12. Розрахунок потреби в технологічній і силовій електроенергії рекомендується виконувати за формою, наведеною в табл. 9.13.

Річна потреба в електроенергії на освітлення приміщень проектного цеху визначається за формулою

$$E_{e.o} = \sum_{z=1}^z R_z \cdot K_{od} \cdot P_z \cdot T_p, \quad (9.29)$$

де $E_{e.o}$ - річна потреба в електроенергії на освітлення всіх приміщень цеху, кВт-год; z - кількість приміщень цеху; R_z - середня витрата електроенергії на освітлення 1 м² площі приміщення z -го вигляду протягом 1 год; K_{od} - коефіцієнт одночасності горіння ламп; P_z - площа приміщення z -го вигляду; T_p - тривалість горіння електроламп у році, год. У розрахунках можуть бути використані нормативи, наведені в табл. 9.14.

Таблиця 9.12 – Середні значення коефіцієнтів K_N , K_T , $K_{од}$, η_m

Найменування устаткування	K_N	K_T	$K_{од}$	η_m
Термічне				
Штовхачі й конвеєри печей, конвеєри гартівних баків і мийних машин	0,6	0,7	1,0	0,8
Правильні преси у виробництві: одиночному і дрібносерійному серійному великосерійному і масовому	0,3	0,6	1,0	0,63
	0,4	0,7	1,0	0,65
	0,5	0,85	1,0	0,65
Підйомно-транспортне				
Крани, талі електричні у виробництві: одиночному і дрібносерійному серійному великосерійному і масовому	0,4	0,4	0,4	0,45
	0,5	0,5	0,4	0,45
	0,6	0,6	0,4	0,45
Конвеєри у виробництві: одиночному і дрібносерійному серійному великосерійному і масовому	0,7	0,6	1,0	0,8
	0,8	0,8	1,0	0,8
	0,9	1,0	1,0	0,8
Електровізки у виробництві: одиночному і дрібносерійному серійному великосерійному і масовому	0,6	0,5	1,0	0,8
	0,7	0,6	1,0	0,8
	0,8	0,7	1,0	0,8

Таблиця 9.13 – Розрахунок потреби в технологічній і силовій електроенергії

Найменування устаткування	Потрібна кількість годин роботи	Встановлена потужність		Витрата електроенергії за 1 год роботи, кВт-год		Загальна витрата електроенергії, кВт-год		
		електро-нагрівачів	електро-двигунів	технологічної	силової	технологічної (2:5)	силової (2:6)	разом (7+8)
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Разом								

Таблиця 9.14 – Нормативи для розрахунку потреби в електроенергії на освітлення

Найменування приміщень	R_z	$K_{од}$	T_p - при кількості робочих змін за добу		
			1	2	3
Виробничі	0,015	0,8	800	2500	4300
Канторські й лабораторні	0,02	0,8	800	2500	4300
Побутові	0,01	0,7	800	2500	4300
Підвали	0,01	0,9	800	2500	4300

9.3.2. Розрахунок потреби в енергоносіях інших видів

Річна потреба в стисненому повітрі, парі, воді та інших енергоносіях визначається за узагальненими нормами витрат, які встановлюються, як правило, на одиницю маси оброблюваних виробів або на 1 год роботи устаткування.

Норми витрати енергоносіїв беруться за даними підприємств, а за відсутності таких - за такими орієнтовними даними.

Витрата стисненого повітря: гідроабразивне очищення окалини – $1,1 \text{ м}^3$ на 1 кг виробів; дробоструминне очищення окалини – $0,7 \text{ м}^3$ на 1 кг виробів; перемішування розчинів у баках – $15\text{-}30 \text{ м}^3$ на 1 м^3 розчину; притиск штампів у гартівних пресах – $0,2\text{-}0,7 \text{ м}^3$ на виріб.

Витрата пари на підігрівання розчину в мийних машинах і промивних баках - $0,15 \text{ т}$ на 1 т виробів.

Витрата води в гартівних і промивних баках, мийних машинах, маслоохолоджувачах на 1 т виробів, м^3 : для гарту – 6-8; для охолодження після відпуску – $0,2\text{-}0,4$; для промивки в баках і машинах – $0,2\text{-}0,3$; для охолодження змійовиків і масляних баків – 10-12.

Витрата води (у м^3) на 1 год роботи установки ТВЧ для охолодження ламп та індукторів і гарту при потужності установки: $15\text{-}30 \text{ кВт}$ – 2-4; $60\text{-}100 \text{ кВт}$ – 4-6; понад 100 кВт – 6-8.

Витрата води на господарсько-побутові потреби 0,1 м³
- на одну людину за зміну.

Результати розрахунків потреби в паливно-енергетичних ресурсах зводяться в єдину відомість, зразкова форма якої наведена в табл. 9.15.

9.3.3. Розрахунок потреби в допоміжних технологічних матеріалах

Річна потреба в допоміжних технологічних матеріалах (різні солі, луги, кислоти, ендо- і екзогаз, карбюризатор, аміак, дріб та ін.) визначається за узагальненими нормами витрат, які встановлюються на одиницю маси оброблюваних виробів. Орієнтовні норми витрати допоміжних матеріалів наведені в додатку 4. Результати розрахунків зводяться в єдину відомість за формою, аналогічною до наведеної в табл. 9.15.

Таблиця 9.15 - Зведена відомість річної потреби в паливно-енергетичних ресурсах

Найменування ресурсів	Одиниця вимірювання	Середня норма витрати на 1 т виробів	Річна потреба	Оптова ціна одиниці ресурсу, грн	Сума, грн
1 Паливо технічне. Газ природний	тис. м ³			600,0	
Разом	т				
2 Електроенергія технологічна силова освітлювальна	кВт-год кВт-год кВт-год			0,17 0,17 0,30	
Разом	кВт-год				
3 Стиснене повітря	тис. м ³				
4 Пара на виробничі потреби на господарські потреби	т т			4,66 4,66	
5 Вода на виробничі потреби на господарські	м ³ м ³			1,0 1,0	

потреби					
---------	--	--	--	--	--

9.4. Механіко-технологічне обладнання відділення (цеху)

9.4.1. Обладнання відділення (цеху)

Висвітлюються конструкція та робота основного (за винятком наведеного в пічній частині), додаткового та допоміжного обладнання відділення (цеху). У вигляді таблиць наводяться основні дані технічної характеристики, а саме: продуктивність; розміри робочого простору; габаритні розміри; маса садки; установлювальна потужність нагрівачів та електродвигунів; тип робочого середовища; витрати контрольованої атмосфери, води (гарячої, холодної), стисненого повітря, водяної пари; маса обладнання; склад та витрати технологічних речовин.

Наведені дані дозволяють не тільки скласти уявлення про обладнання підрозділу і технічний рівень оснащення та проекту, а й сформувані вихідні дані для виконання економічної частини та розділу «Охорона праці та навколишнього середовища».

9.4.2. Засоби механізації

Наводиться детальний опис загального рівня механізації спроектованого відділення (цеху). Описуються: загальні засоби механізації (мостові крани, кран-балки, тельфери, передаточні візки); засоби механізації, які обслуговують однотипне обладнання, наприклад, печі із зовнішньою механізацією, лінії з печами СНЗА, з печами-ваннами; засоби механізації в окремих агрегатах; засоби механізації для завантаження та розвантаження печей і наводиться їх характеристика.

Обов'язково наводиться перелік тих операцій з виробами, під час виконання яких використовується ручна праця. Мотивуються неможливість, складність або економічна недоцільність механізації цих операцій.

9.5. Автоматизація технологічних процесів термічної обробки

Метою розділу є розроблення функціональної схеми автоматизації технологічного процесу термічної обробки.

Розділ містить пояснювальну записку та графічну частину. Функціональна схема визначає характер побудови і взаємодії елементів у системі автоматичного регулювання.

Структурний склад системи на схемі подають у вигляді функціонально-блочних вузлів автоматичного контролю, керування і регулювання, що дає повне уявлення про забезпечення об'єкта приладами та іншими технічними засобами автоматизації.

У пояснювальній записці необхідно проаналізувати:

- вимоги до технологічного процесу;
- технічні характеристики основного обладнання, що використовується в технологічному процесі;
- режими технологічного процесу, що контролюються і реєструються, та параметри автоматичного регулювання й керування.

Зробити вибір:

- методів вимірювання технологічних параметрів;
- основних технічних засобів автоматизації, що найбільш повно відповідають вимогам технологічного процесу та умовам роботи обладнання;
- приводів виконавчих механізмів, регульовальних і запірних органів технологічного обладнання, які керуються автоматично чи дистанційно;
- автоматичного регулятора (закону регулювання) параметра та розрахувати його.

Визначити розміщення засобів автоматизації (на щитах, пультах, технологічному обладнанні).

У функціональній схемі автоматизації передбачити перехід на ручне керування технологічним процесом.

Параметри контролю, керування і регулювання технологічним процесом термічної обробки, а також основні технічні засоби контролю та автоматизації рекомендується оформити у вигляді таблиць 9.16 і 9.17.

Таблиця 9.16 – Параметри контролю і регулювання технологічного процесу

Параметр і його призначення на схемі	Місце вимірювання	Межі вимірювання	Допустима похибка виміру або відхилення від заданого значення
Автоматичне регулювання			
1			
2			
Контроль			
1			
2			

Функціональну схему виконують у вигляді креслення, на якому схематично умовним зображенням показують технологічне обладнання, органи керування, засоби автоматизації з позначенням зв'язків між ними.

Таблиця 9.17 – Технічні засоби автоматичного контролю і регулювання технологічних параметрів

Технологічний параметр	Тип приладу градуювання	Межі вимірювання приладу	Клас точності	Розміщення

Технологічне обладнання і комунікації виконують спрощено, без позначення допоміжних пристроїв відповід-

но до ГОСТів 2.784, 2.785, 2.786. Виконана таким чином схема повинна давати повне уявлення про принцип роботи обладнання і його взаємодію із засобами автоматизації і втілень у ГЧ. Умовне графічне зображення приладів і засобів автоматизації виконують згідно з ОСТ 36.27 та РТМ 25-18 [18].

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Термическая обработка в машиностроении: справочник /под ред. Ю.М. Лахтина и А.Г. Рахштадта. – М.: Машиностроение, 1980. – 784 с.
2. Фригер И.В. Термическая обработка сплавов: справочник.– Л.: Машиностроение, 1982. – 304 с.
3. Химико-термическая обработка металлов и сплавов: справочник /под ред. Л.С. Ляховича. – М.: Металлургия, 1981. – 420 с.
4. Тылкин М.А. Справочник термиста ремонтной службы. –М.: Металлургия, 1981. -648 с.
5. Долженков И.Е. Основы проектирования термических цехов /И.Е. Долженков, К.Ф.Стародубов, А.А. Спасов. –К.: Высшая школа, 1986. -215 с.
6. Металловедение и термическая обработка стали: справочник: в 3 т /под ред. М.Л. Бернштейна и А.Г. Рахштадта. – М.: Металлургия, 1983.
7. Дипломное проектирование термических цехов/ К.Ф.Стародубов, И.Е.Долженков, Ю.Л.Ревисс и др. –К.: Высшая школа, 1974. -160 с.
8. Соколов К.Н. Технология термической обработки и проектирование термических цехов /К.Н.Соколов, И.К. Коротич. – М.: Металлургия, 1988. – 384 с.
9. Эстрин Б.М. Производство и применение контролируемых атмосфер. – М.: Металлургия, 1973. – 392 с.
10. Соколов К.Н. Оборудование термических цехов. – К.; Донецк: Вища школа, 1984. – 328 с.
11. Технологические измерения и контрольно-измерительные приборы /А.М. Беленький, В.Ф. Бердышев, О.М. Блинов, В.А. Морозов. – М.: Металлургия, 1981. – 264 с.
12. Калинин В.П. Экономическое обоснование выбора материалов и оптимальных процессов термической обработки. –М.: Машиностроение, 1975. – 47 с.
13. Шохорі А.В. Термічна обробка металів /А.В. Шохорі, М.Г. Чумак: навчальний посібник. –К.: Либідь, 2002. - 511 с.

14. Металлургическая теплотехника: учебник для вузов /В.А. Кривандин, Б.С. Матрюков, В.А. Арутюнов и др. –М.: Металлургия, 1986. -426 с.

15. Автоматизированные системы управления технологическими процессами: справочник /под ред. А.З. Грищенко, В.П. Грищук и др. –Киев: Техника, 1983. -351 с.

16. Будник А.Ф. Кваліфікаційні роботи в матеріалознавстві: навчальний посібник. /А.Ф. Будник, В.І. Сігова. – Суми: Вид-во СумДУ, 2008. 198 с.

17. Будник А.Ф. Типове обладнання термічних цехів та дільниць: навчальний посібник /А.Ф. Будник. – Суми: Вид-во СумДУ, 2008. 212 с.

Навчальне видання

Сігова Валентина Іванівна
Юскаєв Володимир Борисович
Будник Анатолій Федорович

ТЕХНОЛОГІЯ І ПРОЕКТНЕ РІШЕННЯ ТЕРМІЧНИХ ЦЕХІВ І ДІЛЬНИЦЬ

Навчальний посібник

Художнє оформлення обкладинки А.С. Кравченко
Редактор Н.А. Гавриленко
Комп'ютерне верстання А.С.Кравченка, В.Д.Вінницької

Формат 60х84/16. Ум. друк. арк. 18,37. Обл.-вид. арк. 13,43.
Тираж 300 пр. Зам. № .

Видавець і виготовлювач
Сумський державний університет,
вул. Римського-Корсакова, 2, м. Суми, 40007
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 3062 від 17.12.2007.