

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Видавничо-поліграфічний інститут
Кафедра технології поліграфічного виробництва

КОНСТРУКЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ ДЛЯ ПОЛІГРАФІЧНОЇ ТЕХНІКИ

Курс лекцій

*Рекомендовано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
як навчальний посібник для здобувачів ступеня доктора філософії за
освітньо-науковою програмою «Видавництво та поліграфія»
спеціальності 186 Видавництво та поліграфія*

Київ
КПІ ім. Ігоря Сікорського
2021

Конструкційні матеріали для поліграфічної техніки: курс лекцій [Електронний ресурс] // навч. посіб. для докторів філософії спеціальності 186 «Видавництво та поліграфія» // Укладач: Т. А. Роїк. – Електронні текстові дані (1 файл: 2,54 Мбайт). – К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 107 с.

*Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
(протокол № 1 від 16.09.2021 р.)
за поданням Вченої ради ВПІ
(протокол № 1 від 30.08.2021 р.)*

Електронне мережеве навчальне видання

КОНСТРУКЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ ДЛЯ ПОЛІГРАФІЧНОЇ ТЕХНІКИ: Курс лекцій

Укладач: *Тетяна Анатоліївна Роїк*, д-р. техн. наук, проф..

Відповідальний редактор *Штефан Є. В.*, д-р техн. наук, проф., (професор кафедри репрографії)
КПІ ім. Ігоря Сікорського

Рецензент *Палюх О. О.*, д-р техн. наук, доц., (доцент кафедри репрографії)
КПІ ім. Ігоря Сікорського

Навчальний посібник відповідає навчальній програмі дисципліни «Конструкційні матеріали для поліграфічної техніки» спеціальності 186 Видавництво та поліграфія освітньо-наукової програми «Видавництво та поліграфія» підготовки докторів філософії Видавничо-поліграфічного інституту. Узагальнено теоретичний матеріал, показано його застосування до розв'язування поставлених задач у відповідності до робіт лабораторного практикуму.

Для докторів філософії ВПІ КПІ ім. Ігоря Сікорського спеціальності 186 Видавництво та поліграфія.

© Т. А. Роїк, 2021

© КПІ ім. Ігоря Сікорського (ВПІ), 2021

Зміст

Передмова	4
Розділ 1. Класифікація конструкційних матеріалів. Сучасні технології виробництва чорних і кольорових металів.....	5
1.1. Виробництво сталі	6
1.1.1. Сучасні технології одержання сталі за кордоном та сталеплавильного виробництва в Україні	10
1.2. Виробництво алюмінію і його сплавів.....	20
1.3. Виробництво цинку і його сплавів	24
Розділ 2. Залізобуглецеві і кольорові сплави, їх класифікація та маркування. Застосування у поліграфічному обладнанні.....	28
2.1. Сталі. Склад, структура і властивості. Застосування в конструкціях друкарських машин.....	28
2.2. Алюміній і його сплави. Склад, структура і властивості. Застосування у елементах поліграфічних машин.....	31
2.3. Цинк і мікроцинк. Склад, структура і властивості. Застосування у елементах друкарської техніки.....	39
Розділ 3. Композиційні (порошкові) матеріали для вузлів поліграфічних машин як альтернатива литим сплавам.....	43
3.1. Композити для високооберткових вузлів поліграфічного обладнання.....	43
3.2. Композити для важконавантажених вузлів поліграфічного обладнання.....	50
Розділ 4. Шляхи технологічного керування структурою і властивостями конструкційних матеріалів для друкарських машин.....	74
4.1. Теорія і практика термічної обробки сплавів.	74
4.2. Деформаційне зміцнення матеріалів.....	81
Розділ 5. Поверхнєве зміцнення конструкційних матеріалів.....	89
5.1. Теорія і практика хіміко-термічної обробки.....	89
5.1.1. Цементация.....	89
5.1.2. Азотування. Нітроцементация.....	91
5.1.3. Хромування (гальванічне, дифузійне).....	94
5.1.4. Силіцинування. Алітування.....	96
5.2. Поверхнева термічна обробка.....	97
5.2.1. Загартування СВЧ.....	98
5.2.2. Лазерне загартування.....	99
Література	105

ПЕРЕДМОВА

Курс лекцій (навчальний посібник) охоплює широкий клас сучасних конструкційних металевих матеріалів, що широко застосовується для найрізноманітніших деталей і елементів конструкцій поліграфічного устаткування. Якість поліграфічного виконання книг, газет, журналів та інших видань багато в чому залежить від надійності і стабільної роботи друкарського обладнання, що безпосередньо пов'язано з властивостями матеріалів для застосовуваних деталей у відповідних вузлах і конструкціях поліграфічної техніки. Посібник містить різнопланову інформацію про сучасні наукові знання та інноваційні технології одержання та технологічних процесів зміцнення металевих матеріалів і деталей з них, теоретичні відомості щодо опанування наявних технологій виготовлення та оброблення конструкційних матеріалів для поліграфічної техніки.

Навчальний посібник спрямований на підготовку докторів філософії, здатних розв'язувати задачі дослідницького та/або інноваційного характеру у сфері видавництва та поліграфії, що характеризуються комплексністю і невизначеністю умов, набуття компетентностей у сфері досліджень та інновацій; проєктування, удосконалення та створення нових видів виробів та технологій видавництва та поліграфії.

Навчальний посібник поглибить знання про новітні технології у поліграфічній галузі, зокрема оснащення парку поліграфічного обладнання, дозволить розвинути такі компетентності як здатність створювати нові та удосконалювати існуючі технологічні процеси у сфері видавництва та поліграфії, розвине індивідуальне творче мислення, стане базисом для розроблення власного плану наукового пошуку та дослідження. Навчальний посібник (курс лекцій) призначено для здобувачів, аспірантів усіх форм навчання технічних спеціальностей. Посібник відповідає сучасним ринковим потребам підготовки висококваліфіцированих фахівців.

Розділ 1. Класифікація конструкційних матеріалів. Сучасні технології виробництва чорних і кольорових металів.

Конструкційні матеріали — це матеріали, з яких виготовляють деталі найрізноманітніших конструкцій — машин, споруд тощо. Людство здавна використовує їх, наприклад, деревину, камінь, скло, бронзу, залізо тощо (рис. 1.1.).



Рисунок 1.1. Класифікація конструкційних матеріалів

Конструкційні матеріали можна класифікувати за різними ознаками.

Головна ознака їх класифікації — за природою матеріалів, із яких їх виготовляють: металеві, неметалеві й композиційні, порошкові, що поєднують у собі позитивні якості металевих та неметалевих матеріалів.

Нині найпоширенішими є металеві конструкційні матеріали, але постійно зростає питома вага неметалевих і особливо композиційних конструкційних матеріалів.

До основних критеріїв оцінки якості конструкційних матеріалів належать параметри опору до зовнішніх навантажень: міцність, ударна в'язкість, витривалість, довговічність тощо.

1.1. Виробництво сталі

Серед конструкційних матеріалів, зокрема, тих, що широко застосовуються для поліграфічної техніки, важливішу роль відіграють чорні метали, серед них – *сталі*.

Сталь є основним конструкційним матеріалом для машинобудування, промислового будівництва, транспортних засобів і т. ін.

Швидкий розвиток промисловості і сільського господарства був би неможливий без задоволення потреб у сучасній машинній техніці і металевих виробах.

Внаслідок своєї розповсюдженості в природі та відносно малої вартості способів отримання заліза і його сплавів вони займають головне місце в народному господарстві.

Залізо в чистому вигляді в промисловості отримують і споживають у незначній кількості. Основну масу заліза отримують і споживають у вигляді *сплавів – сталі і чавуну*, що називаються *чорними металами*.

Частка сталі в загальному споживанні чорних металів складає близько 90 %, тобто *сталь є основним видом металу, що використовується для створення сучасної техніки*. Це пояснюється тим, що, по-перше, сталь є чудовим конструкційним матеріалом (має високу міцність і стійкість до зносу, добре зберігає форму в різних виробах, відносно легко піддається обробці тиском, зварюванню і т. ін.); по-друге, основний компонент сталі – залізо – є розповсюдженим елементом у земній корі (займає друге місце після алюмінію), знаходиться у вигляді великих шарів залізовмісних мінералів, що називаються рудами. Залізо може бути відносно легко отримано з руд, в яких воно звичайно знаходиться у вигляді оксидів.

Сталь – це сплав заліза з вуглецем та іншими хімічними елементами з вмістом вуглецю до 2,14 %. У цьому сплаві залізо є основою (розчинником), а інші елементи – домішками, розчиненими в залізі.

Домішки можуть впливати на властивості сталі як позитивно, так і негативно, тому їх поділяють *на корисні і шкідливі*. Корисні домішки в основному впливають на властивості кристалів (зерен), а шкідливі домішки погіршують міжкристалічні зв'язки.

В сталях більшості марок корисною домішкою є *вуглець*. Такі сталі називають *вуглецевими*. Вміст вуглецю у вуглецевих сталях найчастіше становить 0,05-0,5 %, але іноді може досягати 1,2 % (теоретично до 2,14 %).

У вуглецевих сталях *корисними* домішками можуть бути марганець (0,3-0,6 %) і кремній (0,15-0,3 %).

Вміст *шкідливих домішок*, якими звичайно є сірка, фосфор, кисень і азот, обмежується сотими і тисячними долями відсотка.

Змінюючи вміст вуглецю в залізовуглецевому сплаві і піддаючи його різним видам термічної обробки, можна отримати сталі з різними механічними властивостями. Найбільш високоміцною сталлю з $\delta_T = 3,5-4$ ГПа (δ_T – тимчасова межа міцності) є високовуглецева (нелегована) сталь.

Але вуглецеві сталі мають істотні недоліки: висока критична швидкість гартування (найменша швидкість охолодження, при якій утворюється мартенсит); погана прожарюваність (глибина проникнення гартування від охолоджуваної поверхні до центра); погана антикорозійна стійкість тощо.

Введення у сталь певної кількості елементів, названих *легуєчими*, дозволяє позбавити вказаних недоліків вуглецевої сталі, покращити її механічні властивості, а також отримувати ті чи інші особливі фізико-хімічні властивості, яких вуглецева сталь не має. Таку сталь називають *легованою*. Вплив легуючих елементів на властивості сталі різноманітний, тому, додаючи їх у певній кількості і сполученнях, можна отримати сталі з різними властивостями.

Фізико-хімічні властивості сталі, що визначають її якість, тобто ступінь відповідності для використання за призначенням або здатність задовольняти потреби споживачів, можна розділити на дві групи.

До першої групи належать властивості, що визначають *технологічність* сталі, тобто здатність сталі підлягати тій чи іншій обробці (тиском, хіміко-термічній і т.ін.) при отриманні готових виробів.

До **другої** групи належать властивості, що визначають здатність сталі забезпечувати надійну і довготривалу придатність у готових виробах.

Металургія сталі як виробництво виникла приблизно 3,5 тис. років тому в районі Суецької затоки (Сирія, Єгипет). Шлях розвитку чорної металургії можна розділити на декілька етапів.

За використаною основною сировиною або технологічною схемою сталеплавильне виробництво має *два основних етапи розвитку*:

- Пряме отримання сталі із залізних руд так званим сиродутним процесом, тобто однокрокове виробництво за схемою залізна руда – сталь.
- Отримання сталі шляхом рафінування чавуну, тобто двокрокове виробництво за схемою залізна руда – чавун – сталь (почалося на межі XII і XIV століть н.е. і продовжується дотепер). Розвиток виробництва сталі шляхом рафінування чавуну, що забезпечує найбільший технічний прогрес, у свою чергу має три важливих етапи розвитку, на кожному з яких, як правило, використовувалося кілька способів отримання сталі.

Перший етап – переробка чавуну в сталь, отриману в тістоподібному стані у вигляді криці (зварювального заліза). Він почався з використання кричного процесу, на зміну якому прийшов пудлінговий процес (1784 р., Англія).

Другий етап – переробка чавуну в рідку сталь без додавання або з додаванням брухту (скрапу) в агрегатах періодичної (дискретної) дії без використання кисневого дуття. Початок цього етапу пов'язаний зі створенням бесемерівського процесу (1855-1860 рр., Англія).

Подальший його розвиток привів до розробки мартенівського (1864-1865 рр., Франція), томасівського (1877-1879 рр., Англія) та електродугового (1900 р., Франція) процесів.

Перехід до отримання сталі в рідкому стані дозволив покращити її якість.

Третій етап – переробка чавуну в рідку сталь в агрегатах періодичної дії з використанням кисневого дуття. Це сучасний етап розвитку сталеплавильного виробництва, що має такі особливості: впровадження та широке використання киснево-конверторного процесу (1952-1953 рр., Австрія); використання кисню для інтенсифікації мартенівського й електродугового процесів; широке використання з метою підвищення якості сталі способом ковшової обробки рідкої сталі – синтетичними шлаками або шлаковими сумішами, вакуумом, інертними газами, поєднаними з мікролегуючими порошками або без них, а також способом переплавки сталі в особливих умовах (електрошлакового, вакуумно-дугового, електронно-променевого, плазмено-дугового).

Сталеплавильне виробництво за своїми масштабами (750 млн. т/рік) займає друге місце в світі серед інших найбільших галузей промисловості, поступаючись тільки виробництву цементу (1100 млн. т/рік).

В даний час *основними способами виробництва сталі є киснево-конвертерний, мартенівський і електросталеплавильний.*

Кожен з цих способів виробництва сталі, в тій чи іншій мірі, чинить негативний вплив на навколишнє середовище. На сьогоднішній день, для того, щоб знизити напружену екологічну ситуацію в районах функціонування підприємств металургійної галузі слід вибрати найбільш безпечний для навколишнього середовища спосіб виробництва сталі.

До фінансової кризи 2008 року Україна була однією з небагатьох країн, де широко використовувався мартенівський спосіб виплавки сталі, який є досить енергозатратним і екологічно шкідливим.

Зараз більшість мартенівських печей в Україні виведено з експлуатації.

Велика частка електросталі в промислово розвинених країнах і в країнах, що розвиваються, обумовлена перевагами дугових

сталеплавильних печей (ДСП), що працюють на твердій шихті при високій швидкості розплавлення. Це забезпечує менші питомі капітальні вкладення і енерговитрати, більш високу продуктивність, і меншу кількість викидів шкідливих речовин в навколишнє середовище.

1.1.1. Сучасні технології одержання сталі за кордоном сталеплавильного виробництва в Україні

Основні дослідження сталеваріння у світі спрямовані на вдосконалення технології та конструкції агрегатів.

В останні десятиліття найбільш вагомі зміни відбулися в електросталеплавильному виробництві: покращено конструктивне оформлення дугових печей, значно збільшена їх питома електрична потужність, знайшло застосування велике різноманіття форм дугового розряду - дуга постійного і змінного струму, плазмова, з порожнистим електродом, палаюча у спіненому шлаку.

Впроваджені такі технології як: ***вакуумно-дугового і плазмовий переплави, електроннопроменева, електрошлакова та індукційна плавки.***

Компанія «Siemens VAI MT», на 9-ій Європейській конференції з електрометалургії, представила доповідь про особливості конструкції і варіанти обладнання SimetalCIS Ultimate для переплаву холодного і гарячого прямовідновленого заліза, а також про застосування до 40% рідкого чавуну в шихті.

В даний час із застосуванням рідкого чавуну в світі успішно працюють ще шість шахтних компанії «Siemens VAI MT»: дві 120-т електропечі ВАТ «Северсталь» (до 35% рідкого чавуну); чотири 80/100- т печі в Китаї.

Так, фірма «Fuchs Systemtechnik» розробила проект екологічно безпечної дугового шахтної печі.

Для підігріву лому в даній печі застосовується комбіноване нагрівання за рахунок теплової енергії вихідних газів і кисневих пальників. У таких

печах температура підігріву шихти досягає в середньому 800 - 900°C. Додатковою перевагою проходження вихідних газів через шахту, заповнену ломом, є часткове видалення пилу з вихідних газів, що помітно знижує навантаження на фільтри.

На фірмі BSW була розроблена технологія вилучення цинку з пилу дугових печей. Метод регенерації цинку полягає в тому, що пил змішують з порошком коксу і нагрівають до 1100°C у обертній печі. Цинк у вигляді оксиду цинку збирається у фільтрі, а багатий залізом залишок, повертається в дугову піч.

Крім того, слід взяти до уваги технології, пов'язані з переробкою і повторним використанням сталеплавильних шлаків.

Так, в Японії близько 64% конвертерного шлаку переробляється в сировині для цементу. Виробництво цементу допускає доведення частки конвертерних шлаків в його складі до 45%, що дозволяє скоротити витрату палива на 43% в порівнянні з виробництвом портландцементу.

Фірма «Nippon Kokan» (Японія) розробляє технології, спрямовані на зменшення маси шлаку, і технології оборотного використання шлаків з перетворенням їх у вторинні ресурси.

Серед перших головне місце займає розробка оригінального безшлакової процесу на основі технології виплавки низькокремністого чавуну. Цей процес дозволив зменшити вихід шлаку у сталеплавильному виробництві приблизно в три рази в порівнянні з колишньою технологією. З іншого боку, для ефективного використання сталеплавильних шлаків відпрацьовані такі технології як виготовлення «морських блоків» («Marine Block») - великорозмірних кубічних виробів на карбонатній зв'язці, одержуваних продувкою вуглекислим газом і придатних для створення плантацій водоростей і місць проживання риби; а також технологія виробництва в комерційному масштабі калійного добрива.

За станом на 1 жовтня 2012 р. на металургійних підприємствах України в роботі знаходились: 24 доменні печі з 36; 17 конвертерів з 21, 11 мартенівських печей з 16 і 6 електропечей з 15.

Мартенівське виробництво сталі в Україні скорочується. В останні роки закрито мартенівські цеха на Макіївському меткомбінаті і на Донецькому металургійному заводі.

Виробництво сталі в даний час цим способом здійснюють лише 3 підприємства: Маріупольський МК ім. Ілліча, Алчевський МК і МК «Запоріжсталь».

За перспективним планом розвитку України збільшення виробництва електропечної сталі підприємствами очікується до рівня 3,6 млн. т. на рік.

Очевидно, що вже в середньостроковій перспективі будуть закриті мартенівські печі на Арселор Міттал, Кривий Ріг та на ММК ім. Ілліча, а у подальшому і на МК «Запоріжсталь». При цьому на комбінатах планується побудувати нові потужності по виробництву сталі (кисневі конвертери).

Виконання намічених підприємствами програм дозволить нашим сталеплавильникам істотно наблизитися, а на ряді підприємств досягти рівня країн ЄС за основними технологічними і техніко-економічними показниками.

Виплавка сталі мартенівським способом

Мартенівський спосіб з'явився в результаті необхідності переробки великої кількості металобрухту, масова переробка якого в конверторах неможлива (через недостатність тепла в ньому). Ця проблема була вирішена шляхом створення полуменевої (мартенівської) печі.

В середині 20 століття понад 80 % всієї виплавленої сталі одержували мартенівським способом. В подальшому, з розвитком киснево-конвертерного процесу, роль мартенівського виробництва у виробництві сталі значно впала.

Розповсюдженість способу пояснювалася його *універсальністю*:

- плавку можна вести як на твердій, так і на рідкій шихті з будь-якими співвідношеннями металобрухту і чавуну;
- спосіб характеризується невисокими вимогами до якості сировини;
- процес плавки добре регулюється;
- вихід готової сталі високий;
- процес дозволяє виготовити сталь майже всього сортаменту.

Мартенівська піч (рис. 1.2.) являє собою споруду з вогнетривкої цегли, яка стягнута рядом металічних балок, що утворюють зовнішній каркас.

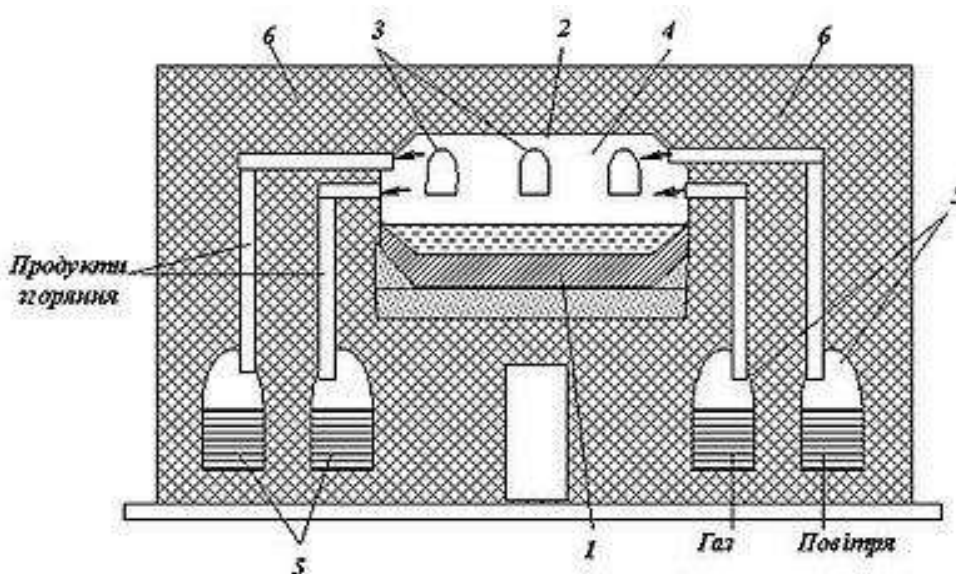


Рис. — Схема мартенівської печі.
1 — під, 2 — склепіння, 3 — завантажувальні вікна,
4 — робочий простір, 5 — регенератори, 6 — головки.

Рисунок 1.2. Схема мартенівської печі

Робочий простір печі обмежений зверху склепінням, знизу — подом, спереду і ззаду — стінками, з боків — головками.

Головки служать для подачі палива і повітря в робочий простір печі, а також для відводу продуктів згоряння з печі.

Піч має *вигляд овальної чаші*, в ньому відбувається процес плавки. Передня стінка має ряд завалочних вікон для завантаження шихтових матеріалів, а задня стінка — лютку для випуску металу.

Основні матеріали шихти для мартенівської плавки такі:

- чавун,
- скрап,
- металобрухт,
- розкиснювачі,
- легуючі добавки,
- залізна руда,
- вапняк та ін.

Підготовка шихти включає операції дроблення і різання негабаритного металобрухту і пакування дрібного; дроблення вапняку до 50-150 мм; сортування чушкового чавуну за марками, класами і категоріями.

Крім чавуну в шихті використовують обрізки металу, брак лиття, металобрухт.

Підготовлену шихту з доданням розкиснювачів і легуючих добавок завантажують в піч.

Після прогріву шихти (твердої її частини) в піч заливають чавун і починається процес плавки. Однією з основних характеристик мартенівської печі є садка — маса металевої частини шихти, що завантажується в піч.

В основі процесу мартенівської плавки лежать окисні процеси, в результаті яких з металічної шихти одержують рідку сталь заданого складу.

На відміну від конверторів у мартенівських печах плавка йде за рахунок тепла полум'я, що утворюється при горінні в робочому просторі печі суміші доменного і коксового газів.

Для утворення в печі високих температур (1800—1850°C) і економії палива газ і повітря перед подачею в піч підігрівають теплом продуктів горіння в регенераторах до температури 1200—1300°C.

При попаданні в робочий простір печі газ стикається з повітрям і загоряється. Під дією цього тепла шихта нагрівається і плавиться.

Водночас з розплавленням металу відбувається окиснення його основних компонентів.

Основним окиснювачем є кисень повітря, який засмоктується в робочий простір печі з атмосфери.

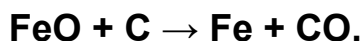
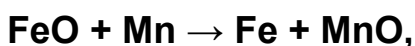
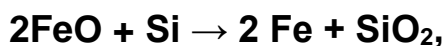
Залізо шихти при окисненні переходить в оксид заліза (FeO), а домішки в відповідні оксиди — кремнезем (SiO₂), оксид марганцю (MnO), оксид вуглецю (CO) і ін.

Оксид вуглецю (CO) видаляється з димовими газами, а інші переходять в шлак, що накопичується на поверхні металу.

Перемішування металу при виділенні бульбашок CO сприяє окисненню домішок.

Коли метал покриється шаром шлаку, безпосереднє окиснення домішок киснем повітря стає неможливим і подальше окиснення протікає за рахунок оксиду заліза, що розчинений в металі.

У готової сталі оксид заліза (FeO) — шкідлива домішка, але під час плавки його присутність корисна, тому що він — єдине джерело кисню для вигорання домішок за реакціями:



Додання в шихту флюсів (вапна або вапняку) сприяє *видаленню з металу сірки і фосфору.*

В ряді випадків для розрідження шлаку вводять боксити і плавиковий шпат.

Для інтенсивності плавки використовують кисень, що не тільки скорочує тривалість плавки, але й витрату палива. Інтенсивність окиснення можна підвищити завантаженням в піч залізної руди.

Додавання руди ефективно тому, що водночас з очищенням металу від домішок відбувається *відновлення заліза з оксидів руди.*

Залізо, що утворилося, розчинюється в металі і підвищує вихід готової продукції.

Сірка і фосфор, що знаходяться в руді, при плавці не видаляються, тому що їх сполуки P_2O_5 і FeS добре розчиняються в сталі.

Для їх видалення в шихту вводять флюс — вапняк, який при нагріванні розкладається:



Вапно (CaO), що входить до складу шлаку, хімічно зв'язується з фосфором і переводить його в шлак $[P_2O_5(CaO)_4]$. При цьому частково видаляється й сірка.

Шлак, що утворився при плавці, зливають. Під час плавки беруть проби металу для визначення його хімічного складу і доведення цього складу до заданого.

Коли метал доведений до заданого складу, в нього вводять розкиснювачі (в основному феросплави) щоб відібрати кисень у закису заліза, що залишився в металі. Після завантаження розкиснювачів сталь випускають з печі.

В *мартенівських печах* виплавляють в основному вуглецеві конструктивні сталі нормальної і підвищеної якості, а також ряд марок інструментальних і низьколегованих сталей.

Мартенівський спосіб виробництва сталі ліквідований у всіх розвинених країнах світу ще в 1980-1990-х роках, в Китаї – у 2003 році, а Росія тільки планує повністю відмовитись від мартенівського виробництва сталі:

На сьогодні такий спосіб є малоефективним як з економічної, так і з екологічної точки зору.

Зокрема, собівартість мартенівської сталі (у перерахунку на катану заготівку) на 15% вища за собівартість електросталі та конвертерної сталі (у перерахунку на литу заготівку).

При виробництві мартенівської сталі обсяг викидів шкідливих речовин в атмосферу вище на 40%, а парникових газів – у два рази більше порівняно з електросталеплавильними і конвертерними способами виробництва сталі.

На 2010 р. частка мартенівської сталі становить лише 3,6% світового виробництва сталі та припадає в основному на Росію (40%) і Україну (46%), тобто дві країни в сукупності виробляють практично 86% світового обсягу мартенівської сталі.

В Україні заміна мартенівського виробництва відбувається повільно і частка мартенівського виробництва донедавна (2010) становила 40%.

За кілька наступних років Україна просунулась в процесі закриття мартенівських печей і заміну їх на інші альтернативні агрегати.

2011 року закрито мартенівський цех ВАТ «Азовсталь», 2012 року — на металургійних заводах Донецька та Дніпра, 2015 року — на комбінаті ВАТ «ММК ім. Ілліча».

Виробництво сталі в мартенівських печах зараз існує на металургійних комбінатах ПАТ «АМКР», ВАТ «Запоріжсталь», а також на Макіївському.

Виплавка сталі киснево-конвертерним способом

Основні способи виробництва сталі киснево-конвертерним способом - це з верхньої, комбінованої продувкою, з допалюванням і без допалювання конвертерного газу (Рис. 1.3). З рис. 1.3. видно, що недоліки притаманні конвертерам з верхньої та донною продувкою, зникають при використанні комбінованої продувки.

Конвертерний процес з комбінованою продувкою передбачає подачу через днище конвертера невеликої кількості інертного газу (аргону або азоту). Кисень зверху подають через одно-або двоярусну фурму (для допалювання СО). Гази знизу подають через пористі блоки (вставки).

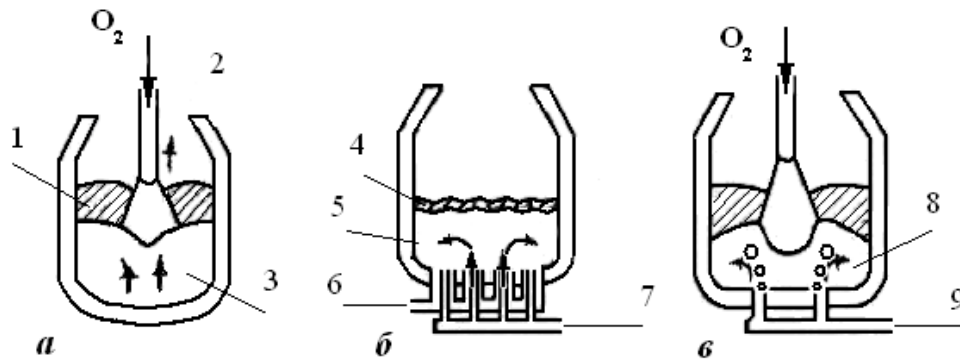


Рисунок 1.3. – Порівняльна схема роботи конвертерів з верхньою, донною і комбінованою продувкою: а - продування зверху, б - донне продування; в - комбіноване продування; 1 - шлак; 2 - викиди; 3 - метал; 4 - прискорення реакцій шлак-метал; 5 - добре перемішування ванни; 6 - введення вуглеводнів; 7 - введення суміші O_2 + порошок Сао; 8 - додаткове перемішування ванни; 9 - введення інертного і охолоджуючого газу, а також порошку СаО

Подача газів знизу починається за кілька хвилин до закінчення продувки киснем зверху і триває протягом декількох хвилин після її закінчення.

При комбінованій продувці ступінь десульфурзації підвищується на 10 - 15%, а при короткочасній додатковій продувці азотом або аргоном вміст сірки зменшується на 10 - 25%.

При роботі конвертера в системі з допалюванням газу після газоочищення утворюються залізовмісні шлами. Через відсутність простих і економічно вигідних технологій їх підготовки та утилізації вони дуже часто залишаються незапитаними і складуються в шламонакопичувачах. При роботі конвертера без допалювання - утворюється конвертерна пил, яку направляють для утилізації на аглофабрику.

Конвертерний шлак, що є цінним оборотним продуктом, не знаходить належного застосування і накопичується на шлакових відвалах підприємств.

Значні резерви з організації маловідходного виробництва є в киснево-конвертерному процесі. Підвищити екологічну безпеку на українських підприємствах можна за рахунок вдосконалення та оптимізації технології і технологічних прийомів, до яких можна віднести:

- технологію виплавки сталі з рафінуванням і доведенням складу металу в ковші;

- комбіновану продувку, що забезпечує економію шлакоутворюючих, чавуну, феросплавів та підвищення виходу придатного металу;
- оптимізацію режиму продування, що забезпечує зменшення втрат металу з виносом і викидами;
- десульфурацію чавуну в ковші і доставку рідкого чавуну в ковшах міксерного типу для збереження температури чавуну;
- збільшення частки брукху в шихті і попередній його нагрів;
- введення твердих вуглецевмісних домішок у агрегат;
- збільшення ступеня допалювання CO до CO₂ в порожнині конвертера або збір конвертерних газів в газгольдері з подальшим використанням CO;
- застосування відходів як шлакоутворювачів .

Виплавка сталі в електропечах

Перевагою електроплавки сталі в порівнянні з іншими способами виробництва є, головним чином, використання електричної енергії для нагрівання металу.

Виділення тепла в електропечах відбувається або в самому металі що нагрівається, або в безпосередній близькості від його поверхні за рахунок електричної дуги.

Це дозволяє в порівняно невеликому обсязі сконцентрувати більшу потужність і нагрівати метал з великою швидкістю до високих температур. Таким чином, тривалість плавки істотно скорочується порівняно з мартенівським процесом, а пилорозподіл значно нижче, ніж при плавці в конвертерах. Витрата тепла і зміна температури при плавці в електропечі досить легко піддаються контролю і регулюванню.

На відміну від мартенівського та конверторного процесів, виділення тепла в **електропечах** не пов'язане зі споживанням окиснювача, що також є позитивним моментом з екологічної точки зору.

Тому електроплавка може бути здійснена в будь-якій атмосфері - окисній, відновній або нейтральній.

Крім того, електропечі краще за інших пристосовані для переробки металевого брухту. Вся шихта в піч може бути завантажена в один або два прийоми, що значно скорочує неорганізовані викиди.

Період плавлення в електропечах значно коротше, ніж у мартенівських печах, що працюють скрап-процесом.

Найбільшого поширення набули дугові електросталеплавильні печі (ДСП), в яких перетворення електричної енергії в теплову відбувається в електричній дузі.

Таким чином, у порівняно невеликому обсязі дуги можна сконцентрувати величезні потужності і отримати дуже високі температури.

Висока концентрація тепла в дузі дозволяє з великою швидкістю плавити і нагрівати метал до високої температури.

Незважаючи на явні переваги електропечей, в даний час ведуться активні роботи з удосконалення конструкції печей та інтенсифікації плавки для досягнення максимальних результатів щодо скорочення тривалості плавки, зниження шкідливих викидів, забезпеченню енерго- і ресурсозбереження.

1.2. Виробництво алюмінію і його сплавів

Алюмінієва промисловість – це галузь кольорової металургії, яка виробляє алюміній.

За обсягами виробництва (розпочате в кінці XIX ст.) алюміній сьогодні займає перше місце серед усіх кольорових металів.

Алюміній має високу електро- і теплопровідність (поступаючись серед технічних металів лише сріблу і міді) і застосовується як провідниковий матеріал для деталей електричних пристроїв.

Поряд з основною продукцією (виливанці для переливання, виливки для гарячої обробки, катанки для переробки на дріт, а також алюмінієві порошки) підприємства алюмінієвої промисловості випускають кристалічний кремній, алюміно-кремнієві сплави (силуміни), содові продукти, мінеральні добрива, цемент, п'ятиоксид ванадію, металевий галій.

Алюмінієві деформовані сплави (дуралюміни та ін.) – важливі конструкційні матеріали в поліграфічній та інших галузях техніки, *алюмінієві ливарні сплави* широко застосовують у загальному і поліграфічному машинобудуванні.

Внаслідок високої корозійної стійкості алюмінієві сплави використовують у хімічній та харчовій промисловості, для побутових виробів.

Алюміній – найбільш поширений метал у природі, він входить до складу більш як 250 мінералів.

Найбільш важливі алюмінієві руди – *боксити, нефеліни, алуніти*. Основна руда – це *боксити*, складні гірські породи, що містять гідрати $AlO(OH)$, $Al(OH)_3$ та ін.

Вміст глинозему Al_2O_3 (в перерахунку з гідратів) становить від 30 до 70 %. Якість бокситів тим вища, чим менший у них вміст звичайної домішки – кремнезему SiO_2 (0,5-15 %).

Менше при виробництві алюмінію використовують *нефеліни* $(K,Na)_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ та *алуніти* $K_2SO_4 \cdot Al_2(SO_4)_3 \cdot 4Al(OH)_3$.

Способи відновлення алюмінію безпосередньо з бокситів та інших руд ще не розроблені].

Сучасне виробництво алюмінію складається з двох основних процесів:

- отримання глинозему Al_2O_3 з бокситів;

- отримання металевого алюмінію шляхом електролізу розплавленого глинозему.

Глинозем Al_2O_3 отримують лужним, електротермічним та іншими способами. Найбільш поширеним є лужний спосіб, розроблений в кінці XIX ст. К.Г. Байєром.

Тому основним способом виробництва алюмінію в даний час є *електролітичний*.

Електроліз - це сукупність процесів електрохімічного окиснення-відновлення на занурених у електроліт електродах при проходженні через нього електричного струму.

Основна сировина для виробництва алюмінію - *алюмінієві руди, боксити, нефеліни, алуніти, каоліни.*

Найбільше значення мають *боксити*. Алюміній у них міститься у вигляді мінералів - гідроксидів $Al(OH)_3$, корунду Al_2O_3 і каолініту $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$.

Сучасне виробництво алюмінію складається з двох основних процесів: отримання глинозему Al_2O_3 з алюмінієвих руд і алюмінію шляхом електролізу розплавленого глинозему.

Глинозем витягують різними способами в залежності від конкретного складу руди. При великому вмісті SiO_2 використовують кислотні, електрохімічні і деякі інші методи.

При малому вмісті SiO_2 глинозем отримують лужним способом: дрібнорозмолоту руду обробляють розчином їдкого натру в автоклаві при температурі $250\text{ }^{\circ}\text{C}$ і тиску 2,5-3,0 МПа.

Гідроксиди алюмінію, що містяться в руді, за таких умов швидко і досить повно розчиняються в лузі (NaOH) з утворенням алюмінату натрію ($NaAlO_2$).

Порожня порода, що не розчинилася в лузі, випадає в осад (червоний шлам).

Розчин алюмінату у вигляді пульпи зливається з автоклава в сталеві ємності, де при тривалому і повільному перемішуванні і поступовому охолодженні з нього випадає кристалічний гідроксид алюмінію $\text{Al}(\text{OH})_3$.

Ця операція називається викручуванням, триває 50-70 ч.

Кристалічний гідроксид після промивки і фільтрації обпалюють - в трубчатих печах при температурі 1200°C . Втрачаючи воду, він перетворюється в чистий глинозем Al_2O_3 .

Паралельно з одержанням глинозему організують виробництво *кріоліту* Na_3AlF_6 для подальшого проведення електролізу.

Другу стадію виробництва алюмінію - *електроліз глинозему* проводять у електролізній ванні (рис. 1.4).

Електролізу піддають розчин глинозему в розплавленому кріоліті при напрузі 4-4,5 В і щільності струму 0,7-1,2 A/cm^2 .

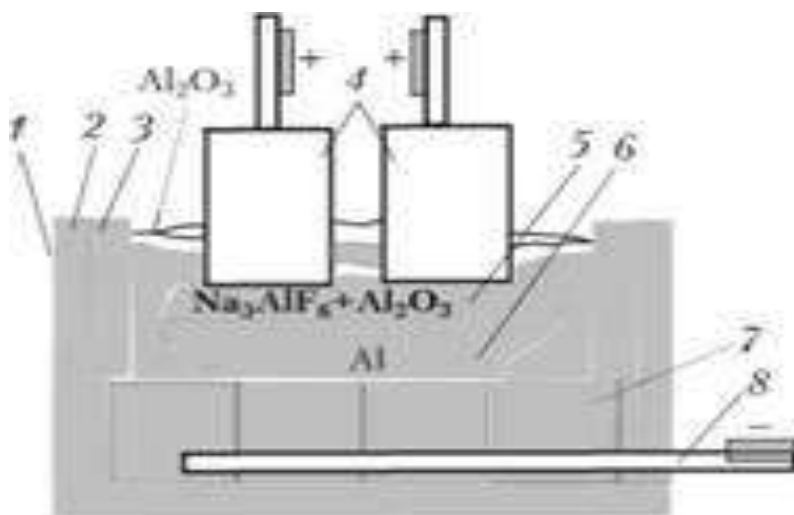


Рисунок 1.4. Принципова схема електролізера для одержання алюмінію: 1 - металевий кожух; 2 - футеровка; 3 - бічні вуглецеві блоки; 4 - аноди; 5 - електроліт; 6 - розплав алюмінію; 7 - подові вуглецеві блоки; 8 - катодні шини

У розплавленому кріоліті відбувається дисоціація молекул глинозему.

Катіони Al^{3+} , розряджаючись на катоді, перетворюються на металевий алюміній Al , який накопичується на дні ванни і періодично відбирається вакуум-ковшем.

Його піддають рафінуванню для видалення газів і домішок (заліза, кремнію та ін.). З цією метою в печі або ковші алюміній продувають газоподібним хлором і відстоюють 30-45 хв.

Потім алюміній розливають у чушки (невеликі виливки) масою 5-15 кг.

При електролізі витрата матеріалів на 1 т первинного алюмінію становить: близько 2 т глинозему; 0,6 т вугільних електродів; 0,1 т кріоліту і до 18 000-19 000 кВт•год. електроенергії.

Тобто технологічний процес одержання алюмінію є дуже енергозатратним процесом.

Тому зазвичай виробництво алюмінію сконцентровано біля відносно дешевих джерел електроенергії, таких, як ГЕС.

В Україні це Дніпровський алюмінієвий завод у м. Запоріжжя. Основна продукція заводу – алюміній у виливках, алюмінієва катанка, глинозем, алюмінієво-кремнієві сплави, товари народного споживання. Всі цехи заводу оснащені сучасним високопродуктивним устаткуванням і мають високий рівень механізації та автоматизації виробництва.

Миколаївський глиноземний завод (МГЗ) – підприємство алюмінієвої промисловості України. Розташований на східному березі Бузького лиману.

Продукція підприємства – глинозем найвищих марок. Потужність заводу – 1,2 млн. т на рік. Технологічна схема передбачає переробку сировини (бокситів) лужним гідрохімічним способом (спосіб Байєра). МГЗ працює на бокситах, що ввозяться з Гвінеї і Ямайки. МГЗ оснащено устаткуванням великої одиничної потужності з автоматизованим і дистанційним управлінням.

1.3. Виробництво цинку і його сплавів

У світі щорічно виробляється 10 мільйонів тон *цинку*.

Цинк - четвертий за об'ємом використання метал після заліза, алюмінію та міді. Здебільшого сировиною служать сірчані руди, в яких сфалерит змішаний із сульфідами інших металів.

Поліметалічні руди збагачують селективною флотацією, отримуючи цинкові концентрати (50-60 % Zn) і одночасно свинцеві, мідні, а іноді також піритні концентрати.

Цинк отримують випалюванням рудних концентратів з подальшим вилуговуванням сірчаною кислотою H_2SO_4 і електроосадженням з розчину ZnSO_4 .

Цинк у природі як самородний метал не зустрічається.

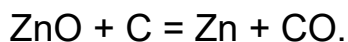
Його добувають з поліметалічних руд (Cu, Pb, Ag, Au, Cd, Bi), що містять 1-4 % Zn у вигляді сульфіду.

Руди збагачують селективною флотацією, отримуючи цинкові концентрати (50-60 % Zn) і одночасно свинцеві, мідні, а іноді також піритні концентрати.

Цинкові концентрати обпалюють в печах в киплячому шарі, переводячи сульфат цинку в оксид ZnO ; при цьому утворюється сірчистий газ SO_2 , що витрачається на виробництво сірчаної кислоти.

Від ZnO до Zn йдуть двома шляхами. За *пірометалургійним (дистиляційним) способом*, який існує здавна.

А саме, обпалений концентрат піддають спіканню для збільшення зернистості і газопроникності, а потім відновлюють вугіллям або коксом при $1200\text{—}1300^\circ\text{C}$ за реакцією:



Утворену при цьому пару металу конденсують і розливають у форми.

Спочатку відновлення проводили тільки в *ретортах з обпаленої глини*, що обслуговуються вручну, пізніше стали застосовувати вертикальні механізовані реторти з карборунду, потім — шахтні і дугові електропечі; з свинцево-цинкових концентратів цинк одержують в шахтних печах з дуттям.

Продуктивність поступово підвищувалася, але цинк містив до 3 % домішок, в тому числі і цінний кадмій Cd.

Дистиляційно *цинк очищають ліквідацією* (тобто відстоюванням рідкого металу від заліза і частини свинцю при 500°C), досягаючи чистоти 98,7 %.

Застосовують іноді більш складне і дороге очищення — *ректифікацію*, вона дає метал чистотою 99,995 % і дозволяє витягати з цинку кадмій Cd.

Основний спосіб отримання цинку — електролітичний (гідрометалургійний).

Обпалені концентрати обробляють сірчаною кислотою H_2SO_4 ; отриманий сульфатний розчин очищають від домішок осадженням їх цинковим пилом і піддають електролізу у ваннах, щільно викладених всередині свинцем або вініпластом.

Цинк осідає на алюмінієвих катодах, з яких його щодоби видаляють (здирають) і плавлять в індукційних печах.

Зазвичай чистота електролітного цинку 99,95 %, повнота вилучення його з концентрату (з урахуванням переробки відходів) 93-94 %.

З відходів виробництва отримують цинковий купорос, Pb, Cu, Cd, Au, Ag, іноді також In, Ga, Ge, Tl.

Контрольні питання:

1. Як класифікуються конструкційні матеріали?
2. Які існують способи виробництва сталі?
3. Назвіть вихідну сировину для виробництва сталі.
4. Назвіть види обладнання для виготовлення сталі.
5. Назвіть переваги і недоліки сучасних технологій виробництва сталі.
6. Які сучасні технології виробництва алюмінію і його сплавів?
7. Що є вихідною сировиною для одержання алюмінію і його сплавів?
8. Назвіть особливості електролізу алюмінію.
9. Яке обладнання застосовується при виробництві алюмінію?

10. Які сучасні технології виробництва цинку?
11. Що є вихідною сировиною для одержання цинку і його сплавів?
12. Що таке цинковий концентрат?
13. Яке обладнання застосовується при виробництві цинку?
14. Що таке гідрометалургійний спосіб одержання цинку?

Розділ 2. Залізовуглецеві і кольорові сплави, їх класифікація та маркування. Застосування у поліграфічному обладнанні

2.1. Сталі. Склад, структура і властивості. Застосування в конструкціях друкарських машин

Найчастіше сталі класифікуються за трьома ознаками:

- 1) за хімічним складом;
- 2) за способом виробництва;
- 3) за призначенням.

За **хімічним складом** в залежності від вмісту вуглецю сталі діляться на три групи:

1. низьковуглецеві (C до 0,3%);
2. середньовуглецеві ($0,3 < C < 0,5\%$);
3. високовуглецеві ($C > 0,5\%$).

За **загальним вмістом легуючих елементів** сталі також ділять на три групи:

- 1) низьколеговані сталі - $\sum \text{л.е. до } 3\%$;
- 2) середньо леговані - $\sum \text{л.е.} = 3 - 10\%$;
- 3) високолеговані - $\sum \text{л.е.} = > 10\%$.

За **способом виробництва** класифікація сталей визначається умовами металургійного виробництва, перш за все – контролем хімічного складу і вмісту в сталі шкідливих домішок.

За **призначенням** розрізняють такі класи:

- 1) конструкційні сталі загального призначення;
- 2) конструкційні сталі спеціального призначення;

- 3) сталі з особливими хімічними і фізичними властивостями;
- 4) інструментальні сталі.

Сталі звичайної якості.

В цих сталях згідно нових стандартів вміст вуглецю не перевищує 0,6%, сірки S – до 0,06%, фосфору P – до 0,08%. Ці сталі мають підвищену кількість неметалевих включень (оксидів, сульфідів). В залежності від призначення і характеристик, гарантованих металургійними заводами, сталі поділяються на три групи: А, Б, В.

Група А – по механічних властивостях. Позначається Ст.О...Ст6.

Група Б – з гарантованим хімічним складом. Позначається Б Ст.О, Б Ст.1, ..., Б Ст.6.

Група В – з гарантованими механічними властивостями і хімічним складом одночасно. Позначається ВСт.О, ... В Ст.6.

Цифра показує вміст вуглецю в десятих долях відсотків. Якщо немає ніякого індексу біля марки сталі, сталь вважається спокійною. Якщо є індекс пс (Ст.3_{пс}), то дана сталь – напівспокійна, якщо ж є індекс кп (Ст.3_{кп}) – це кипляча сталь.

Розрізняють ці сталі лише вмістом кремнію. Найменша його кількість – до 0,07% у киплячому стані.

Якісні сталі.

До цих сталей висувають більш жорсткі вимоги у якості. Вміст шкідливих домішок: S і P – до 0,035% кожного.

Маркування сталей:

Вміст вуглецю пишеться на початку марки сталі – це 2-значна цифра, яка означає вміст вуглецю в сотих частках відсотків (Сталь 20, Сталь 55 мають 0,2 та 0,55% С відповідно).

Легуючі елементи пишуться після вмісту вуглецю і позначаються:

А – азот (в середині марки означають вміст азоту, в кінці – означає високоякісну сталь).

Б – Nb – ніобій;

В – W – вольфрам;

Г – Mn – марганець;

Д – Cu – мідь;

Е – Se – селен;

К – Co – кобальт;

Н – Ni – нікель;

М – Mo – молібден;

П – P – фосфор;

Р – B – бор;

С – Si – кремній;

Т – Ti – титан;

Ф – V – ванадій;

Х – Cr – хром;

Ч – PЗМ – рідкоземельні метали;

Ц – Zr – цирконій;

Ю – Al – алюміній.

Якщо після літери немає цифри, то це означає що вміст легуючих елементів приблизно 1%.

Наприклад:

Сталь 30ХГС – 0,3%С; Cr, Mn, Si = 1%.

Сталь 38 ХМЮА – високоякісна сталь – 0,38% С; Cr, Mo, Al – 1%.

Сталь 12Х18Н9Д3М4Т – 0,12% С, 18% Cr, 9% Ni, 3% Cu, 4% Mo, 1% Ti.

Якщо є цифра після букви, то це вміст легуючих елементів в цілих одиницях в відсотках.

Виключення складають Mo, V, Ti і B – для них їх вміст, як правило, в сталях – 0,1 – 0,3%, для B – 0,002 – 0,005%.

В *поліграфії найчастіше застосовують I групу сталей (низьковуглецеві сталі)*: вони мають феритну або ферито-перлітну структуру.

Також має безпосереднє застосування, але в меншому ступені, *II група - середньовуглецеві сталі*, вони мають також ферито-перлітну структуру.

Ці 2 групи сталей застосовуються *для виготовлення* корпусів поліграфічного обладнання, деталей елементів офсетних, друкарських, формних циліндрів, формних пластин, у тому числі і біметалевих пластин для офсетного друку, та для багатьох інших конструктивних елементів друкарського і постдрукарського обладнання.

III група (високовуглецеві сталі) не бере участі в безпосередніх друкарських процесах, але застосовується в *поліграфії як допоміжні матеріали (різаки, ножі і т.д.)*.

2.2. Алюміній і його сплави. Склад, структура і властивості. Застосування у елементах поліграфічних машин

Алюміній (Al) – це метал сріблястого кольору, він відноситься до групи легких металів. Його густина складає 2,66 г/см³. Температура плавлення $T_{пл} = 657^{\circ}\text{C}$. Алюміній має високу тепло- і електропровідність (55% від електропровідності світла).

Алюміній надзвичайно хімічно активний метал. Він завжди покритий оксидною плівкою Al_2O_3 , яка, в свою чергу, має високу корозійну стійкість і тим самим захищає алюміній від подальшого окиснення.

У алюмінію з жодним хімічним елементом немає безперервного ряду твердих розчинів, але з багатьма елементами при певних концентраціях другого елементу можуть утворюватись локальні тверді розчини високої концентрації.

Найбільш *розповсюдженими легуючими елементами* при створенні алюмінієвих сплавів виступають Cu, Zn, Si, Mg, Ti, Sn. Вони вводяться в сплав для надання спеціальних властивостей, а саме для підвищення міцності, жароміцності, жаростійкості, антифрикційних властивостей і ряду інших. Ці хімічні елементи разом з алюмінієм утворюють цілий ряд хімічних сполук, насамперед інтерметалідів, які є дуже ефективними зміцнювачами алюмінієвих сплавів.

Маркуються алюмінієві сплави найчастіше, починаючи з літери А.

- Якщо сплав легований марганцем, як основним елементом, він маркується як АМц;
- якщо основний легуючий елемент магній АМг;
- сплави системи Al – Si, як правило, легуються літерами АК (це силуміни, що відносяться до ливарних сплавів).
- Високоміцні алюмінієві сплави маркуються літерою В, наприклад, В95 (цифра показує номер в ГОСТі).
- Деформовані алюмінієві сплави мають маркування літерою Д, наприклад: Д1, Д16, Д20 (цифра показує номер в ГОСТі). Ці сплави називаються дуралюміни. Це сплави системи Al – Cu – Mg.

Технічно чистий алюміній має відносно невисоку температуру плавлення (657 °С), незначну міцність, низьку твердість, але дуже високу пластичність.

Через низьку міцність та незначну зміцнюваність при пластичній деформації в холодному стані технічно чистий алюміній як конструкційний матеріал використовують порівняно рідко.

Загартований алюміній Al має $\sigma_b = 150$ МПа при відносному видовженні 10%.

Однак у результаті сплавлення алюмінію з магнієм, міддю, цинком та деякими іншими елементами вдається отримати алюмінієві сплави високої міцності, малої густини, з добрими технологічними властивостями.

За технологічними ознаками *алюмінієві сплави*, як і інші металеві сплави, поділяють на *деформовані та ливарні*.

Деформовані алюмінієві сплави – високопластичні, жароміцні, здатні зварюватися, легко піддаються штампуванню, витяжці та іншим видам деформування.

Їх поділяють на незміцнювані та зміцнювані термічною обробкою.

Механічні властивості незміцнюваних термічною обробкою деформованих алюмінієвих сплавів поліпшують *легуванням* (міддю, магнієм, цинком, марганцем, кремнієм і хромом) і *загартуванням* з наступним *старінням* (природним або штучним) та додатковим загартуванням за потреби.

До деформованих належать сплави на основі систем Al-Mg, Al-Mg-Si (авіалі), Al-Mg-Si-Cu, Al-Cu-Mg-Mn (дуралюміни) тощо.

З таких сплавів виготовляють листи, плити, труби, профілі, дріт.

Насамперед, з таких сплавів виготовляються ***формні моно-пластини та біметалеві пластини для форм високого і глибокого офсетного друку***.

Ливарні алюмінієві сплави відзначаються рідкотекучістю, невисокою лінійною усадкою, не схильні до утворення раковин, тріщин тощо.

Основні легуючі елементи таких сплавів – кремній, мідь, марганець, титан, нікель і цирконій. Найпоширеніші ливарні сплави – ті, що містять 4-13 % Si, іноді до 23 % Si (силуміни). З ливарних алюмінієвих сплавів виготовляють фасонне литво (у піщаних формах, кокілях, за виплавлюваними моделями, під тиском).

Алюмінієві сплави застосовують в авіаційній, суднобудівній, приладобудівній, машинобудівній, поліграфічній, автомобільній, електротехнічній та інших галузях промисловості, а також у будівництві.

Алюмінієва промисловість тісно пов'язана з іншими провідними галузями народного господарства (машинобудівна, поліграфічна, хімічна, харчова та ін.).

Пластини для виготовлення монометалевих алюмінієвих форм

Монометалеві офсетні форми найчастіше виготовляються з використанням алюмінієвих пластин та алюмінієвої фольги.

Для таких форм характерними є дуже висока тиражестійкість (до 250 тис. відбитків) і якість. Алюмінієві пластини випускаються відповідно до спеціальних вимог стандарту ГОСТ 10703.

Для виготовлення офсетних пластин використовується сплав на алюмінієвій основі (сплав АД 1). Цей сплав на основі алюмінію має домішки кремнію і заліза, тобто система потрійна (Al – Si – Fe). Кремній і залізо вводять для підвищення твердості сплаву.

Офсетні друкарські форми виготовляються з алюмінієвих листів, які одержуються холодним прокатом. Насамперед, зі сплаву АД1 з наступним наклепом (нагартуванням). Сплав АД1 не зміцнюється термічною обробкою.

Для виготовлення моно- і біметалевих офсетних форм застосовуються алюмінієві сплави з підвищеними механічними властивостями.

Для цього застосовують більш леговані сплави, до яких можливого застосувати термічне зміцнення. Це сплави АД31 і АД35. До складу цих сплавів, крім алюмінію як основи, додають Mg (до 1%), Mn (до 0,9%) та Si (до 1%).

Листи із цих сплавів застосовують:

1. Як основу для виготовлення основи монометалевих форм способами позитивного або негативного копіювання.
2. Як підкладку для виготовлення біметалевих пластин.

Для друкування малотиражних і малоформатних видань застосовують алюмінієву фольгу товщиною 0,1 – 0,2 мм.

Фольга застосовується нагартована, тому зазвичай до марки додається літера Т (тверда).

Зазвичай використовується фольга марки А5. Всі властивості фольги для друкарських форм, способи її отримання та способи випробування регламентовані ГОСТ (зокрема, ГОСТ 618 – на алюмінієву фольгу).

Перед виготовленням офсетних друкарських форм необхідно попередньо підготувати поверхню пластини (наприклад, алюмінієвої).

Мікрогеометрія поверхні пластин надзвичайно впливає на властивості офсетних форм та фізико-хімічну стійкість друкувальних проміжних елементів.

Підготовка поверхні пластин полягає в **механічній або електрохімічній обробці.**

Механічною обробкою досягається суттєве збільшення питомої поверхні пластин, а також видалення старого зображення із спрацьованих друкарських форм.

Електрохімічна обробка призводить до розвинення поверхні пластини і до підвищення адсорбційної активності її поверхні.

Підготовлена поверхня повинна задовольняти наступним **вимогам:**

- висока адсорбційна і адгезійна здатність;
- стійке підтримання зволожувального розчину при друкуванні при його мінімальній подачі. Це забезпечує більшу товщину фарбового шару на відбитку.
- зносостійкість;
- забезпечення високої точності відтворення зображення.

Технологія електрохімічної підготовки поверхні алюмінієвих пластин

Обробка складається з 4 основних операцій:

1. *Знежирювання поверхні;*
2. *Електрохімічне зерніння;*
3. *Оксидування;*
4. *Наповнення оксидної плівки.*

1. **Знежирювання поверхні алюмінію** проводять для видалення консервантів (мастил), бруду. Його проводять в розчині **5% NaOH** (їдкого натру) при температурі $t = 50 - 60^{\circ} \text{C}$ протягом 2 годин.

Процес знежирювання супроводжується розтравленням поверхні та бурхливим виділенням водню і описується рівнянням:



Алюмінат натрію **Na[Al(OH)₃]** випадає в осад і гідролізується у вигляді глинозему **Al₂O₃**.

Після цієї операції проводиться промивання алюмінієвої пластини у воді і виконується операція **декапіювання** – обробка поверхні у 20% розчині **HNO₃**.

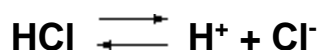
Декapіювання призводить до додаткового рівномірного розтравлювання поверхні, нейтралізуючи попередній вплив **NaOH**, після чого знову виконують промивку у воді.

2. **Електрохімічне зерніння алюмінієвих пластин** дозволяє отримати рівномірний мікрорельєф поверхні, тобто розвинуту мікрокристалічну структуру на поверхні.

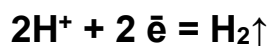
Сам процес проводять так: алюмінієву пластину поміщають в електроліт з **HCl**, куди додаються домішки поверхнево-активних речовин (ПАР). Ці ПАР сприяють зростанню активності електроліту і зменшують процес травлення алюмінію і, як наслідок, його накопичення в електроліті.

Зерніння виконують із застосуванням струму промислової частоти 50 Гц при напрузі $U = 13 - 15 \text{ В}$, температурі $t = 18 - 25^{\circ}\text{C}$ протягом $\tau = 15 - 25 \text{ хв}$.

Сутність процесу полягає в тому, що **HCl** у воді завжди перебуває у вигляді іонів:



На катоді в процесі цієї операції відбувається реакція:



На аноді відбувається реакція:



Таким чином,



Тобто атомарний кисень окиснює алюміній з утворенням оксиду **Al₂O₃**, таким чином на поверхні пластини штучно **вирощують плівку Al₂O₃**.

Під дією змінного струму в ті моменти, коли алюміній стає катодом, плівка **Al₂O₃** частково розчиняється, в результаті чого вона стає пористою.



У ці пори входить атомарний кисень і знову окиснює алюміній, який розтравився. Пори поглиблюються, туди знову потрапляє електроліт і знову розтравлює алюміній, тобто пори розширюються. Отже, на зовнішній поверхні алюмінієвої пластини пори стають **глибшими і ширшими**.

3. Окисдування поверхні проводять з метою отримання міцної і пористої оксидної плівки певної товщини з дрібнокомірчатою структурою, яка є сильним адсорбентом.

Окисдування проводять на аноді в електроліті - в розчині сірчаної кислоти **H₂SO₄** (концентрація 200 г/л) з додаванням щавлевої кислоти 50 г/л для регулювання пористості.

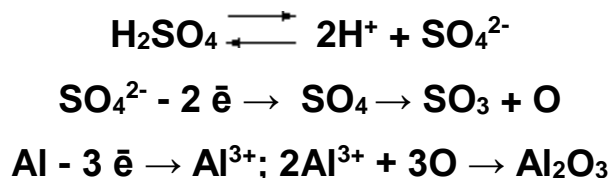
Режим процесу окисдування:

- Щільність (густина струму): $i = 0,8 - 1,0 \text{ A/дм}^2$;
- Напруга $U = 10 - 12 \text{ В}$;
- Температура $t = 18 - 20^\circ\text{C}$;

- Час $t = 10$ хв.

Катодом виступає свинцева пластина, а *анодом* - алюмінієва.

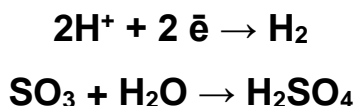
Процес полягає в наступному: поверхня алюмінієвої пластини, яка поміщається в електроліт як анод, окиснюється киснем, який виділяється при електролізі. При цьому утворюється плівка Al_2O_3 . Сутність процесу описується рівняннями:



Кисень, який утворює Al_2O_3 , також виникає в результаті реакції:



Крім цих основних реакцій, є дві побічні, а саме:



Оксидна плівка виникає лише в середині шару за рахунок самого металу, в який вона вростає.

У процесі утворення плівки відбувається значне виділення тепла, що прискорює розчинення плівки і вона стає рихлою і уповільнюється її зростання, тому необхідно охолоджувати електроліт в процесі роботи.

Товщина оксидного шару залежить від часу витримки в електроліті. При наявності високої пористості виникає небезпека проникнення до неї копіювального шару і неповного видалення цього шару з проміжних елементів. Це може спричинити тінення форми в процесі друкування.

Тому після оксидування виконують наповнення оксидної плівки (це 4 операція електрохімічної обробки поверхні).

Для цього застосовують розчин силікату натрію (концентрація 50 г/л, $t = 50 - 60^\circ\text{C}$, $t = 15$ хв.). При цьому процесі поверхня отримує стійкі гідрофільні властивості.

Наповнювач є *пасиватором*, який запобігає зростанню пористості.

Таким чином, в результаті комплексної електрохімічної обробки поверхня алюмінію одержує певну шорсткість: $R_z = 0,8 - 1,2$ мкм.

Ця поверхня має високу зносостійкість і високі гідрофільні властивості.

Встановлено, що під час зерніння поверхні алюмінію утворюються увігнуті півкулі, так звані „чашки” з розмірами $0,2 - 2$ мкм. В „чашках” формуються елементи структури оксидного шару, тобто пори.

Схема поверхні алюмінієвої пластини після електрохімічної обробки показана на рис. 2.1.

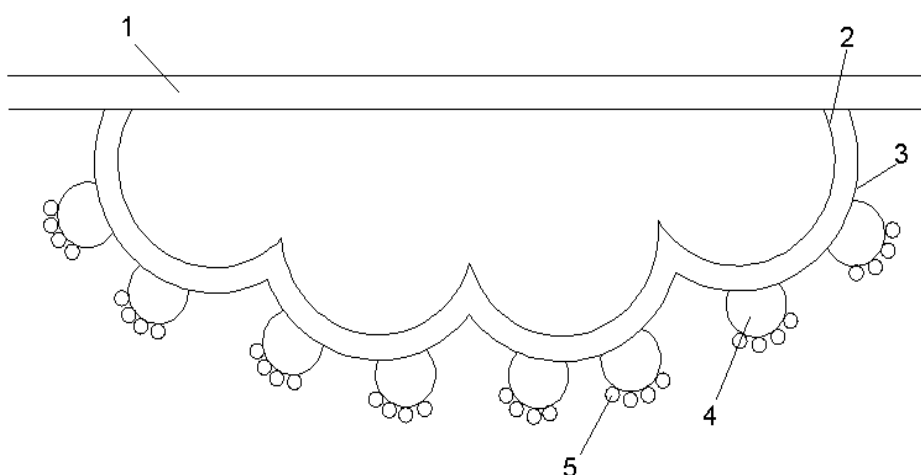


Рис. 36

Рисунок 2.1. - Схема поверхні *Al* пластини після електрохімічної обробки: 1- геометрична поверхня; 2-рівень прокатного рельєфу; 3- рівень після знежирювання; 4-рівень „чашок” після зерніння; 5- рівень оксидних пор.

Як видно, площа поверхні алюмінієвої пластини значно зростає у порівнянні з вихідною. При умові доброго змочування це призводить до зростання площі контакту копіювального шару з водою, що веде до збільшення адгезії з цими рідинами та забезпечує стабільні друкарські процеси.

2.3. Цинк і мікроцинк. Склад, структура і властивості. Застосування у елементах друкарської техніки

Для виготовлення друкарських форм використовують цинкові, алюмінієві та сталеві пластини (з маловуглецевих сталей).

Металеві пластини для виготовлення кліше та штампів

Виготовляють кліше *методом травлення*. Для цього використовують **цинкові та мікроцинкові** пластини.

Цинк (Zn) відноситься до кольорових металів, має синьо-білий колір. Його густина – $\rho = 7,14 \text{ г/см}^3$.

Порядковий номер – 30; Zn займає місце в IV періоді періодичній таблиці Менделєєва.

Температура плавлення Zn – $T_{\text{пл}} = 419^\circ\text{C}$ (тобто Zn – легкоплавкий метал).

При кімнатній температурі Zn – крихкий метал (має низьку пластичність).

При $t = 100 - 110^\circ\text{C}$ набуває пластичності і, як наслідок, добре гнеться (причина такого параметру криється в зміні структурного стану). При цих температурах Zn прокатують у листи.

Цинкові пластини, виготовлені з прокатних листів, мають товщину $\delta = 1 - 3 \text{ мм}$.

Для виготовлення цинкових пластин застосовують сплави на основі Zn з домішками Cd та Pb, а також в деяких випадках при металургійному переппаві додається Fe як легуючий елемент. Cd та Pb сприяють поліпшенню механічних властивостей цинкових сплавів, а саме підвищують міцність пластин.

Крім того, Cd і Pb поліпшують травлення пластин. Fe при введенні в цинкові сплави також покращує механічні властивості але його вміст обмежений.

Отже, наявність легуючих елементів в цинкових сплавах забезпечує комплекс необхідних властивостей друкарських форм.

Вимоги до пластин, вони повинні мати:

- жорстко регламентований хімічний склад.
- рівну поверхню без механічних пошкоджень.

- дрібнозернисту однорідну структуру.
- рівномірну товщину.
- достатню механічну твердість і мінімальну крихкість.
- мають не утворювати тріщин при згинанні.
- геометричні розміри, що жорстко відповідають стандартам.

При виготовленні кліше цинкові пластини нагрівають до температури $t = 200 - 250^{\circ}\text{C}$. Кристали цинку при цьому збільшуються, а це приводить до того, що пластини стають крихкими і знеміцнюються.

Внаслідок зростання кристалів цинкові пластини мають тиражестійкість лише 25 – 30 тис. відбитків.

Крім того, температурний вплив на цинкові пластини призводить до того, що вони змінюють свою форму, а це і впливає на точність накладання фарби, особливо при багатофарбовому друці.

Тому замість цинкових пластин найчастіше використовуються *мікроцинкові пластини* для виготовлення кліше.

Мікроцинк відрізняється однорідною дрібнозернистою структурою. Мікроцинк виготовляють з чистого цинку, в якому є незначні кількості магнію і алюмінію.

Домішки магнію і алюмінію, що додаються при металургійному переплаві, створюють однорідну і дрібнозернисту структуру; вони є центрами (модифікаторами) кристалізації.

Одержання дрібнозернистої однорідної структури значно підвищує тиражесійкість металевих форм.

На мікроцинкових пластинах можна одержати дрібні і дуже чіткі зображення.

Крім того, у порівнянні з цинковими пластинами, вони дуже зручні у роботі: легкі, гнучкі, дуже швидко і рівномірно піддаються травленню.

Контрольні питання:

1. Як класифікуються конструкційні сталі?
2. Що таке сталі звичайної якості?
3. Що таке якісні сталі?
4. Що таке високо- і особовисокоякісні сталі?
5. Які сталі застосовуються для деталей друкарських машин?
6. Як маркуються сталі?
7. Назвіть способи виготовлення моно- і біметалевих пластин для офсетного друку.
8. Назвіть вимоги до алюмінієвих пластин.
9. Які алюмінієві сплави застосовуються для виготовлення форм високого і глибокого офсетного друку.
10. Які найефективніші зміцнювачі алюмінієвих сплавів?
11. Як маркуються алюмінієві сплави?
12. В чому полягає підготовка поверхні пластин?
13. Що таке механічна і електрохімічна обробка пластин?
14. Які технологічні режими знежирювання поверхні?
15. Як виконується операція електрохімічного зерніння поверхні пластин?
16. Що таке оксидування поверхні формних пластин?
17. Опишіть процес наповнення оксидної плівки?
18. Назвіть вимоги до цинкових пластин.
19. Яка структура і властивості цинкових пластин для виготовлення кліше?
20. Яка структура і властивості мікроцинкових пластин для виготовлення кліше?

Розділ 3. Композиційні (порошкові) матеріали для вузлів поліграфічних машин як альтернатива литим сплавам.

3.1. Композити для високообертових вузлів поліграфічного обладнання

При роботі високошвидкісних друкарських машин на вузли тертя офсетних, друкарських, формних циліндрів та ін. діють високі швидкості обертання та динамічні навантаження, внаслідок чого з'являються тріщини, поломки та зношування вузла тертя. Величина навантажень роботи таких вузлів становить понад 3 МПа і швидкості обертання до 5000,0 об./хв.

Тривала робота таких вузлів призводить до нагрівання контактних поверхонь при високих швидкостях і питомих тисках. Такі умови викликають деструкцію пластичного змащувального мастила, збільшення розмірів втулки підшипника, що зазвичай виготовлений з литої з латуні, внаслідок термічного розширення і, як наслідок, призводять до втрати її функціональних властивостей.

Серед антифрикційних композиційних матеріалів, призначених для важких умов експлуатації та містять тверді мастила, матеріали на основі міді, зокрема, латуні, полімери та кераміка ($\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiC}/\text{CaF}_2$, $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{CaF}_2/\text{AgO}/\text{CaF}_2$) добре відомі.

Відомі литі та порошкові матеріали на основі міді демонструють незадовільні триботехнічні властивості, такі як високий коефіцієнт тертя та інтенсивність зношування у важких умовах тертя у вузлах тертя офсетних, друкарських, формних циліндрів. Це також стосується втулок з литої латуні, що використовуються в даний час у вузлах поліграфічних машин, наприклад, у вузлах рулонних газетних машин типу Solna D390 та Solna D480 (Швеція).

У різних країнах опорні втулки для подібних вузлів тертя виготовляються з простої латуні марки Л63 (українського виробництва, ГОСТ 15527-2004), що відповідає європейським маркам латуні CuZn36 та

CuZn37 (BS EN 1652-98), або американській латуні марки /B36M та ASTM B 248M-96).

Проте застосування литих латунних втулок у зазначених умовах роботи високооберткових вузлів малоефективне.

Це пов'язано з тим, що за високих швидкостей обертання змащувальне мастило викидається із зони тертя відцентровими силами. Зони контакту залишаються не захищеними. На поверхнях, що труться, температура може досягати 400-600⁰С в місцях контакту між опорною втулкою і валом. У цьому випадку коефіцієнт тертя зростає та знос посилюється.

У той же час використання самозмащувальних матеріалів у вузлах тертя набуває все більшого значення. Серед іншого застосування підшипників ковзання та інших елементів тертя, що працюють без додаткового мастила, визначає покращення технологічного обслуговування машин.

В цьому випадку опорні втулки з композиційних матеріалів дуже перспективні і є альтернативою литим втулкам.

Однією з головних завдань при розробці нових композиційних підшипникових матеріалів для високонавантажених машин є підвищення довговічності тертьових деталей шляхом застосування, зокрема, твердих мастильних компонентів для роботи в умовах високих швидкостей і навантажень.

Високі антифрикційні властивості, здатність працювати при сухому терті, високі фізичні властивості сприяють продовженню терміну експлуатації важконавантажених самозмащувальних підшипників, виготовлених з композиційних матеріалів для вузлів поліграфічного обладнання.

Тому нещодавно було розроблено нову технологію виготовлення і досліджено її вплив на формування структури та комплексу властивостей

нових антифрикційних композитів на основі міді як альтернативи литим мідним сплавам, що нині використовуються у вузлах друкарської техніки.

Отримані позитивні результати дозволили рекомендувати нові композиційні втулки підшипникові на основі міді для високооберткових вузлів тертя.

Встановлено, що механізм зношування композитних підшипників залежить значною мірою від характеристик плівок тертя, так званих вторинних структур, що формуються під час роботи контактної пари в умовах тертя без змащування рідким мастилом, і чинять визначальний вплив на весь процес роботи високошвидкісного вузла тертя.

При дослідженнях як основу нових самозмащувальних матеріалів для втулок підшипників було обрано порошок міді.

Такий вибір був зумовлений насамперед *високою теплопровідністю* матеріалів на основі чистої міді, на відміну від латуні. Це дуже важливий фактор для реалізації можливості відведення тепла із зони тертя при нагріванні контактних поверхонь у процесі роботи.

Жодне рідке мастило не здатне працювати у важких умовах експлуатації (високі швидкості та навантаження) у вузлах тертя вище зазначених машин.

Тому надзвичайно важливо захистити поверхні тертя від підвищеного зношування та адгезії.

Численні дослідження показують, що використання твердих мастил в антифрикційних композиційних матеріалах є надзвичайно ефективним. Відомі більше 100 видів твердих мастил, що мають своє застосування залежно від умов роботи композиту. Це сульфіди, селеніди, фториди, халькогеніди (бінарні системи з халькогенами - елементами 6 групи -S, Se, Te, Po) і ін.

Відомі тверді мастила – клас фторидів (BaF_2 , CaF_2 , LiF , KF , AlF_3 та ін.), що є максимально ефективними саме у жорстких умовах експлуатації матеріалів – при високих швидкостях, температурах або навантаженнях.

Таким чином, об'єктом дослідження є новий композиційний матеріал на основі міді, легований нікелем та молібденом, з добавками твердого мастила CaF_2 (ДН5МЗКФ9), мас. %: 83Cu–5Ni–3Mo–9CaF₂.

Зразки було виготовлено методами порошкової металургії. Вихідними матеріалами були такі порошки: мідь (60-63 мкм), нікель (10 мкм), CaF_2 після просушування при температурі 120°C протягом 1 год. (100 мкм) і порошки молібдену (60-63 мкм).

Після просіювання порошків вихідну шихту готували в три етапи: 1-етап змішування металевих порошків Cu, Ni і Mo протягом 1,5 год.; 2-етап "сухе" змішування порошків металів та CaF_2 протягом 1,5 год.; 3-етап "мокре" змішування суміші з додаванням гліцерину протягом 1 год. Триступінчасте змішування дозволяє уникнути сегрегації порошків.

У дослідженнях використовувалася технологія холодного пресування з наступним гарячим пресуванням для мінімізації пористості. Холодне пресування проводили при кімнатній температурі та питомому тиску 350 - 400 МПа. Пористість зразків після холодного пресування становила 12-15%. Далі виконувалася операція гарячого пресування при температурі $T = 820 - 870^\circ\text{C}$ та питомому тиску 500 МПа в атмосфері захисного газу (H_2). Відносна густина зразків після гарячого пресування становила 0,98-0,99.

Структура вивчалася за допомогою металографічного та растрового електронного мікроскопа, фторид кальцію в матриці ідентифікували із застосуванням скануючої електронної мікроскопії (SEM) та аналізували з використанням методу енергодисперсійної рентгенівської спектроскопії (EDS). Крім того, зображення SEM використовувалися для кількісного опису CaF_2 у композиті. Кількість CaF_2 була попередньо оцінена з використанням мікрометричного програмного забезпечення. Триботехнічні випробування

проводились на випробувальній машині тертя ВМТ-1. Параметри триботехнічних випробувань такі: V до 5000,0 об./хв.; P до 5,0 МПа; контртіло зі сталі 40Х ($C = 0,4\%$, $Cr = 1,0$) з твердістю $HRC = 53-55$; рідке мастило для литих латунних сплавів (мастило ГОІ-54). Зазначені параметри відповідають роботі підшипникових втулок у реальних умовах.

Використання операції гарячого пресування забезпечує повноту дифузійної гомогенізації матеріалу. Це зводить до мінімуму пористість, і таким чином збільшує структурну міцність матеріалу на основі міді, наближаючи властивості композиційного матеріалу до характеристик литого сплаву.

Новий композиційний матеріал на основі міді $Cu-5\%Ni-3\%Mo-9\%CaF_2$ (ДН5МЗКФ9) має складну гетерогенну структуру після виготовлення з використанням розроблених технологічних режимів (рис. 3.1).

Металографічні дослідження матеріалу показали, що його структура є α -твердий розчин на основі міді, легований нікелем і молібденом, з включеннями твердого мастила CaF_2 . Крім того, в металевій матриці присутня велика кількість дрібнозернистих зміцнювальних інтерметалідних фаз Ni_3Mo (рис. 3.1, показано стрілками).

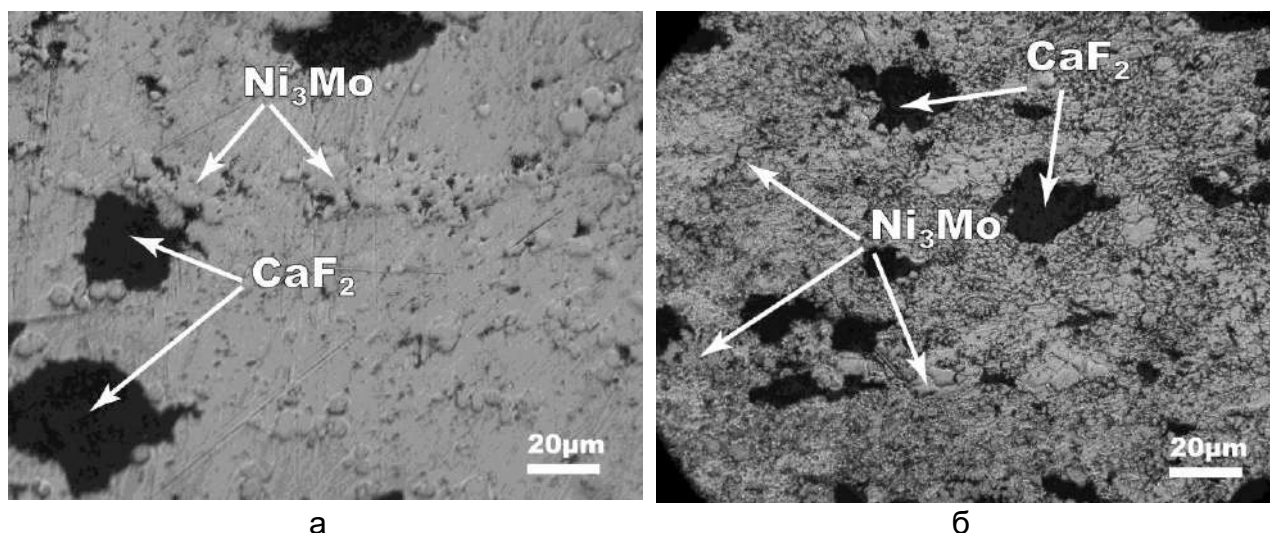


Рисунок 3.1. Мікроструктура композиційного матеріалу $Cu-5\%Ni-3\%Mo-9\%CaF_2$ (ДН5МЗКФ9): а – шліф нетравлений; б – шліф травлений

Присутність легуючих елементів Ni і Mo, зміцнюючих металеву матрицю - α -твердий розчин на основі міді, утворення зміцнюючих фаз Ni_3Mo і рівномірний розподіл твердого мастила (CaF_2) забезпечують високі фізичні і триботехнічні властивості композиційного матеріалу (табл. 3.1).

Таблиця 3. 1 Властивості композитів і литих матеріалів на основі міді

Матеріал	Теплопровід- ність, λ , Вт/м $\times K$,	Швидкість обертання, об./хв.	Коефіцієнт тертя, f	Лінійний знос зразка, мкм/км	Втрата маси контртіла, мг/км	Примітка
ДН5МЗКФ9	226,0–278,0	1000–3000	0,16–0,17	37,0–43,0	-0,8*	Тертя без рідкого мастила; на поверхні присутні плівки тертя
теж	теж	2000–3000	0,19–0,21	44,0–53,0	-1,4*	
теж		4000– 5000	0,22–0,25	72,0–87,0	-2,8*	
Латунь Л63 (лита)	97,0–111,0	1000–2000	0,13–0,14	90–120	+3,3	Тертя з рідким мастилом, мастило викидається із зони тертя
теж	теж	2000–3000	0,42–0,57	1240–1430	+5,1	
Латунь Л63 (лита) теж	теж	4000– 5000	Інтенсивний знос, Пластична деформація			

* Знак «мінус» означає збільшення маси контртіла внаслідок перенесення твердого мастила на його поверхню

Аналізуючи дані табл. 3.1 видно, що новий композиційний підшипниковий матеріал на основі міді з твердим мастилом CaF_2 має більш високі триботехнічні властивості в порівнянні з характеристиками литої латуні Л63.

Крім того, новий матеріал має більш високу теплопровідність. Цей фактор дуже важливий для можливості відведення тепла із зони тертя.

Композиційний самозмащувальний матеріал здатний функціонувати за важких умов роботи при швидкостях обертання до 5000 об./хв. і навантаженнях до 5,0 МПа у вузлах друкарських машин без змащування рідким мастилом.

В результаті проведених досліджень встановлено, що новий композиційний матеріал Cu-5%Ni-3%Mo-9%CaF₂ (ДН5МЗКФ9) має більш високі антифрикційні властивості і ефективно працює в більш важких умовах, ніж лита латунь Л63, що застосовується в даний час.

Розроблений матеріал має набагато нижчий коефіцієнт тертя та інтенсивність зношування, ніж у литої латуні Л63, що працює в аналогічних умовах експлуатації.

Латунні опорні втулки у вузлах тертя офсетних, друкарських, формних циліндрів не забезпечують стабільну та довговічну роботу вузлів тертя, особливо у важких умовах експлуатації.

Це пов'язано з неефективністю мастила, яке викидається із зони контакту при високих швидкостях обертання відцентровими силами. У таких умовах литі підшипники працюють у режимі сухого тертя - контакту підшипника з валом, оскільки поверхні тертя залишаються незахищеними, ювенільними.

На відміну від литої бронзи, тертя нового матеріалу ДН5МЗКФ9 супроводжується утворенням безперервної однорідної плівки тертя (трибоплівки), що добре видно на поверхнях тертя.

Така плівка працює як мастильний шар між втулкою та валом та покращує антифрикційні властивості.

Результати триботехнічних випробувань та аналіз контактних поверхонь показують, що швидкість зношування композиційного матеріалу відповідає швидкості утворення плівок тертя в діапазоні швидкостей обертання 1000-5000 об./хв. і навантажень до 5,0 МПа.

Наслідком є стабільно високі антифрикційні характеристики у важких умовах експлуатації. Композиційний самозмащувальний матеріал здатний функціонувати при важких умовах роботи без рідкого мастила на відміну від литої латуні.

А його висока теплопровідність дозволяє відводити тепло із зони контакту, що підвищує довговічність та стабілізує роботу вузлів тертя офсетних, друкарських, формних циліндрів високообертових поліграфічних машин.

3.2. Композити для важконавантажених вузлів поліграфічного обладнання

Високі темпи розвитку поліграфічної галузі вимагають від конструкторів-розробників та технологів поліграфічної техніки створення таких машин, які мають забезпечити високі вимоги до параметрів їх надійності і, в першу чергу, до високої зносостійкості, довговічності та ремонтоздатності.

Однією з головних проблем розвитку галузі поліграфічного машинобудування України є безперервне підвищення параметрів якості, надійності, зносостійкості та довговічності друкарської техніки, що залежить від якості деталей і конструктивних елементів такої техніки.

Невпинно збільшуються швидкості робочих органів, коли швидкості обертання деталей пар тертя сягають рівня 800 – 1000 об./хв. і вище, а навантаження зростає до 5,0 – 7,0 МПа. Це призводить до виникнення на робочих поверхнях тертя температур від 300 до 500 °С, що створює екстремальні умови для експлуатації друкарських машин.

Такі умови вимагають спеціальних підходів для забезпечення надійності роботи такої техніки і підвищення ремонтоздатності.

Так, за даними найбільшого в Україні Державного видавництва «Преса України» термін роботи підшипників ковзання з литої бронзи БрАЖ9-4 складає лише 0,5 – 1,0 рік у вузлах тертя друкарських машин KBA Rapida – 105, “PLAMAG Rondest RO 170”, “STAR BINDER 1509” та ін., які працюють при високих швидкостях обертання та підвищених навантаженнях. Такий строк служби пов'язаний з недосконалістю існуючих технологій

виготовлення підшипників ковзання та їх наступної фінішної механічної обробки.

Вимоги до високої якості поверхонь деталей тертя друкарського обладнання постійно зростають. Це обумовлено безперервним підвищенням важливих експлуатаційних параметрів поліграфічної техніки і, в першу чергу, зростанням термінів служби деталей, механізмів і у цілому машин.

Для забезпечення цих вимог у сучасних поліграфічних машинах набули широкого застосування різного роду деталі, що виготовляють з високолегованих зносостійких антифрикційних композиційних матеріалів на основі штампових і інструментальних сталей, кольорових металів – міді, нікелю та алюмінію.

Останнім часом були синтезовані нові підшипникові композиційні матеріали на основі шліфувальних відходів легованих інструментальних сталей 11P3AM3Ф, 7XГ2BMФ та інших з домішками твердого мастила CaF_2 для суттєвого збільшення строків *експлуатації вузлів тертя ротаційних друкарських машин*

Ці композити створені науковцями лише нещодавно. Основною рисою їх є те, що вони синтезовані на основі промислових шліфувальних відходів легованих штампових і швидкорізальних сталей таких, як 11P3AM3Ф, та 7XГ2BMФ, які містять у своєму складі такі гостродефіцитні для України матеріали як вольфрам, ванадій, молібден, іридій, титан, хром, мідь, та ін.

Шліфувальні металеві відходи утворюються на операціях шліфування конструкційних деталей, інструменту тощо. Такі відходи забруднені абразивними частинками від шліфувальних кругів і компонентами мастильно-охолоджуючих рідин. Тому вони відвозяться у відвали у великих кількостях і не використовуються у повторному виробничому циклі.

Втім наявність в таких шліфувальних відходах цінних легуючих елементів робить їх привабливими для застосування як цінну, дешеву і доступну сировину.

Тому нещодавно було розроблено технологію синтезу нових композитних підшипників з утилізованої сировини, що включала комплексну технологію регенерації таких відходів.

Як показали дослідження, розроблені композитні підшипники на основі шліфувальних відходів здатні успішно експлуатуватись при швидкостях обертання до 1000 об./хв. і питомих тисках 5 - 7 МПа. При цьому аналіз процесів тертя показав, що швидкість зносу поверхонь тертя визначається вихідними параметрами якості робочих поверхонь.

Технологія виготовлення композитів наступна. Компоненти шихти – відходи, зокрема, сталі 11РЗАМЗФ та порошки CaF_2 – змішували в банковому змішувачі протягом 4 год. та піддавали пресуванню при тисках 700-900 МПа.

У результаті пресування композиційних сумішей були одержані пресовки, що мали пористість 20-22%.

Пресування при тисках менших за 700 МПа призводило до одержання пористості в межах 34-36 % й майже повної втрати цілісності брикетів, а при тисках більше 900 МПа відбувалося розшарування пресовок, пов'язане з різницею густини вихідних компонентів шихти.

Після пресування проводили спікання зразків матеріалів у муфельній печі у середовищі висушеного водню (точка роси становить -40°C).

Дослідження впливу умов спікання проводили в інтервалі температур 800-1200 $^\circ\text{C}$. Було встановлено, що спікання доцільно проводити за температур 1100-1150 $^\circ\text{C}$, які забезпечують одержання максимальної щільності (після спікання пористість становила 11-13%) й високого рівня механічних властивостей.

В результаті розроблених режимів технологічних операцій виготовлення в матеріалі середнього складу 11РЗМЗФ2 + 5% CaF₂ утворилась складна гетерогенна структура, що складається з металевої матриці та розподілених в ній частинок твердого мастила CaF₂, зображення якої наведено на рис. 3.2.

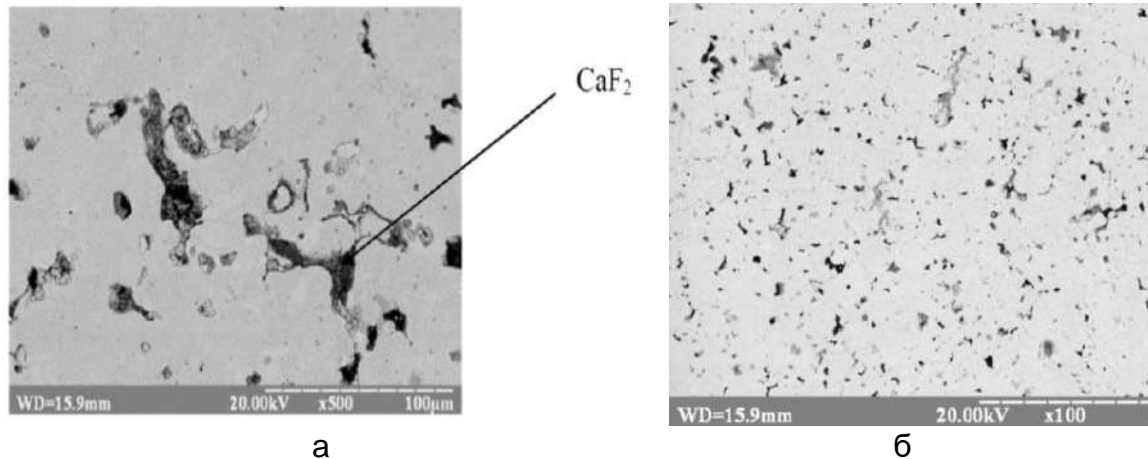


Рисунок 3.2: Зображення мікроструктури композиту на основі шліф-відходів 11РЗМЗФ2 + 5% CaF₂, нетравлений шліф, (а) електронна мікроскопія; (б)- оптична мікроскопія

Легувальні елементи утворюють ряд складних карбідів, що описуються формулами Me₂₃C₆, Me₂C, Me₆C і MeC (рис. 3.3, 3.4).

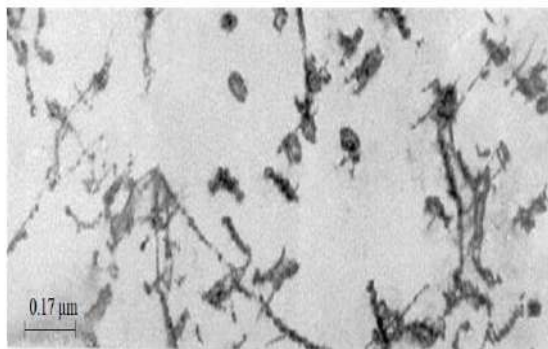


Рисунок 3.3. Карбіди Mo₂C в металевій матриці

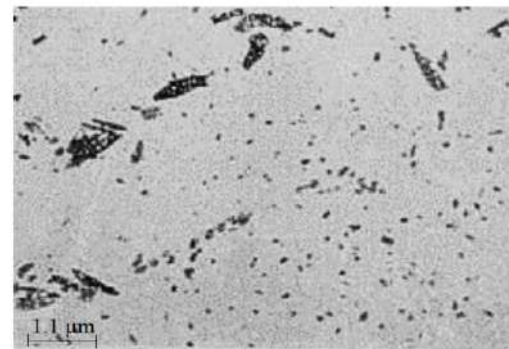


Рисунок 3.4. Карбіди (Fe, Cr)₂₃C₆, VC та (Fe, Cr, Mo)₆C в металевій матриці

Сформована структура композиту (рис. 3.2) забезпечила формування властивостей, представлених у табл. 3.2.

Таблиця 3.2. Властивості досліджених композитів на основі шліфувальних відходів

Склад, мас. %	Міцність на згин, σ_{zg} , МПа	Ударна в'язкість, КС, Дж/м ²	Твердість НВ, МПа	Коефіцієнт тертя/інтенсивність зношування, мкм/км (при 1000 об./хв.)	Максимально допустиме навантаження, МПа
11РЗМЗФ2 + 4 CaF ₂	590–630	650–680	2590–2640	0.18/41	7
11РЗМЗФ2 + 6 CaF ₂	570–620	630–670	2570–2630	0.16/39	7
11РЗМЗФ2 + 8CaF ₂	560–600	620–640	2550–2620	0.17/42	7
Fe+3C +15 Мо (ЖГрЗМ15)	240–300	350–520	850–950	0.31/176	1.5

Аналіз результатів досліджень, які наведено у табл. 3.2, показує, що нові композити мають набагато вищі механічні і антифрикційні властивості, і здатні працювати при високих швидкостях та навантаженнях в режимі самозмащення у порівнянні з відомою маркою залізографіту, що використовується у аналогічних умовах.

Режим самозмащення забезпечується завдяки утворенню антизадирних змащувальних плівок на робочих поверхнях контакту, які є носіями високих антифрикційних властивостей.

Для забезпечення стабільного формування самозмащувальних плівок антифрикційні деталі піддають тонкій механічній обробці робочих поверхонь.

Було розроблено і відпрацьовано технологічні режими такої прецизійної обробки методами абразивного шліфування.

Це забезпечило високі параметри якості поверхонь, що, у свою чергу, сприяло істотному збільшенню зносостійкості нових композитних деталей для друкарської техніки.

Про тонкі методи оброблення детально викладено у курсі «Методи досліджень та обробки у видавництві та поліграфії».

Нові композити пройшли всебічну перевірку в умовах жорстких умов експлуатації (швидкості обертання до 1000 об./хв., навантаження до 5 – 7 МПа, кисень повітря, виробничий пил з абразивною властивістю) і зараз рекомендовані для виготовлення деталей тертя у найсучасніших поліграфічних комплексах фірми Koenig&Bauer AG (Німеччина), а саме KBA Rapida – 6+L–TT–L (шестифарбова з двома лаковими секціями) і KBA Rapida 75–4, струминних принтерів Océ Arizona 6170 XTS фірми Canon (США), паперорізальних машин WOHLBERG Trim-tec 560, обладнання для висікання Drossert ST-6 (Німеччина) тощо.

Відомо, що зносостійкість деталей, як один із головних параметрів надійності обладнання, суттєво *залежить від параметрів якості поверхонь тертя* (шорсткість, фізичні властивості поверхневого шару, геометрична точність), які формуються на *фінішних операціях тонкого абразивного оброблення*.

В останні роки науковці виконали ряд досліджень по вивченню надтонких методів абразивного оброблення новітніх високозносостійких композитів.

В них основна увага була присвячена встановленню основних закономірностей впливу технологічних факторів оброблення (режими різання, склад та зернистість абразивного інструменту, склад мастильно-охолоджувальних рідин, метод обробки) на параметри шорсткості, ступінь та глибину наклепу, рівень і знак залишкових напружень.

Втім питання геометричної точності, які впливають на характер зношування деталей не у меншому ступені, ніж фізичні властивості поверхневого шару композиту, який має бути оброблений методами абразивного шліфування є важливим науково-практичним завданням.

Тому були проведені **дослідження точності обробки** композитних антифрикційних деталей при шліфуванні із застосуванням засобів активного контролю є актуальною задачею, що має як наукове так і, що не менш важливо, практичне значення.

При аналізі сумарної похибки деталей Δ_{Σ} , зазвичай, виділяють такі складові, як похибка обробки $\Delta_{обр}$, похибка установки деталі $\Delta_{уст}$ та похибка базування $\Delta_{баз}$.

При використанні засобів контролю в ході процесу абразивного оброблення деталей, безумовно, корисним є додаткове виділення похибки вимірювання $\Delta_{вим}$, при цьому доцільним є підкреслити, що в даному випадку трактування та значимість похибок обробки, вимірювань та встановлення будуть трохи іншими, а похибка базування залишається незмінною і у даній роботі не розглядається.

Похибка оброблення. Більшість існуючих приладів активного контролю базується на двоконтактній схемі вимірювань.

При контролі цими приладами на розміри деталей, що оброблюються, не впливають температурні і пружні деформації системи «верстат – пристрій – інструмент – деталь», розмірне зношування інструменту та налаштування верстату на певний розмір.

У цьому випадку на розміри деталей (як і раніше) впливають їх температурні деформації і додається вплив запізнення відводу шліфувального круга та форми оброблюваної поверхні деталі.

Отже, при активному контролі (**в ході процесу абразивного оброблення поверхонь деталей**) приладами, що базуються на двоконтактній схемі вимірювань, маємо

$$\Delta_{обр} = \Delta_{т.д.} + \Delta_z + \Delta_{\phi}, \quad (1)$$

де $\Delta_{т.д.}$ – температурні деформації деталей;

Δ_z – похибка розмірів деталей, що залежить від запізнення відводу шліфувального круга;

Δ_ϕ – похибка розмірів деталей, пов'язана з формою поверхонь оброблення.

Як показали численні дослідження, температурні деформації деталі при шліфуванні з застосуванням контролю в процесі оброблення за звичай складають значну частку загальної похибки обробки.

Як видно з точкових діаграм (рис. 3.5), криві відхилень розмірів деталей від рівня налаштування та криві їх температурних деформацій добре узгоджуються.

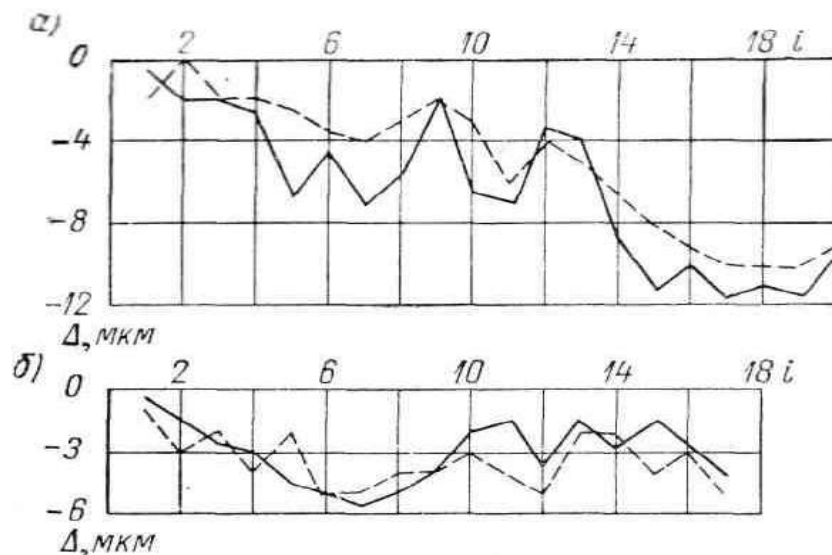


Рисунок 3.5. Точкові діаграми: а) при врізному шліфуванні деталі з композиту 86Х6НФТ ($D = 60$ мм); б) при поздовжньому шліфуванні композитної деталі з високолегованого композиту на основі відходів сталі 86Х6НФТ; ----- – відхилення розмірів; ————— – температурні деформації деталей

Корисно зазначити, що при контролі у процесі оброблення вплив температурних деформацій деталей відбувається у дещо більшому ступені, ніж при шліфуванні з пробними вимірами що за час цих вимірювань деталей встигає частково охолонути.

З цієї ж причини температурні деформації при врізному шліфуванні (рис. 3.5 а) більші, ніж при поздовжньому шліфуванні (рис. 3.5, б).

Температурні деформації деталей залежать від багатьох факторів. Цим пояснюється відсутність достатньо повних аналітичних залежностей для їх розрахунків.

Тому розрахунки температурних деформацій деталей з високолегованих композитів, що мають бути прошліфовані, на сьогодні практично неможливі.

Передбачуване їх зменшення за рахунок зниження режимів різання веде до небажаного зменшення продуктивності праці.

При використанні приладів контролю у процесі обробки температурну деформацію деталі достатньо просто можливо визначити експериментально.

Для цього необхідно у момент надання приладом кінцевої команди на відвід шліфувального круга зафіксувати фактичне показання по шкалі приладу в подальшому, не відводячи скобу приладу від деталі, уважно слідкувати за змінами показників по шкалі лімбу до повного її охолодження.

Час охолодження деталі (під дією мастильно-охолоджувальної рідини, що застосовується при шліфуванні) складає усього декілька хвилин.

Досліди показали, що в більшості випадків *найбільш сильний вплив на температурну деформацію деталей здійснює зміна ріжучої здатності шліфувального круга* за весь період його стійкості, особливо при внутрішньому шліфуванні.

Зазвичай, стабільність ріжучої здатності досягається шляхом правки шліфувального круга, але і в цьому випадку розсіювання температурних деформацій деталей у партії оброблення повністю виключити практично неможливо.

Тому періодичне регулювання приладу для компенсації систематичної складової температурних деформацій деталей у партії повинно відбуватися по результатам вимірювань температурної деформації не одної, а декількох деталей з партії.

Похибка розмірів деталей, що залежить від запізнення відводу шліфувального круга, в ході реалізації процесу різання веде себе по різному при поздовжньому та врізному шліфуванні.

При поздовжньому шліфуванні закінчення оброблення після досягнення певного заданого розміру у якомусь перерізі повинно відбуватися не миттєво, а лише у кінці робочого ходу. Від того, що в цьому випадку зрізання металу відбувається пошарово, то при черговій поперечній подачі можливо випадково «проскочити» рівень розмірного регулювання.

Отже, похибка від запізнення буде визначатися величиною фактичної поперечної подачі на останній робочий хід шліфувального круга.

При врізному шліфуванні закінчення шліфування (відвід шліфувального круга) повинно відбуватися миттєво по досягненню заданого розміру (рівня налаштування). Проте, дослідями встановлено, що виконання команди приладу на відведення круга відбувається з деяким запізненням; похибка розміру у даному випадку дорівнює: $\Delta_z = St_z$, де S – швидкість зрізання припуску у кінці циклу шліфування; t_z – час запізнення, с.

Час запізнення (для створення прийнятих умов аналізу) можливо визначати сумою з чотирьох складових $t_{обр} = t_{з.с.} + t_{з.п.} + t_{з.к.} + t_{з.ф.}$, де $t_{з.с.}$ – час запізнення, пов'язаний зі схемою вимірювання деталі; $t_{з.п.}$ – час запізнення, пов'язаний з передаточними властивостями механізму приладу; $t_{з.к.}$ – час запізнення при виконанні кінцевої команди; $t_{з.ф.}$ – час запізнення, пов'язаний з формою поверхні, яка оброблюється.

Час запізнення ($t_{з.с.}$) пов'язаний зі схемою вимірювання деталі, обумовлюється тим, що вимірювання з допомогою більшості приладів для круглого внутрішнього і зовнішнього шліфування здійснюють так, що місця контакту з деталлю вимірювальних наконечників і шліфувального круга

зміщені один відносно другого на 90° . Тому $t_{з.н.} = \frac{15}{n}$ с, де n – кількість обертів деталі за хвилину.

Час запізнення ($t_{з.п.}$) пов'язаний з передаточними властивостями механізму приладу, практично відсутній у *безінерційних приладах* (індуктивних, ємкісних та електроконтактних).

Для *інерційних (пневматичних)* приладів час запізнення визначається на основі їх фазочастотних характеристик. Дослідження пневматичних приладів BWI–1096 фірми Bruel and Kerr (Данія) показало, що цей час не перевищує значень у межах 0,05 с (при найбільш часто розповсюджених випадках шліфування, коли кількість обертів деталі лежить у межах 95 – 100 об/хв).

Час запізнення ($t_{з.к.}$) при виконанні кінцевої команди визначається від моменту замикання контактів кінцевої команди до моменту відведення шліфувального круга і цілковито залежить від конструкції механізму відведення круга та типу його магніту.

Досліди, що були проведені на прецизійному верстаті для зовнішнього круглого шліфування AS–250 «Werkzajt» (ФРН) та прецизійному внутрішньому шліфувальному верстаті надвисокої точності SS–125 «Studder» (Швейцарія), показали, що цей час знаходиться у межах 0,15 – 0,20 с, коли магніт обезструмлюється, і 0,25–0,30 с, коли магніт живеться електричним струмом.

При наявності дефектів форми (наприклад, овальності) деталі відбувається періодичне розмикання та замикання контактів.

Тому необхідно протягом певного часу $t_{з.ф.}$ зрізати додаткові шари з поверхні композитної деталі тертя, щоб час замикання контактів кінцевої команди був більшим за час спрацювання команди.

Часом спрацювання $t_{сп.}$ названо той мінімальний час сигналу, який є необхідним для спрацювання механізму зупинки процесу шліфування.

У більшості випадків $t_{з.ф.}$ веде не до зменшення точності, а до зниження продуктивності шліфування, що є зовсім не позитивною ознакою процесу оброблення високолегованих важкооброблюваних композитних матеріалів.

Похибка розмірів деталей, пов'язані з формою поверхні оброблення.

При шліфуванні, як і при інших методах обробки з ряду причин не безпідставно виникають похибки форми, тому розміри у різних перерізах будуть дещо відрізнятися один від одного.

За дійсний (розрахунковий) розмір деталі, як за звичай, приймається середнє значення між найбільшим та найменшим її розмірами.

Існує припущення, що спрацювання приладу відбувається при найменшому розмірі зовнішніх поверхонь і найбільшому розмірі внутрішніх.

У такому випадку похибка розміру деталі (внаслідок впливу на неї форми) буде дорівнювати половині похибки форми.

Проте це положення може бути справедливим у тому випадку, коли час спрацювання дорівнює нулю.

Як показали досліді, час спрацювання є співрозмірним з періодом коливань вимірювальних губок внаслідок похибки форми; так, для пневмоелектричних блоків BWI–1096 воно було на рівні значень 0,04–0,05 с.

При поздовжньому шліфуванні певний час спрацювання відповідає певному неспівпадінню середнього розміру деталі і рівня налаштування на

величину $\Delta_{\phi} = \frac{K}{2} \cos \pi \cdot Z n t_{cp}$, що викликає зміщення центру групування розмірів деталей у партії зі знаком плюс (при шліфуванні зовнішніх поверхонь) і зі знаком мінус (при шліфуванні внутрішніх поверхонь).

У цій формулі n і Z відповідно число обертів деталі в хвилину та число хвиль на одному оберті, K – похибка форми (для інерційних приладів необхідно враховувати їх амплітудно-частотні характеристики).

При врізному шліфуванні з малими подачами вплив похибки форми на розмір деталі буде практично таким же, як і при поздовжньому шліфуванні.

При більших значеннях подач, коли $S \geq \pi \cdot Z \cdot n \cdot K$, незалежно від часу спрацювання керуючого сигналу, похибка форми (овальність) не суттєво впливає на розмір деталі.

Похибка вимірювання. Прилади контролю ходу процесу оброблення, які були досліджені в ході виконання даної роботи, є відносними приладами командної дії.

Це є ознакою того, що перед початком шліфування партії деталей, прилад налаштовується по зразковій (еталонній) деталі на необхідний розмір (рівень налаштування), а в ході процесу обробки основною задачею приладу є надання команди на закінчення шліфування після досягнення розрахованого і налаштованого рівня наладки. Команда може бути отримана візуально по певному показнику шкали вимірювання чи автоматично шляхом включення – розімкнення контакту датчика.

Вочевидь, що як і до візуального методу оцінки показника приладу, так і до автоматичного включення - розімкнення контакту датчика повинні висуватися абсолютно однакові вимоги.

Прилади, що розглядаються, принципово відрізняються від універсальних, хоча і мають допоміжну шкалу, яка дозволяє полегшити їх налаштування, установлення припуску на виходжування та спостереження за ходом технологічного процесу обробки. Тому і критерії оцінки точності цих приладів повинні бути дещо іншими.

Аналіз літературних та технічних паспортів приладів показав, що на сьогодні немає загальноприйнятих врівноважених необхідних та достатніх критеріїв оцінки точності вимірювання приладами контролю в процесі обробки.

Було запропоновано ряд основних критеріїв для *оцінки похибки вимірювання для технологічних процесів абразивного шліфування деталей тертя поліграфічних машин*, які виготовлені зі зносостійких

високолегованих композитів на основі відходів штампових та інструментальних сталей.

Варіація спрацювання – величина розсіювання $6\sigma_c$ вимірювання показника при багаторазовому спрацюванні приладу і його незмінному налаштуванні.

Варіація налаштування – величина розсіювання $6\sigma_n$ вимірювання при багаторазовому налаштуванні приладу на один і той же розмір.

Зміщення налаштування – відхилення від рівня налаштування реального значення величини вимірювання Δ_{cm} з ходом часу.

Величини основних критеріїв точності універсальних шкальних приладів (похибка показань, варіація показань) здебільше визначають безпосередньо по шкалі самого приладу. Величина критеріїв точності приладів контролю у процесі обробки (командних приладів) необхідно визначати не по шкалі самого приладу, а значеннями величини показника, який вимірюється і продукує контрприлад. У цьому випадку контрприладом слід називати прилад для контролю і досліджень інших приладів загальної структури вимірювань.

Похибку вимірювання приладами контролю в процесі оброблення доцільно поділити на дві складові: $\Delta_{вим.} = \Delta_{нал.} + \Delta_{роб.}$, де $\Delta_{нал.}$ – похибка при налаштуванні; $\Delta_{роб.}$ – похибка при роботі приладу.

У процесі налаштування вимірювальної системи беруть участь: зразкова (еталонна) деталь, передавальний механізм приладу з рухомим контактом (механізм спрацювання), механізм наладки (наприклад, контакт для регулювання).

Тому варіація налаштування приладу є результатом похибки атестації зразкової (еталонної) деталі, яка оцінюється варіацією атестації $6\sigma_a$, нестабільності роботи механізму наладки та похибки, яка у значному ступені є суб'єктивним фактором (кваліфікація, фізичний стан робітника, що обслуговує систему вимірювання) і яка може бути оцінена варіацією

спрацювання $6\sigma_c$, нестабільності роботи механізму наладки та похибки, яка виникає при регулюванні вимірювальної системи робітником та оцінюється варіацією регулювання $6\sigma_p$.

Похибка кожного окремого елементу в принципі оцінюється випадковими та систематичними похибками, але досліді показали, що систематичні похибки є достатньо малими і ними можливо знехтувати. Отже,

$$\sigma_H = \sqrt{\sigma_a^2 + \sigma_c^2 + \sigma_p^2} \quad (2)$$

Варіації атестації можливо нехтувати, якщо вимірювати зразкові (еталонні) деталі приладами з ціною шкали 0,1 – 0,2 мкм.

Варіація спрацювання визначалась аналогічно, але вже при багаторазовому налаштуванні приладу на один і той же розмір.

У цьому випадку розсіювання показників контрприладу включає у свій склад і похибки механізмів регулювання та спрацювання.

Таким чином, внаслідок варіації налаштувань приладу відхилення може відповідати рівню регулювання σ_0 , а прийматилюбі значення у межах $6\sigma_n$ (на рис. 3.6 показано лише одне з можливих відхилень від рівня Δ_i), тобто

$$\Delta_{нал.} = 6\sigma_n.$$

При роботі верстатів положення налаштування не залишається постійним, а змінюється з ходом часу (крива 1) під впливом таких факторів, як зношування вимірювальних поверхонь приладу (крива 2) і кількість спрацювань контактів, прогрів електричного ланцюга, температурні умови та ін. (крива 3).

Найбільша різниця між різними зміщеннями налаштування $\Delta_{см.найб.}$ за певний проміжок часу (разом з варіацією спрацювання) буде становити характеристику похибки при роботі приладу.

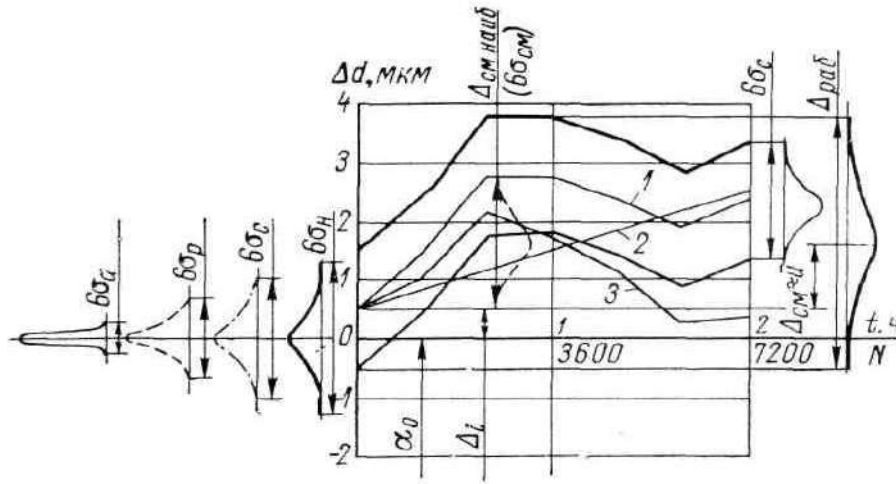


Рисунок 3.6. Зміщення налаштування вимірювального приладу під впливом різних факторів

У зв'язку з тим, що крива 1 носить випадковий характер, найбільше зміщення налаштування повинно характеризуватися положенням центру групувань налаштування $\overline{\Delta_{см}}$ та його розсіювання $6\sigma_{см}$, яке за аналогією позначимо варіацією зміщень.

Проте, практично положення центру групувань у значному ступені визначається тільки середнім зношуванням вимірювальних поверхонь контактів \overline{U} за певний період часу.

$$\Delta_{раб} = \overline{U} \pm 3\sqrt{\sigma_{см}^2 + \sigma_c^2} \quad (3)$$

Сумуючи похибки при налаштуванні приладу з похибкою при його роботі, можливо визначити максимально допустиму похибку вимірювань:

$$\Delta_{вим.пр.} = \overline{U} \pm 3\sqrt{\sigma_a^2 + \sigma_p^2 + 2\sigma_c^2 + 2\sigma_{см}^2} \quad (4)$$

Строго кажучи, всі вказані варіації повинні бути визначені при встановленні приладу на верстаті. Але в цьому випадку вони будуть залежати не тільки від якості самого приладу, а у якомусь ступені від умов

роботи шліфувального верстату (слід зауважити, що цю задачу вельми важко реалізувати).

Для оцінки якості безпосередньо самого приладу ці варіації необхідно встановлювати у лабораторних умовах.

Рис. 3.6 ілюструє дослідні дані, що отримані на контрприладі IKR–1–4R фірми Bruel and Kerr (Данія) з ціною ділення на шкалі 0,1 мкм при дослідженнях пневматичного приладу BWI–1096 фірми Bruel and Kerr (Данія) з ціною ділення шкали 1 мкм, які показують, що варіація налаштувань складає 2,3 мкм, похибка при роботі приладу у межах до 3 мкм, а максимальна похибка вимірювань складає 1,0 – 1,9 мкм.

Похибка встановлення. Похибкою встановлення називають похибку деталі, пов'язану зі змінами взаємного розташування деталі та вимірюваних щупів (контактів) приладу.

При одноразовій схемі вимірювань з одним вимірювальним щупом похибки встановлення можуть сягати значних величин, тому що в цьому випадку у вимірювальний розмірний ланцюг входять вузли верстату, які можуть витримувати значні температурні та силові деформації. Саме тому у більшості випадків недоцільно використовувати одноконтактні прилади і вони в подальшому у роботі не розглядаються.

При двоконтактній схемі вимірювання приладами з двома вимірювальними контактними щупами похибки встановлення, в основному, пов'язані з перекосами замикаючої лінії відносно поверхні оброблення, а також зі змінами розташування прямої лінії вимірювання відносно осі при контролі деталей обертання.

Слід зазначити, що під *замикаючою лінією* слід розуміти лінію, яка поєднує точки дотику вимірювальних контактних щупів з поверхнею деталі, яка у даний момент контролюється.

Тому похибка встановлення у цьому випадку у достатньому ступені може бути охарактеризована як варіація показань встановленого на верстаті приладу.

Досліди по шліфуванню *новітніх композитних матеріалів* на прецизійних шліфувальних верстатах показали, що варіація показань встановленого на верстаті приладу у значному ступені залежить від способу встановлення і закріплення приладу на верстаті.

На прикладі приладів для круглого зовнішнього шліфування видно, що (у порівнянні з варіацією показань на контрприладі) варіація показань на верстаті збільшується для накидних приладів типу АК-3 у 7 – 10 разів, а настільних приладів типу BWI–1096 – у 12 – 15 разів.

Таким чином, похибка встановлення може складати значну частину загальної сумарної похибки виготовлення деталі і питання встановлення приладів контролю в ході процесу оброблення мають велике значення.

При аналізі схем встановлення приладів для контролю в процесі шліфування новітніх композитів слід врахувати наступні критерії:

1) похибка встановлення, яка залежить від стабільності положення вимірювальної техніки;

2) зручність роботи, тобто зручність налаштування приладу на необхідний розмір, зручність обслуговування верстату, зручність при встановленні та знятті деталі тощо;

3) простоту конструкції;

4) кількість інформації, яка може бути отримана при вимірюванні деталі і, в залежності від якої, встановлено три методи контролю:

а) контроль в одній точці, коли вимірюється розмір в одному певному місці;

б) контроль по лінії (в одному перерізі), коли поряд з вимірюванням розміру можна визначити похибку форми як у поперечному, так і в поздовжньому напрямках.

У табл. 3.3 наведені схеми встановлення приладів для реалізації цих методів контролю на круглошліфувальних, внутрішньошліфувальних та плоскошліфувальних верстатах.

На схемах у табл. 3.3 знаком **×** позначені місця під'єднання приладів 1, а товстими лініями 2 умовно позначені встановлювальні пристрої.

На деяких схемах наведено декілька можливих варіантів під'єднання приладів в залежності від виду верстата, на якому встановлюється прилад (3 та 4).

З табл. 3.3 видно, що для контролю в одній точці прилад 1 повинен бути з'єднаним з пристроєм встановлення 2 деталлю вимірювання чи вузлом 3 верстату, з яким деталь жорстко пов'язана.

Для контролю по лінії прилад 1 повинен бути з'єднаним з встановлювальним пристроєм 2 з одним з тих вузлів 4 верстату, який відносно деталі не здійснює поздовжнього переміщення.

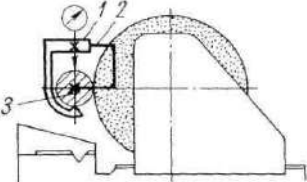
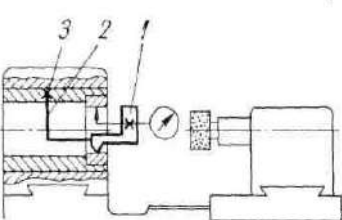
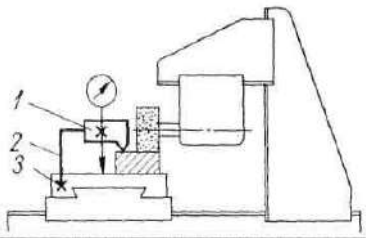
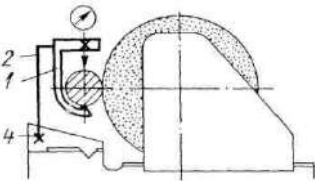
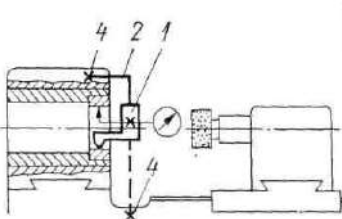
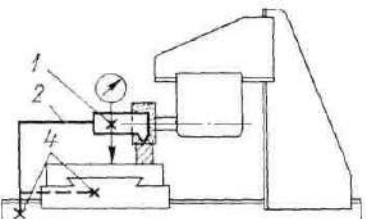
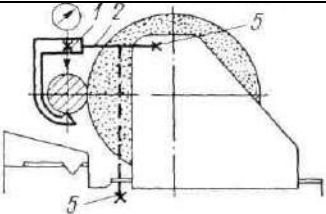
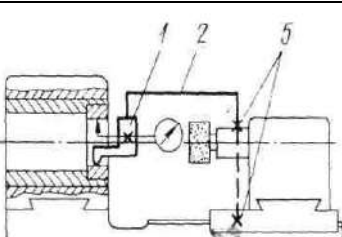
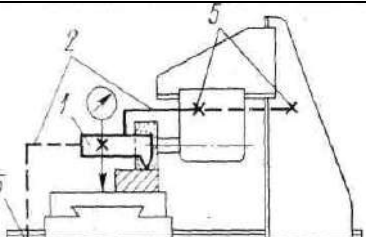
Для контролю по поверхні прилад 1 повинен бути з'єднаним з встановлювальним пристроєм 2 з одним з тих вузлів 5 верстату, відносно якого деталь має поздовжнє та поперечне (обертальне) переміщення.

Табл. 3.3 дозволяє класифікувати усю багатогранність засобів контролю в процесі шліфування на різних верстатах і полегшує вибір найбільш раціональних схем встановлення.

При зовнішньому круглому шліфуванні на сьогодні широко застосовуються схеми 2 – 31 та 3 – 31. За схемою 2 – 31 працюють настільні скоби. За схемою 3 – 31 найбільш часто використовують накидні скоби, які, за звичай, закріплюють до шліфувальної бабки і які в змозі здійснювати контроль по поверхні, незважаючи на недостатню жорсткість кріплення.

Тому вони достатньо широко застосовують тільки при врізному шліфуванні з контролем по лінії.

Таблиця 3.3. Схеми встановлення приладів для активного контролю

Методи контролю	Вид шліфування і тип верстату		
	Кругле зовнішнє, AS-250 «Werkzajt» (ФРН), схема 31	Внутрішнє, верстат високої точності SS-125 «Studder» (Швейцарія), схема 32	Плоске, FF-350 «Abawerk» (ФРН), схема 37
1. Контроль в одній точці			
2. Контроль по лінії (в одному перерізі)			
3. Контроль по всій поверхні			

Оскільки практично відсутні прилади, які забезпечують найбільш повний контроль деталі, наприклад, по поверхні, було розроблено та реалізовано обидва варіанти установки скоб за схемою 3 – 31 при дослідженні процесів *тонкого абразивного шліфування* високозносостійких композитів, синтезованих на основі шліфувальних відходів високолегованих штампових та швидкорізальних сталей 86Х6НФТ, 11РЗАМЗФ, 4ХМНФС та 7ХГ2ВМФ.

На рис. 3.7, а показано варіант кріплення скоби до шліфувальної бабки верстату AS-250 фірми «Werkzajt» (ФРН), що має здатність швидкого виводу шліфувального круга.

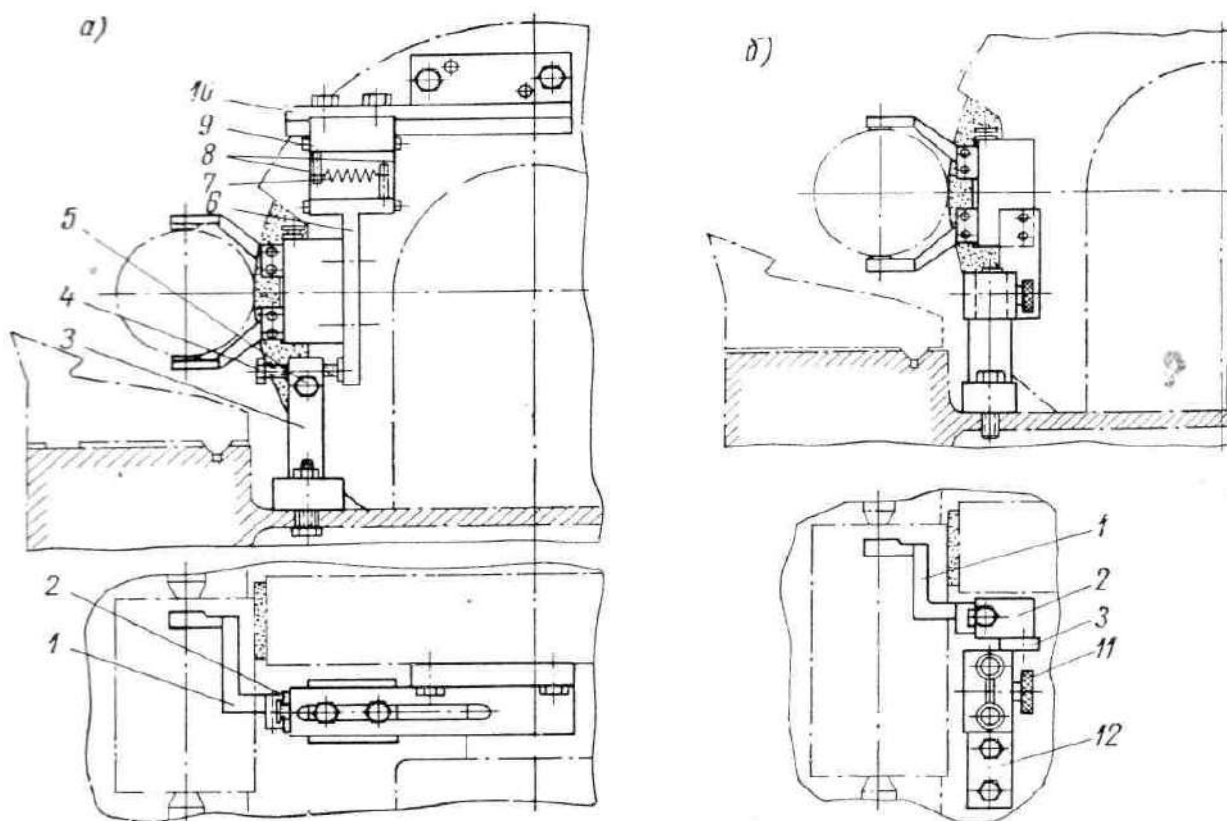


Рисунок 3.7. Встановлення скоби на шліфувальних верстатах: а) моделі AS-250 (Werkzajt, ФРН); б) моделі AS-350 (Werkzajt, ФРН):

1 - вимірювальна губка; 2 – скоба; 3 – кронштейн; 4 – упор; 5 – стопор упору; 6 – підвіска; 7 – спіральна пружина; 8 – плоскі пружини; 9 – каретка; 10 – скалка; 11 – стопор кронштейна; 12 – стійка

На рис. 3.7б показано варіант кріплення скоби до станіни верстату AS-350 фірми «Werkzajt» (ФРН), який не має швидкого відводу шліфувального круга.

Розташування скоб з боку шліфувального круга суттєво полегшує встановлення і зняття деталей при їх обробленні.

Створені прилади, які працюють з пневмоелектроконтактними блоками BWI-1096 (Bruel and Kerr, Данія) та контрприлади IKR-1-4R (Bruel and Kerr, Данія), забезпечують отримання стабільних метрологічних характеристик у

всьому діапазоні досліджень (режими шліфування, тип зносостійкого композиту, діапазон розмірів деталей оброблення).

Наприклад, при тонкому абразивному шліфуванні високозносостійкого та високолегованого композиту на основі шліфувальних відходів сталі 86Х6НФТ розсіювання розмірів партії деталей діаметром 50 – 60 мм знаходиться у межах 10 – 12 мкм, а діаметром 5 – 12 мм – у межах не більше 3 – 4 мкм.

При внутрішньому круглому шліфуванні композитних матеріалів на основі відходів 11РЗАМЗФ, 4ХМНФС та 7ХГ2ВМФ використовувались усі три методи контролю, хоча застосування схем 1 – 32 та 3 – 32 жодного разу не забезпечили отримання найкращих результатів вимірювань.

Тому за схемою 1 – 32 працює лише пристрій з жорсткими калібрами, які обертаються, наприклад в напівавтоматі А3251М.

За схемою 2 – 32 працює більшість спеціально створених приладів, що успішно застосовуються для підвищення точності серійного виробництва прецизійних деталей, що виготовлені з новітніх марок високозносостійких композитів. Зокрема необхідно відзначити прилади П–53, П–56, П–57 та ОКБ–895А, ОКБ–1821, БВ–4006, БВ–4026.

При здійсненні прецизійної абразивної обробки тонким плоским шліфуванням плоских поверхонь деталей зі зносостійких композитів позитивно зарекомендувала конструкція приладів, що працює за схемою 2 – 37 (табл. 3.3). Проте, незважаючи на те, що ці прилади дають найбільш повну інформацію про всі деталі, що встановлені на столі верстату, їх застосування вимагає деякого збільшення поздовжнього ходу стола.

Крім того, слід зазначити, що плоскошліфувальні верстати не мають засобів для компенсації непаралельності та непрямолінійності і саме тому додаткова інформація не може бути використана безпосередньо у процесі шліфування.

Отже, у багатьох випадках плоске шліфування доцільно застосовувати за схемою 1 – 37. Вочевидь, що використання цієї схеми обумовлює створення компактних та жорстких приладів, а необхідність відкидання приладу при підході шліфувального круга не веде до суттєвого ускладнення конструкції.

Узагальнюючи наведені експериментальні дані необхідно зробити наступні висновки: Із застосуванням засобів активного контролю для забезпечення високих вимог до параметрів точності проаналізовано складові похибок оброблення від дії різних технологічних факторів та розроблені практичні рекомендації по підвищенню якості оброблення поверхонь деталей пар тертя при різних видах абразивного шліфування композитних деталей з метою забезпечення нормованих вимог зносостійкості та довговічності.

Результати показали, що підвищення точності шліфування з використанням засобів активного контролю у процесі оброблення можливо досягти шляхом зменшення складових загальної сумарної похибки, а саме – поліпшувати метрологічні показники приладів, стабілізувати умови шліфування (оптимізація режимів різання, раціональний вибір типу абразивного інструмента, його зернистості та структури) та розробляти прилади на основі найбільш сучасних схем встановлення.

Контрольні питання:

1. Які композитні матеріали можуть бути альтернативою для литих деталей поліграфічного обладнання?
2. Як виготовляються композити на основі міді?
3. Яка структура і властивості новітніх композитів на основі міді?
4. Назвіть переваги і недоліки литих і композитних матеріалів?
5. Які ресурсощадні технології можна застосовувати для виготовлення композитних деталей для друкарських машин?

6. Яку вихідну сировину можна застосовувати для виготовлення високошвидкісних антифрикційних композитів?
7. Яку вихідну сировину можна застосовувати для виготовлення важконавантажених антифрикційних композитів?
8. Назвіть типи верстатів для встановлення приладів активного контролю геометричної точності.
9. Які методи тонкої обробки поверхонь композитів застосовуються для одержання високих параметрів якості?
10. Як забезпечується розмірна точність при тонкій механічній обробці композитів?
11. Як можна підвищити точність шліфування у процесі оброблення композитів?
12. Назвіть схеми встановлення приладів для активного контролю при тонкому шліфуванні поверхонь композитів.
13. Які засоби активного контролю можна застосовувати для забезпечення точності шліфування поверхонь композитів?
14. Як досягти зменшення складових загальної сумарної похибки при тонкому плоскому і круглому (зовнішньому і внутрішньому) шліфуванні поверхонь?

Розділ 4. Шляхи технологічного керування структурою і властивостями конструкційних матеріалів для друкарських машин.

Найбільш розповсюдженими способами керування властивостями металів і сплавів є *способи технологічного впливу* на їх структуру, оскільки саме від характеру структури залежать будь які властивості матеріалів.

Серед таких способів необхідно виділити технологію термічної обробки і деформаційний вплив на структуру матеріалів, а, відтак і на їх властивості.

4.1. Теорія і практика термічної обробки сплавів

Термічна обробка – це технологічний процес, сутність якого полягає у зміні структури **металів і сплавів** шляхом теплового впливу, тобто за допомогою нагрівання, витримки та охолодження згідно зі спеціальними режимами, і тим самим, у зміні їх механічних та фізичних властивостей (рис. 4.1).



Рисунок 4.1. Метал у термопечі

За класифікацією А. А. Бочвара розрізняють 4 види термообробки:

1. Термообробка однофазних сплавів, в яких при нагріванні і охолодженні не відбувається змін ані складу, ані числа фаз. Сюди відносяться всі чисті метали і деякі сплави.
2. Термообробка двох – або багатофазних сплавів, які при нагріванні і охолодженні плавно змінюють розчинність, а також склад і число фаз. Сюди відносять алюмінієві, магнієві сплави, а також ряд нікелевих сплавів.
3. Термообробка двох – або багатофазних сплавів, в яких при нагріванні і охолодженні відбувається стрибоподібна зміна розчинності, яка обумовлена поліморфними перетвореннями. Сюди відносяться сталі, титанові сплави тощо.
4. Термообробка, при якій відбувається насичення поверхневого шару металу певним хімічним елементом – хіміко-термічна обробка (ХТО).

На практиці широко застосовується поєднання деформаційних і структурних перетворень. Така обробка називається термомеханічною.

Будь-яка термообробка включає 3 головні етапи (рис.4.2.):

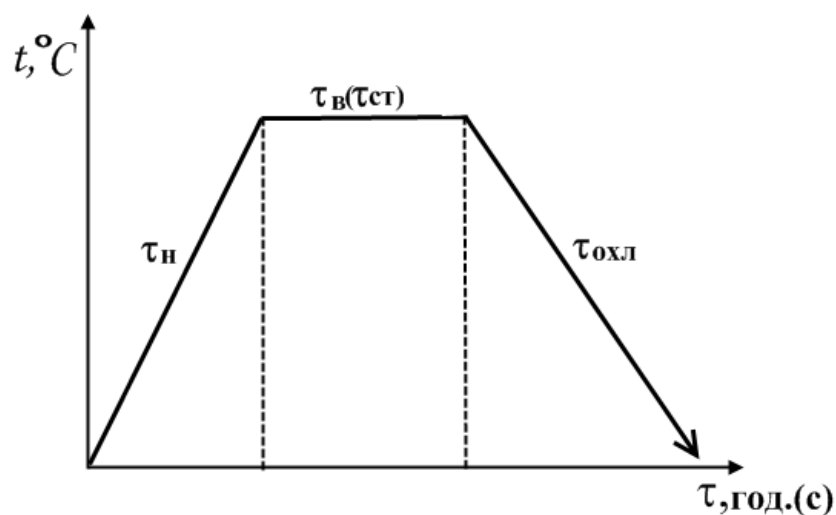


Рисунок 4.2. Загальна схема термічної обробки: $\tau_{\text{н}}$ нагрівання; $\tau_{\text{в}}$ - витримка; $\tau_{\text{охол.}}$ - охолодження.

ТЕРМООБРОБКА ОДНОФАЗНИХ СПЛАВІВ

До однофазних сплавів відносяться ті, що кристалізуються за схемою „чичевиці”, тобто утворюють безперервний ряд твердих і рідких розчинів, мають повну взаємну розчинність.

Термічною обробкою вони не змінюються, а проводять її для наступних цілей:

1) для усунення ліквацій – локальних збагачень деякими елементами. Це є ознакою неоднорідності за хімічним складом. Досягається це усунення виконанням операції відпалу. У таких випадках відпал називається гомогенізуючим. Для цього обирають якомога вищу температуру для нагрівання згідно з хімічним складом сплаву таким чином, щоб запобігти перегріву, який призведе до укрупнення зерна і, як наслідок, погіршення властивостей.

2) Оскільки згадані сплави термічною обробкою не зміцнюються, їх зміцнюють деформації, насамперед, холодна обробка тиском, тобто виконують наклеп. Це підвищує міцність, але знижує пластичність сплаву. Тому для зменшення твердості і міцності використовують рекристалізаційний відпал.

ТЕРМООБРОБКА ДВОХФАЗНИХ СПЛАВІВ, КОЛИ ПЛАВНО ЗМІНЮЄТЬСЯ РОЗЧИННІСТЬ

Розглянемо на прикладі діаграми системи Al – Cu (рис. 4.3):

При кімнатній температурі структура сплаву складається з α -твердого розчину Cu в Al та інтерметалідні включення.

Якщо сплав з 4% Cu в Al нагріти вище температури 500°C, він потрапляє в однофазну область – область α -твердого розчину (область гомогенності).

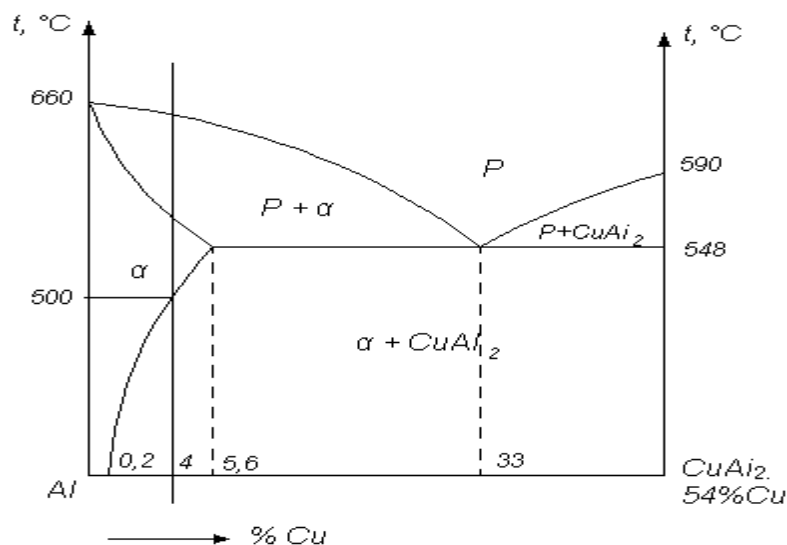


Рис. 33

Рисунок 4. 3. Діаграма системи Al – Cu

Якщо сплав при $t > 500^{\circ}\text{C}$ нагріти і дуже швидко охолодити зі швидкістю $1000^{\circ}/\text{с}$ (наприклад, в холодній воді), то розпаду α -фази не відбудеться. В результаті утвориться метастабільний, пересичений твердий розчин Cu в Al. Такий режим термічної обробки називається загартування.

Пересичений твердий розчин прагне позбутися надлишкової вільної енергії шляхом розпаду. Процес довільного розпаду пересиченого α -твердого розчину називається старінням.

Цей процес супроводжується збільшенням міцності завдяки тому, що в процесі старіння відбувається виділення зміцнюючі фаз.

Старіння, що відбувається при кімнатній температурі, називається природним, якщо ж прискорити процес природного старіння (при нагріванні), то цей процес називається штучним старінням. Для кольорових сплавів температура старіння складає $160 - 200^{\circ}\text{C}$.

ТЕРМООБРОБКА СПЛАВІВ З ПОЛІМОРФНИМ ПЕРЕТВОРЕННЯМ

У багатьох сплавах при нагріванні і охолодженні відбуваються поліморфні перетворення.

При цьому розчинність елементів один в одному змінюється стрибкоподібно, радикально змінюються властивості.

Такі структурні зміни відбувається при термічній обробці сталей.

Згідно з діаграмою стану залізо – цементит (рис. 4.4.), у сталей з вмістом $C > 0,02\%$ при нагріванні відбувається перетворення ферито – перлітної суміші, як наслідок – потрапляння в область А - Аустеніту – гомогенності (рис. 4.4.).

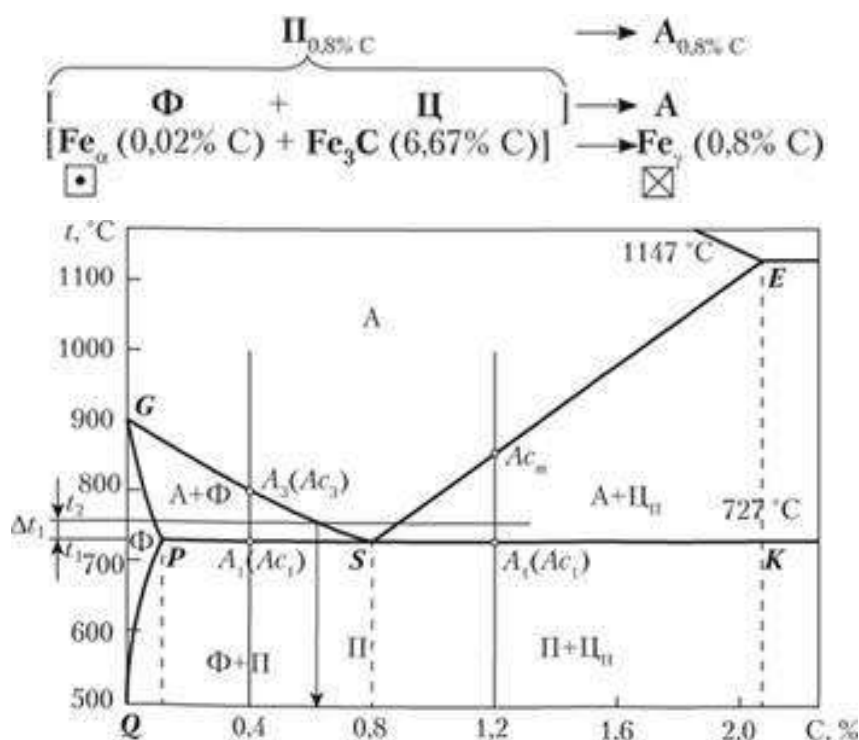


Рисунок 4.4. Сталевий кут діаграми залізо-цементит

Доевтектоїдні сталі мають критичні точки на лінії GS (точки A_3). Це діапазон температур 911-723°C. Тому температури загартування доевтектоїдних сплавів визначаються за формулою:

$$t_{\text{нагр.}} = A_{c3} + (30 - 50)^\circ\text{C}.$$

ОСНОВНІ ОПЕРАЦІЇ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ СТАЛІ:

1). Відпал.

Його основне призначення – це зменшення твердості сплаву з одночасним підвищенням пластичності, а також для виправлення структури після попередньої механічної або термічної обробки (наприклад, після обробки тиском).

В піч поміщають сплав, проводиться нагрівання. При відпалі охолодження проводиться разом з піччю.

Відпал називається повним, коли температура відпалу розраховується за формулою:

$$t_{\text{нагр.}} = A_{c3} + (40 - 60)^{\circ}\text{C}.$$

Відпал називається неповним, або ізотермічним, коли температура нагріву наступна:

$$t_{\text{нагр.}} = A_{c1} + (40 - 60)^{\circ}\text{C}.$$

2). Нормалізація.

Нормалізація відрізняється від відпалу тільки режимами охолодження: при нормалізації охолодження відбувається на повітрі.

Структура після нормалізації визначається хімічним складом і може бути перлітною, аустенітною і мартенситною. Згідно з цим у ДСТУ та у ГОСТ фігурують відповідні класи сталей – перлітні, аустенітні та мартенситні, а також комбінованих класів.

До перлітних відносять вуглецеві та низько вуглецеві сталі. Більш леговані сталі відносяться до мартенситних класів. Високолеговані сталі після нормалізації отримують структуру аустенітних сталей.

Твердість після нормалізації дещо вища, ніж після відпалу. Технологічно процес значно спрощується.

3). Загартування.

Загартування проводиться з метою підвищення твердості і міцності сплавів, що є наслідком структурних змін при швидкому охолодженні. В результаті такого охолодження сталі фіксується мартенситна структура.

Мартенсит – це пересичений розчин вуглецю в α -залізі. Він відрізняється від звичайного розчину тим, що має тетрагональну гратку, в якій висота - c і базис у вигляді квадрату з періодом a .

Відношення c/a називається ступенем тетрагональності, що характеризує ступінь викривленості гратки.

Чим більше розчинено вуглецю в α -Fe, тим вище ступінь тетрагональності і вище твердість мартенситу.

Для заевтектоїдних сталей температура загартування:

$$t_{\text{заг.}} = A_{c1} + (30 - 50)^{\circ}\text{C}$$

Охолодження після загартування проводять, як правило, у воді або в мінеральних мастилах. При цьому одержується структура мартенситу.

4). Відпуск.

Мартенсит після загартування має високу твердість і високу крихкість. Тому структура мартенситу не є робочою структурою. Загартування ніколи не буває фінішною операцією термообробки.

Для підвищення в'язкості і пластичності після загартування деталі обов'язково піддають відпуску. Це роблять для того, щоб відбувся повний або частковий розпад метастабільної структури мартенситу.

Залежно від температури розрізняють три види відпуску:

1. Низький відпуск – проводиться при температурі 160 - 250°C. При цьому різко зменшується ступінь тетрагональності мартенситу, тобто зменшуються залишкові термічні напруження. Твердість знижується на 2 – 3 одиниці; в цьому випадку структура називається відпущений мартенсит.

2. Середній відпуск – при температурі 300 - 500°C. Такий відпуск застосовують для деталей з високою пружністю, довготривалою витривалістю, стійкістю проти вібрацій тощо – це ресори, пружини та ін. Після середнього відпалу мартенсит розпадається з утворенням структури перлітного типу, яка називається *тростит*. Від звичайного перліту він відрізняється дисперсністю. $T = (Ф+Ц)$. Тростит має гарні пружні властивості.

3. Високий відпуск – діапазон температур – 500 - 680°C. При цьому мартенсит розпадається з утворенням сорбіту – $S = (Ф+Ц)$ – перлітної структури, що відрізняється від перліту та троститу дисперсністю, тобто розмірами частинок.

Якщо зобразити ряд дисперсності у напрямку зменшення частинок, то це буде виглядати так:

$$П \rightarrow С \rightarrow Т.$$

Високий відпуск – це дуже розповсюджений тип відпуску. Поєднання операцій загартування з високим відпуском називається поліпшення.

Таким чином, можна підсумувати, що зміною технологічних режимів термічної обробки, а саме, варіаціями *температур нагрівання*, *часу витримки* при температурі нагріву та *швидкістю охолодження* можна радикально змінювати структуру, а відтак, і властивості металів і сплавів залежно від їх призначення.

4.2. Деформаційне зміцнення матеріалів

Обробка металів тиском. Пластична деформація

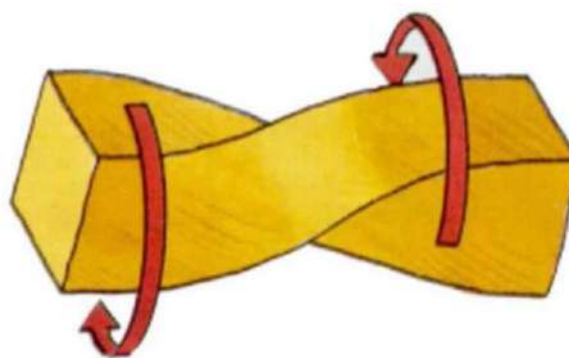
Обробка металів тиском - поширений технологічний процес отримання заготовок або готових виробів. У певних умовах він успішно конкурує з обробкою різанням.

Обробка металів тиском (ОМТ) полягає в отриманні заготовок або деталей пластичним деформуванням, як одним з двох головних

технологічних впливів на структуру і властивості металів і сплавів поряд з термічною обробкою (рис. 4.5).



а



б

Рисунок 4.5. Пластична деформація: а-прокатка металу; б-деформація скручуванням

При пластичній деформації вирішуються *два завдання*:

- формоутворення;
- покращення структури металу з метою підвищення його фізико-механічних властивостей.

Переваги ОМТ:

- мінімальні відходи,
- висока продуктивність,
- висока якість виробів.

Недоліки ОМТ:

- висока вартість обладнання, що дозволяє використовувати цей метод тільки в серійному та масовому виробництві,
- неможливо отримати вироби дуже складної форми.

В якості вихідного матеріалу в обробці металів тиском застосовують *сталі всіх марок, алюмінієві, магнієві, титанові сплави, а також сплави на основі міді та нікелю* у вигляді злитків, прутків, тощо.

Завдання *формоутворення* вирішується різними способами (видами) обробки металів тиском, до числа яких відносяться: прокатка, волочіння,

пресування, вільне кування, об'ємне гаряче штампування, холодне листове штампування.

Механізм пластичної деформації металів

Прикладені до тіла зовнішні сили викликають деформацію, яка ділиться на пружну і пластичну. На появу того чи іншого виду деформації великий вплив має характер прикладених до тіла навантажень.

Міжатомні сили в металах і сплавах складаються із сил притягіння і сил відштовхування.

При наближенні атомів зростають сили відштовхування, а при їх віддаленні – сили притягіння.

Характером взаємодії цих сил визначається *пружність кристалічних тіл*.

Існують два види деформації:

- Пружна
- Пластична

Основна властивість пружної деформації полягає в тому, що при прикладанні навантажень матеріал змінює свою форму і розміри. При зникненні навантаження форма і розміри відновлюються.

Пластична деформація – це залишкова деформація. Тобто після зняття навантаження форма і розміри тіла не відновлюються.

Отже, в області пружних деформацій тіло «пам'ятає» свою форму і розміри, а в області пластичних деформацій така пам'ять відсутня.

Пластична деформація здійснюється за двома основними механізмами (рис. 4.6):

- Методом двійникування;
- Методом ковзання.

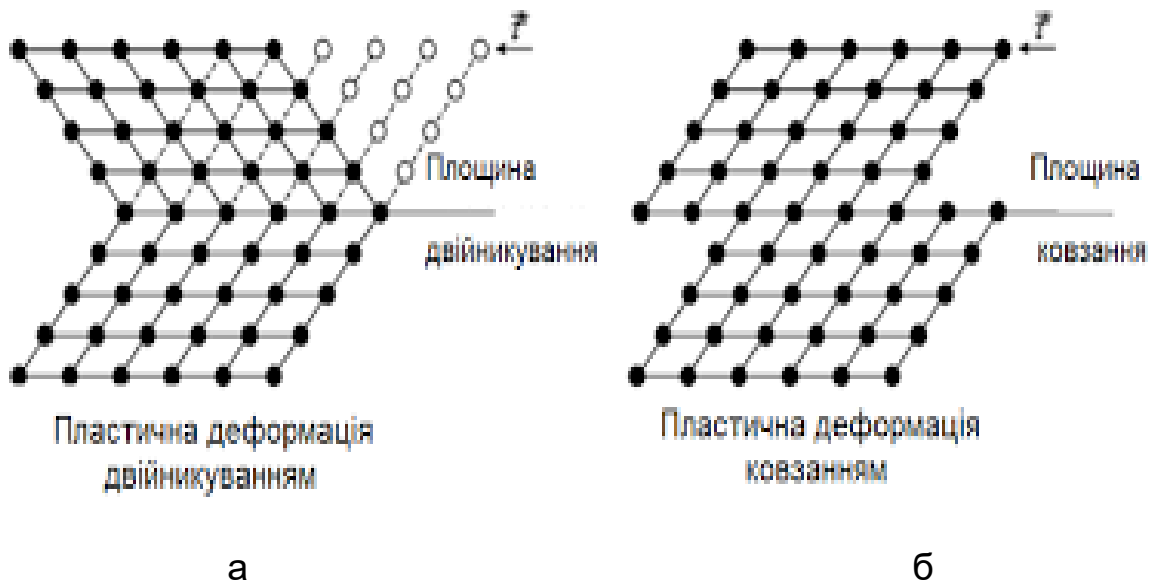


Рисунок 4.6. Пластична деформація: а- метод двійникування;
б- метод ковзання

При двійникуванні (рис. 4.6а) відбувається поворот однієї частини кристалічної ґратки відносно другої на деякий кут, що відрховується від *площини двійникування*.

При ковзанні (рис. 4.6б) відбувається зсув однієї частини кристала відносно другої вздовж *площини ковзання*.

При пластичній деформації ковзання здійснюється шляхом пересування дефектів кристалічної ґратки, а саме **дислокацій**.

Кристалічна ґратка навколо дислокацій викривлена, і дислокації не обриваються всередині кристала, а можуть вийти на поверхню, можуть замкнутись і утворити петлю або обірватись в залежності від прикладеного навантаження.

Таким чином пластична деформація здійснюється за рахунок пересування дислокацій.

Щільність дислокації при цьому достатньо висока, і вона підтримується за рахунок генерації нових дислокацій, тим самим зростає **міцність металу**.

Чим легше пересуваються дислокації, тим вище пластичність метала.

Пересуванню дислокацій перешкоджають границі розподілу фаз, іношродні включення та ін., що може *гальмувати рух дислокацій* під дією навантажень - це фізична сутність зміцнення.

Такі явища є причиною зниження пластичності і підвищення міцності.

Після здійснення пластичної деформації метал одержує певні механічні властивості, причому різниця властивостей в межах одного метала буде спостерігатись в залежності від напрямку прикладання навантаження. Така різниця називається *анізотропією*.

Пластична деформація не може відбуватись нескінченно. Настає момент, коли відбувається руйнування. Розрізняють два основні види руйнувань:

- Крихке
- В'язке

При крихкому руйнуванні сам процес відбувається без помітної пластичної деформації.

В'язкому руйнуванню ж передуює значна пластична деформація.

Якщо в процесі пластичної деформації відсутній температурний вплив, то має місце холодна деформація, результатом якої є наклеп (рис. 4.7).



Рисунок 4.7. Утворення наклепу.

Наклеп (або нагартування) – це сукупність структурних змін, зазвичай у поверхневих шарах деформованого металу, що призводять до зміни не тільки механічних, а й фізичних та хімічних характеристик металів.

Після холодної пластичної деформації метал перебуває в *термодинамічному метастабільному стані*, тобто має високий рівень вільної енергії.

Система (будь-який сплав) прагне перейти в рівноважний стан, і процеси такого переходу здійснюються тільки дифузійним шляхом.

Тому температура нагріву наклепаного матеріалу має головне значення. В залежності від температури нагріву процеси, що протікають в наклепаному металі, поділяються на:

- 1) повернення
- 2) рекристалізація

При поверненні наклепаний метал нагрівають до температур, які складають 25% від температури плавлення:

$$t = 0,25T_{пл}$$

Низькотемпературний процес називається поверненням першого роду, або відпочинком.

При поверненні відбувається зняття внутрішніх напружень металів, часткове відновлення пластичності (15–20%), фізико-хімічні характеристики повністю відновлюються, змін в мікроструктурі не відбувається.

Рекристалізація починається з більш високих температур. При цьому має місце заміна деформованої структури на недеформовану.

Розрізняють первинну, збиральну і вторинну рекристалізацію.

Первинна рекристалізація – це утворення і зростання зерен з більш досконалою структурою в наклепаному металі.

Збиральна рекристалізація – це зростання одних зерен за рахунок інших. Цей процес настає при збільшенні температури і часу витримки при ній.

Вторинна рекристалізація – це вибірковий ріст зерна, коли більшість зерен росте повільно або взагалі не зростає, а окремі зерна виростають до великих розмірів, „з’їдаючи” своїх сусідів.

Температура початку рекристалізації не є постійною.

Вона залежить, в першу чергу, від ступеня попередньої деформації (ϵ): із зростанням ступеня деформації ϵ температура початку рекристалізації знижується (рис. 4.8).

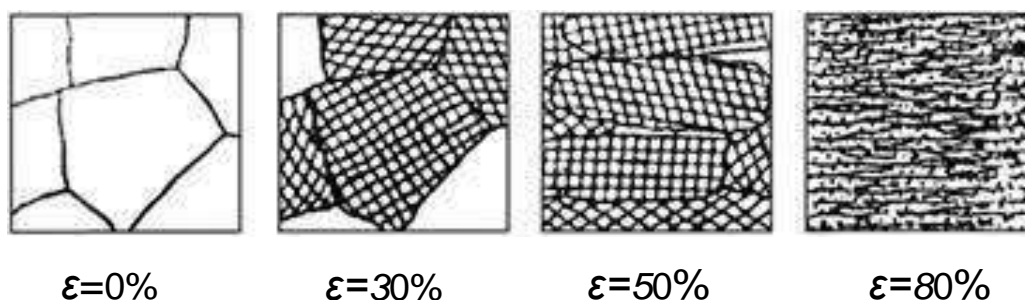


Рисунок 4.8. Схема формування структури металу залежно від ступеня деформації.

Мінімальна температура початку рекристалізації, що відповідає ступеням деформації 60 – 70% і часу 1 – 2 год. може бути постійною для матеріалу і називається порогом рекристалізації.

А. А. Бочвар запропонував формулу:

$$T_{п.р.} = a \times T_{пл.},$$

де $T_{п.р.}$ – температурний поріг рекристалізації;

$T_{пл.}$ – температура плавлення матеріалу.

Коефіцієнт:

$a = 0,2$ для металів лабораторної чистоти;

$a = 0,4$ – для металів технічної чистоти;

$a = 0,7 - 0,8$ – для сплавів.

Знання температури рекристалізації дозволяє визначити спосіб обробки металів тиском, а саме:

- 1). Якщо $T_{\text{деф.}} < T_{\text{рекр.}}$, то процеси зміцнення металу випереджають процеси знеміцнення. Така обробка тиском є холодною.
- 2). Якщо $T_{\text{деф.}} > T_{\text{рекр.}}$, то процеси знеміцнення металу випереджають процеси зміцнення. Така обробка тиском є гарячою.

Контрольні питання:

1. Які існують способи технологічного керування структурою і властивостями конструкційних матеріалів?
2. Назвіть види термічної обробки за А. А. Бочваром.
3. В чому сутність загартування?
4. З якою метою виконують загартування?
5. Яка структура і властивості сталей після загартування?
6. В чому полягає різниця між відпалом і нормалізацією?
7. Яка структура і властивості сталей після відпалу і нормалізації?
8. Назвіть види відпалу і загартування.
9. Які види старіння розрізняють за температурними умовами?
10. Що таке старіння? Які зміни йдуть під час старіння у поверхневих шарах деталей?
11. Що таке відпуск? Яка мета проведення відпуску?
12. Назвіть види відпуску і їх призначення.
13. Що таке пластична деформація?
14. Опишіть механізми пластичної деформації.
15. Як змінюється структура металу після пластичного деформування?
16. Що таке повернення, відпочинок і рекристалізація?
17. Що таке поріг рекристалізації?
18. Що таке наклеп?
19. Що таке холодна і гаряча обробка тиском?
20. Які властивості має метал після обробки тиском?

Розділ 5. Поверхнєве зміцнення конструкційних матеріалів

5.1. Теорія і практика хіміко-термічної обробки

Хіміко-термічна обробка (ХТО) є ефективним технологічним методом зміни структури і властивостей поверхні деталі, коли потрібно збільшити твердість і зносостійкість робочої поверхні виробу, а серцевину – залишити відносно м'якою.

До спеціальних методів поверхневого зміцнення деталей відносяться методи хіміко-термічної обробки (ХТО), методи електрично-хімічної обробки, а також група спеціальних методів, направлених на підвищення твердості і міцності поверхні.

ХТО – це поєднання хімічного і термічного впливу на метали і сплави з метою зміни хімічного складу, структури і властивостей поверхневих шарів виробу.

Хімічний вплив зводиться до насичення поверхневих шарів деталі певними хімічними елементами, що викликає зміну хімічного складу поверхні деталі.

Наступна термічна обробка остаточно формує фізико-хімічні і механічні властивості поверхневих шарів металу.

Фізичною основою ХТО є поглинання атомів насичуючого елементу поверхнею деталі і дифузійне переміщення цих атомів в поверхневому шарі. При ХТО дуже важливу роль відіграють властивості середовища, в якому проводиться обробка, від якого залежить хімічний склад і структура поверхні після ХТО.

5.1.1. Цементация

Цементация – це насичення поверхні деталі вуглецем з метою одержання високої твердості і зносостійкості деталі.

Найчастіше цементация проводиться або в *твердому*, або в *газоподібному середовищі*, яке називається карбюризатор.

Твердий карбюризатор – це суміш деревинного вугілля, листяних порід (дуб, береза) з домішками каталізатора (Na_2CO_3 , BaCO_3).

Процес цементации у твердому карбюризаторі протікає таким чином: деталі пакують в контейнер, засипають карбюризатором і нагрівають в печі до температури 930 – 950 °С. При таких температурах сталь одержує аустенітну структуру і в аустеніті добре розчиняється вуглець із карбюризатору. Процес тривалий: на прогрів контейнеру витрачається 1 хвилина на 1 мм розміру скриньки.

На створення цементового шару необхідно приблизно 1 година витримки, щоб одержати 0,1 мм шару.

Легуючі елементи, присутні в сплаві, утруднюють дифузію вуглецю і тим самим гальмують цементацию. Після цементации проводиться наступна термічна обробка:

1. Загартування з температур 880 – 900°C для усунення наслідків перегріву і одержання максимальної твердості на поверхні;
2. Низький відпуск при температурі 160 – 180°C (знімає залишкові напруження і зберігає високу твердість).

Газова цементация – проводиться в газоподібному карбюризаторі, який є джерелом вуглецю. Використовуються для цього вуглеводневі сполуки типу $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$ або нафтонові - C_nH_{2n} . Процес газової цементации виконують у термічних печах для проведення цементации у газовому карбюризатор (рис. 5.1).i



Рисунок 5.1. Термічна піч для проведення цементації у газовому карбюризаторі

Найчастіше використовуються C_nH_{2n+2} – парафінові сполуки. Джерелом парафінових сполук є природний газ, але в основному використовується для *газової цементації рідкі речовини*: уайт-спірит, гас, які вприскуються в пічку при температурі цементації, там вони випаровуються і перетворюються в газоподібну речовину, при цьому виділяється атомарний вуглець, який і насичує поверхню.

Температура газової цементації така ж, як у твердому карбюризаторі. Після цементації поверхня деталі має високу твердість і зносостійкість.

5.1.2. Азотування. Нітроцементация

Азотування – це насичення поверхні деталі азотом.

Процес *азотування* проводиться в середовищі аміаку NH_3 , який при підвищених температурах дисоціює і при цьому виділяється атомарний азот.

Азот дифундує в сталь і утворюється твердий розчин азоту в залізі, а також нітриди (хімічні сполуки з атомами інших хімічних елементів), особливо з легуючими елементами в металі виробу (рис. 5.2, 5.3).

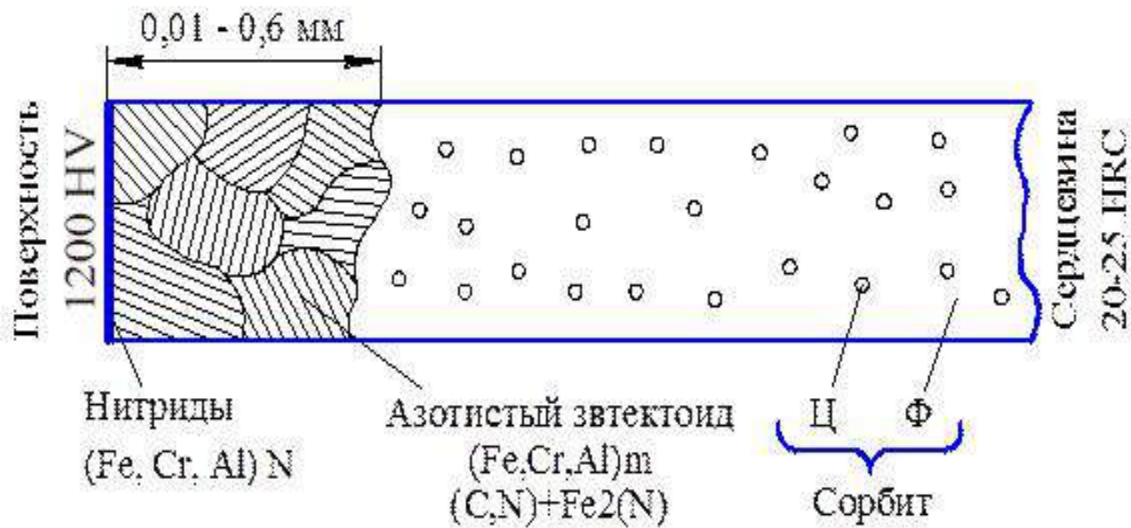


Рисунок 5.2. Схема структури поверхні сталі після азотування

Наявність нітрідів і твердого розчину азоту в залізі визначають *властивості* азотованого шару.

Вся необхідна термічна обробка для деталей виконується до азотування.

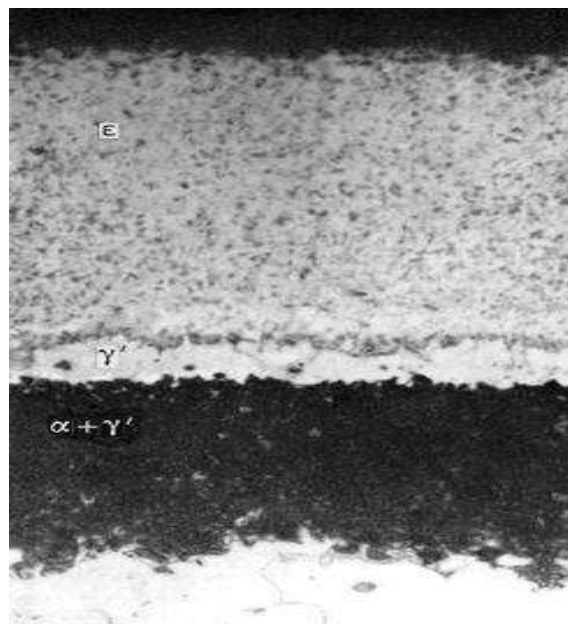


Рисунок 5.3. Структура поверхні сталі після азотування

Сам процес *азотування* виконується при температурах 500 – 550 °С. Процес також тривалий; для одержання азотованого шару 0,1 мм при температурі 500°С необхідна витримка 10 годин.

Найчастіше піддаються азотуванню сталь 38ХМЮА або сталь 35ХМЮА. Азотований шар має високу твердість (за Віккерсом $HV=800 - 950 \text{ кгс/мм}^2$).

Крім високої твердості азотований шар має високу корозійну стійкість.

Ціанування – це процес одночасного насичення поверхні деталі вуглецем і азотом.

При рідкому ціануванні використовуються ванни, в яких містяться розплави ціаністих солей. Як правило, це розплав ціаністого натрію і ціаністого кальцію – NaCN , Ca(CN)_2 . Для розбавлення додають соду (Na_2CO_3). Деталі витримують у ванні 1,5 – 2 год. при температурі $840 - 880^\circ\text{C}$.

Після цього з цих температур виконують загартування в маслі і виконують низький відпуск з температури $150 - 170^\circ\text{C}$.

Товщина шару досягає 0,8 - 1 мм. Структура поверхні шару – азотистий мартенсит, а в середньому – тростит. Твердість поверхні досягає $\text{HRC} = 56-58$.

Застосовують ціанування зазвичай для підвищеної стійкості ріжучого інструменту, насамперед, для сталей Р18, Р6М5 (швидкорізальних сталей).

Оскільки процес ціанування дуже шкідливий, то в Україні на сьогодні він майже не використовується на виробництві.

Зараз широко застосовується метод газового ціанування, який називається ***нітроцементация***.

Нітроцементация проводиться в шахтних печах в атмосфері, яка одержується при розкладанні рідких вуглеводних рідин з домішками аміаку.

Температура процесу – від $700 - 950^\circ\text{C}$.

Тривалість нітроцементации залежить від необхідної товщини шару, зокрема, для одержання зміцненого шару товщиною 0,5 – 0,8 мм, необхідно проводити процес протягом від 2 до 3,5 годин.

Після нітроцементации виконується загартування з охолодженням в мастилi і наступний низькотемпературний відпуск ($180 - 200^\circ\text{C}$).

Твердість поверхневого шару деталей *після нітроцементації* складає 60-62 HRC.

5.1.3. Хромування (гальванічне, дифузійне)

Хромування – це насичення поверхні деталі хромом. Хром забезпечує високу твердість, високу зносостійкість та корозійної стійкості.

Розрізняють *дифузійне і гальванічне* хромування.

При дифузійному хромуванні процес проводять в суміші порошків (тверде хромування), а саме, очищені деталі закладають в контейнер і засипають порошком, до складу якого входить:

1. Fe (Cr) – ферохром;
2. Оксид Al – Al_2O_3 (засипка);
3. NH_4Cl .

Контейнер закривають кришкою і нагрівають при температурі 1000 – 1050°C протягом 4 – 6 годин.

В результаті поверхня деталі насичується хромом на глибину 0,1 – 0,2 мм. Будова хромованого шару залежить від матеріалу деталі, в поверхню якої здійснюється дифузія хрому.

Гальванічне хромування проводиться в ваннах з електролітом, куди занурюють деталь.

Між катодом (деталлю) і анодом (свинець) пропускають струм. Електроліт для хромування – розчинений у воді триоксид хрому CrO_3 (при розчиненні утворюється хромово кислота - H_2CrO_4).

В результаті процесу протікання струму і температурам 55 – 60°C відбуваються реакції осадження металевого хрому на катод (деталь) і виділення газоподібного водню H_2 на аноді.

Якість накладання хромового покриття залежить від багатьох факторів, насамперед, від якості попередньо підготовленої поверхні деталі (очищення, знежирення, декапіювання тощо), що у багатьох випадках є визначальним фактором для одержання якісного хромового покриття.

Підготовчий етап полягає у виконанні декількох обов'язкових дій:

1. Підготовка поверхні заготовки за допомогою шліфування й полірування (механічне очищення).
2. Очищення від забруднень (консервантів) за допомогою спеціального засобу і дистильованої води і протирання дрантям.
3. Повне ізолювання поверхні, куди не потрібно наносити хром, закладення отворів (якщо не потрібно покривати внутрішні порожнини).
4. Установка виробу на спеціальну підвіску.
5. Повне знежирення.
6. Промивання водою.
7. Декапіювання (обробка розчином HCl).

При не дотриманні підготовчих операцій хромове покриття може накрестись на поверхню не рівномірно, лише плямами, або взагалі не накрестись на поверхню деталі.

Окрім цього властивості хромового покриття залежать від температури процесу. Так, зниження температури електроліту на 2-3 градуси (до 52-53°C) призводить до істотного збільшення твердості хромового покриття, та колір покриття змінюється від сіро-сріблястого до сріблясто-голубого.

Хромування, як і інші методи гальванічної обробки деталей, є шкідливим процесом, але залишається широковживаним на виробництві оскільки окрім *високої твердості поверхневий шар має високу зносостійкість і корозійну стійкість*. До того ж це доступний і не дорогий процес.

Хромуванню піддають деталі різного конструкційного призначення у багатьох галузях промисловості, у тому числі хромуванню піддають велику кількість деталей елементів конструкцій поліграфічної техніки.

5.1.4. Силіцинування. Алітування

Силіціювання – насичення поверхні деталі кремнієм (Si). Найчастіше застосовується силіціювання *порошковим методом*.

До складу порошку входять:

1. Fe (Si) – феросиліцій – 70 – 75%.
2. Шамотна глина – 20 – 25%.
3. Хлорид амонію – NH_4Cl – 1 – 5%.

Процес здійснюється при температурі 900 - 1000°C протягом 2 – 5 годин.

В результаті хімічних реакцій при таких температурах утворюється газоподібний хлорид кремнію – SiCl_4 , який взаємодіє з залізом феросплаву, при цьому виділяється вільний кремній, який дифундує у виріб.

Товщина силіцованого шару – 0,6 – 1,4 мм. Цей шар представляє собою твердий розчин кремнію в залізі, в якому вміст кремнію сягає до 14%.

Силіцовані деталі мають високу жаростійкість і кислотостійкість.

Ці властивості забезпечуються внаслідок утворення плівки SiO_2 , яка захищає виріб від подальшого окиснення і є дуже стійкою до впливу кислот різної концентрації.

Такі властивості силіцованого шару деталей є дуже важливими для деталей поліграфічних машин, які безпосередньо контактують з фарбою, технологічними розчинами тощо у друкарських процесах.

Алітування – це насичення поверхні виробу алюмінієм.

Призначення процесу – збільшення жаростійкості (здатності чинити опір окисненню при високих температурах).

Жаростійкість досягається при алітуванні завдяки утворенню стійкої плівки Al_2O_3 . Вона має високу корозійну стійкість.

Сам технологічний процес алітування проводиться наступним чином:

Використовується порошкова суміш для алітування, тобто здійснюється *тверде алітування*.

До складу цієї суміші входить:

1. Фероалюміній (феросплав Fe(Al)) – 49%.
2. Оксид алюмінію (Al_2O_3) - 49%.
3. Хлорид амонію (NH_4Cl) – 2%.

Джерелом *атомарного алюмінію* є фероалюміній - феросплав Fe(Al).

Оксид алюмінію Al_2O_3 застосовується для запобігання спечення між деталями, які закладаються у скриньку для алітування.

Хлорид амонію NH_4Cl вводять для утворення летючої сполуки AlCl_3 , яка реагує в фероалюмінієм, а саме, з залізом феросплаву. При цьому звільняється алюміній.

Таким чином утворюється атомарний алюміній, який дифундує у поверхню виробу. Глибина алітованого шару – 0,3 – 0,8 мм. Процес ведуть протягом 4 – 6 годин при температурі 1000 – 1050°C.

Після алітування рекомендують виконувати дифузійний відпал при температурі 900 – 960°C протягом 3 – 6 годин.

Як правило, алітуванню піддають дешеву низьковуглецеву сталь з вмістом вуглецю 0,1 – 0,2%.

В результаті *алітування* сталь використовується як замінник дорогої нержавіючої сталі.

5.2. Поверхнева термічна обробка

Поверхнєве термічне зміцнення, а саме, загартування проводиться, коли необхідно зміцнити поверхню деталі, а серцевину залишити м'якою, тобто обробляється лише поверхня металу. Нагрівання для поверхневого загартування проводиться різними *способами*, зокрема:

- 1) нагрівання струмами високої частоти (СВЧ);
- 2) нагрівання лазерним променем.

5.2.1. Загартування СВЧ

За допомогою загартування струмами високої частоти (СВЧ) поверхня деталі нагрівається за декілька секунд на необхідну глибину.

Після цього струм вимикають і швидко охолоджують деталь. У процесі **загартування** всередині індуктора циркулює вода для відведення тепла, і тому він не нагрівається.

Сутність процесу поверхневого загартування сталі при нагріванні струмами високої частоти полягає в тому, що деталь нагрівають на спеціальній установці за допомогою мідного індуктора, виконаного за формою деталі, що гартується.

Через нього пропускають змінний струм високої частоти. Поверхня деталі *нагрівається за декілька секунд* на необхідну глибину.

Після цього струм вимикають і швидко охолоджують деталь. У процесі загартування всередині індуктора циркулює вода для відведення тепла, і тому він не нагрівається.

Поверхнєве індукційне загартування сталі струмами високої частоти тіл складної форми, таких як зірочки, шліцьові вали та зубчасті колеса має на меті забезпечити рівномірну твердість і однакову глибину загартованого шару по всьому периметру зуба і западини.

Тут вирішальний вплив на якість гартування деталей складної форми *робить частота*, на якій ведеться індукційне гартування, а також питома потужність нагрівання.

Для кожної конкретної деталі зі сталі *розробляється власна технологія гартування на основі комп'ютерного моделювання нагрівання та охолодження, лабораторних металографічних досліджень загартованого шару сталі й експериментального відпрацювання режимів загартування на зразках.*

У загальному випадку нагрівання СВЧ здійснюється за рахунок виділення Джоулевого тепла, яке виділяється в поверхневих шарах деталі завдяки вихровим струмам – струмам Фуко.

Струми високої частоти, як відомо, викликають появу вихрових струмів, які протікають лише по поверхні деталі, не проникаючи у глибину деталі.

Це так званий “skin-effect”.

Глибина проникнення струму (позначається δ), а значить і товщина прогрітого металу визначається за формулою:

$$\delta = 4,46 \cdot 10^5 \sqrt{\frac{\rho}{\mu \cdot f}}, \text{ де}$$

ρ – електричний опір матеріалу;

μ – магнітна проникність матеріалу;

f – частота струму.

Для загартування СВЧ застосовуються машинні і лампові генератори.

Машинні генератори з частотою до 100 000 Гц застосовуються для одержання загартованих шарів в декілька міліметрів.

Лампові генератори – частотою до 500 000 Гц – застосовуються для одержання шарів у декілька десятих долей міліметрів.

Обробці СВЧ піддають, як правило, середньо-вуглецеві сталі. Охолодження проводять водою; воно здійснюється безпосередньо в апараті СВЧ.

Після загартування виконується низький випуск (для того, щоб зберегти структуру відпущеного мартенситу та зберегти твердість і високу зносостійкість).

5.2.2. Лазерне загартування

Лазерне випромінювання – це вимушене, за допомогою лазерів, випускання атомами речовини порцій-квантів електромагнітного випромінювання.

Лазер (від англ. *laser*, аббревіатура від ***light amplification by stimulated emission of radiation*** - «посилення світла шляхом вимушеного випромінення»).

Випромінення, що генерується лазером, має унікальні властивості, які відрізняють його від звичайного світла, що емітує наше універсальне світило – Сонце, а також відомі традиційні джерела.

Світлу притаманна подвійна природа: з одного боку це електромагнітна хвиля з певною довжиною, з другого – це потік світлових частинок, фотонів з певною частотою коливання.

Ці параметри у спектрі електромагнітного випромінювання визначають і колір світла.

У *лазерного випромінення* – високий рівень *монохроматичності*, тобто світло генерується з однією довжиною хвилі, одного кольору та з постійною частотою.

До появи лазерів монохроматичне випромінювання можна було отримати тільки за допомогою високоякісних фільтрів, когерентності хвиль (хвилі випромінювання знаходяться в одній фазі, або мають постійну різницю фаз, що призводить до складання амплітуд і таким чином до отримання дуже інтенсивного випромінювання).

Завдяки монохроматичності *лазерне випромінення фокусують* за законами геометричної оптики спеціальними оптичними системами до дуже малих розмірів (співрозмірних із довжиною хвилі випромінювання).

В результаті концентрація енергії може досягати значення 10^{12} – 10^{22} Вт/см².

Різні типи лазерів генерують випромінювання різної довжини хвилі (або частоти). Генерація в *ультрафіолетовому діапазоні* дає можливість сконцентрувати значну густину потужності на невеликій ділянці поверхні.

Збільшення довжини хвилі (зменшення частоти) у видимому та інфрачервоному діапазонах зменшує густину потужності.

Вона концентрується на більшій площині під час фокусування променя.

Параметри *лазерного випромінювання* впливають на характер його взаємодії з речовиною, що опромінюється. Так, наприклад, коефіцієнти відбиття і поглинання випромінювання матеріалом залежать від довжини хвилі випромінювання, а також від властивостей самого матеріалу, що опромінюється.

А це, в свою чергу, впливає на результати опромінення – нагрівання, розплавлення, випаровування, вибухове руйнування, тощо.

Існує велика кількість видів лазерів, що використовують як *робоче середовище всі агрегатні стани речовини*. Деякі типи лазерів, наприклад, лазери на розчинах барвників або твердотільні поліхроматичні лазери, можуть генерувати цілий набір частот (мод оптичного резонатора) в широкому спектральному діапазоні. Габарити лазерів відрізняються від мікроскопічних для ряду напівпровідникових лазерів до розмірів футбольного поля для деяких лазерів на неодимовому склі.

У сучасній лазерній технології переважно використовують лазери, що генерують випромінювання в *ультрафіолетовому, видимому та інфрачервоному* діапазонах електромагнітного спектра.

Це лазери на азоті (N_2), аргоні (Ar), ексимерні, діодні, на арсеніді галію (GaAs), неодимовому склі (Nd), алюмо-ітрієвому гранаті (YAG), двооксиді вуглецю (CO_2) та ін. Перспективи ще більшого поширення мають лазери з генерацією випромінювання в *рентгенівському та гама-діапазонах*.

Лазерний нагрів поверхні (лазерне загартування) має на меті *підвищення твердості і зносостійкості* поверхні деталі, і проводиться за допомогою лазерного генератора електромагнітних хвиль.

В технологічних установах найбільш розповсюджені електророзрядні CO_2 – лазери. Вони здійснюють генерацію лазерних променів інфрачервоним випромінюванням з довжиною хвилі $\lambda = 10,6$ мкм.

Термічне зміцнення металу із застосуванням лазера базується на локальному нагріві і охолодженні з надкритичними швидкостями за рахунок відведення тепла у внутрішні шари металу рис. 5. 4.

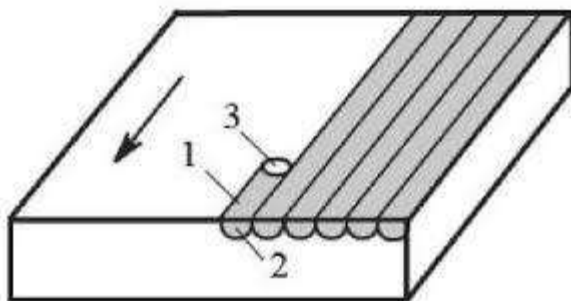


Рисунок 5.4. Схема лазерного загартування

Час нагріву і охолодження незначний. Витримка при температурі нагріву практично відсутня. Особливістю цього процесу є те, що шари металу нагріваються до різних температур. Тобто зона лазерної обробки має шаровиту структуру (рис. 5.5).

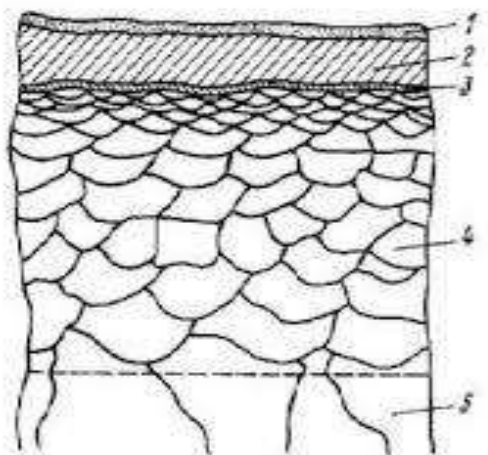


Рисунок 5.5. Зони термічного впливу при лазерному загартуванні

Ця структура має 3 основні шари (рис. 5.5):

1 шар – зовнішній – зона оплавлення, тобто має місце загартування з розплаву; структура цього шару – мартенсит;

2 шар – зона загартування з твердої фази – нижня границя нагріву визначається критичною точкою A_{c1} . Структура такого шару – мартенсит, залишковий аустеніт, ферит і цементит (А, Ф, Ц).

3 шар –(зони 3-4) глибинний – перехідна зона між загартованими шарами і недоторканим металом (зона 5). В цьому шарі сталь нагрівається нижче точки A_{c1} . Лазерне загартування застосовується для сталей з вмістом $C = 0,45 - 0,6\%$.

Охолодження проходить на повітрі. Типова шарувата структура поверхні після лазерного загартування наведена на рис. 5.6.



Рисунок 5. 6. Шарувата структура поверхні після лазерного загартування

Нещодавно розроблено і успішно використовується поєднання лазерного термічного і деформаційного впливу на структуру і властивості поверхонь деталей (5.7).

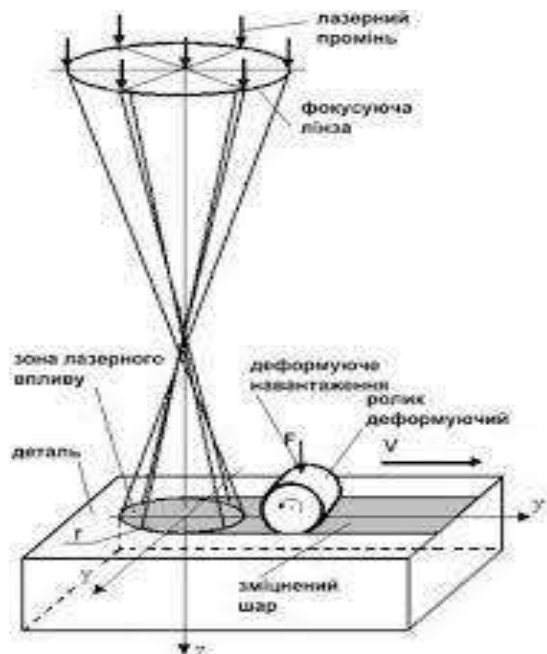


Рисунок 5.7. Поверхнєве лазерне термдеформаційне зміцнення

Таким чином, застосування сучасних технологій зміцнення забезпечує істотні варіаційні зміни у структурі як об'єму металу, так і на його поверхні, що викликає суттєві зміни властивостей.

Існуючі сучасні технології зміцнення є визначальними важелями впливу на структуру і властивості конструкційних матеріалів та успішно застосовуються на виробництві для деталей різного функціонального призначення, у тому числі для деталей поліграфічного устаткування.

Розробка нових і удосконалення існуючих шляхів технологічного впливу на структуру і функціональні характеристики конструкційних матеріалів і деталей з них постійно триває.

Контрольні питання:

1. Що таке цементация?
2. З якою метою здійснюють цементацию?
3. Які сталі піддають цементации?
4. При яких температурах здійснюється цементация?
5. Яку товщину має шар при цементации?

6. Що таке азотування?
7. З якою метою застосовують азотування?
8. Які вироби азотують?
9. В чому суть нітроцементатації поверхневого шару?
10. З якою метою здійснюють нітроцементатацію?
11. Яка товщина нітроцементованого шару?
12. В чому сутність технології хромування?
13. Опишіть види хромування і їх особливості.
14. В якому середовищі проводять дифузійне хромування?
15. В якому середовищі проводять гальванічне хромування?
16. Які властивості хромованого шару?
17. В чому суть хіміко-термічної обробки методом силіціювання?
18. Які вироби піддають силіціюванню?
19. Які вироби піддають алітуванню?
20. В якому середовищі здійснюють алітування?
21. Що таке поверхнєве термічне зміцнення?
22. В чому полягає загартування струмами високої частоти (СВЧ)?
23. З якою метою здійснюють загартування СВЧ?
24. Яка структура поверхні після загартування СВЧ?
25. В чому полягає технологія лазерного загартування?
26. Які вироби піддають лазерному загартуванню?
27. Яка структура поверхні виробу після лазерного загартування?

Література

1. Гуляев А. П. Металловедение: учебник для вузов. Москва: Металлургия. 1986, 544 с.
2. Смитлз К. Дж. Металлы: справочник / сокр. пер. с англ. Л. И. Гриппас [и др.]; под ред. С. Г. Глазунова. Москва: Металлургия. 1980, 447 с.

3. Смирнягин А. П. Промышленные цветные металлы и сплавы.— М: Металлургия, 1974. — 246 с.
4. Киричок П.О., Роїк Т.А., Гавриш А.П., Шевчук А.В., Віцюк Ю.Ю. Новітні композиційні матеріали деталей тертя поліграфічних машин. К.: НТУУ “Київський політехн. ін-т” 2015. 428 с.
5. Жидецький Ю.Ц. та ін. Поліграфічні матеріали / Під ред.. Лазаренка Е.Т. — Львів: Афіша, 2001. — 327 с.
6. Гавенко С., Лазаренко Е. та ін. Оздоблення друкованої продукції: технологія, устаткування, матеріали. — Київ-Львів, 2003. — 180 с.
7. Білоцький О. В. Високотемпературна рентгенографія фазових перетворень у металевих матеріалах/О. В. Білоцький. — НТУУ «КПІ», 2012. — 222 с.
8. Косторнов А. Г. Триботехническое материаловедение/А. Г. Косторнов. — Луганск: Изд-во “Ноулидж”, 2012. —696 с.
9. Гавриш О. А. Системные технологии финишной обработки деталей / О. А. Гавриш, Т. А. Роик, А. П. Гавриш. — К. : НТУУ «КПИ», 2011. — 388 с.
10. Кравец І. А. Ремонтна регенерація трибосистем / І. А. Кравец. — Тернополь: ТДТУ, 2003. — 300 с.
11. Роїк Т. А. Композиційні підшипникові матеріали для підвищених умов експлуатації : монографія / Т. А. Роїк, П. О. Киричок, А. П. Гавриш. — К.: НТУУ «КПІ», 2007. — 404 с.
12. Роїк Т. А. Сучасні системи технологій заготівельного виробництва в машинобудуванні : монографія / Т. А. Роїк, А. П. Гавриш, О. А. Гавриш. — К. : ЕКМО, 2010. — 212 с.
13. Самохоцкий А. И. Металловедение/ А. И. Самохоцкий, М. Н. Кунявский, Т. М. Кунявский и др. — М.: Металлургия, 1990. — 416 с.
14. Анциферов В. Н. Порошковые легированные стали/ В. Н. Анциферов, Б. Н. Акименко, Л. М. Гревнов. — М.: Металлургия, 1991. — 318 с.

15. Стромберг А. Г. Синергетика. Применение к химическим процессам. – Томск: Изд-во Томск. политехн. ун-та, 2000. – 32 с.
16. Милованов В. П. Синергетика и самоорганизация. Экономика. Биофизика. – М.: КомКнига, 2005. – 168 с.
17. Powder Metallurgy: ASM Handbook / ed. Prasan K. Samal and Joseph W. Newkirk. The Materials International Society. New York. USA. Volume 7, 2015. 907 p., ISBN: 978-1-62708-089-3.
18. Peter R., Childs N. Pneumatics and hydraulics. Mechanical Design Engineering: handbook. Elsevier Ltd., 2019. 874 p.
19. Системи технологій промисловості [Текст] : навч. посібник / О. В. Дичковська. - 3-тє вид., перероб. і доп. - К. : Знання, 2007. - 270 с.
20. Клименко Л.П., Соловйов С.М., Норд Г.Л. Системи технологій: Навчальний посібник. – Миколаїв: Вид-во МДГУ ім. Петра Могили, 2007. – 600 с.
21. Остапчук, М. В. Системи технологій (за видами діяльності) [Текст] : навч. посібн. / М. В. Остапчук, А. І. Рибак. – К. : ЦНЛ, 2002. – 888 с.
22. Основи технологій виробництва в галузях народного господарства : навч. посіб. / Є.П.Жалібо, М.А.Авраменко, В.М. Буслик та ін. – К.: Кондор., 2009. – 520 с.